

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA



Efecto del intervalo de cosecha en la producción de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de primavera en el sureste de Coahuila México

Por:

GABRIEL ALDAIR SOTO SANCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Efecto del intervalo de cosecha en la producción de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de primavera en el sureste de Coahuila México

Por:

GABRIEL ALDAIR SOTO SANCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

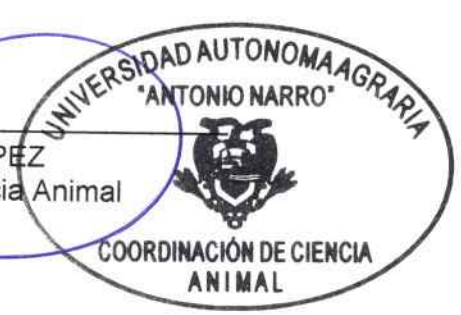
Aprobada por el Comité Asesor:

DR. PERPETUO ALVAREZ VAZQUEZ
Asesor Principal

DR. NEYMAR CAMPOSECO MONTEJO
Coasesor

DR. ANTONIO FLORES NAVEDA
Coasesor

M.C. PEDRO CARRILLO LOPEZ
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Mayo 2026

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, mayo 2026.

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado:

Efecto del intervalo de cosecha en la producción de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de primavera en el sureste de Coahuila, México

es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria, (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor; esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar; quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación del mismo, ni a un nuevo envío.

GABRIEL ALDAIR SOTO SANCHEZ



Nombre

Firma

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una de las especies forrajeras más resaltante a nivel mundial por su alto valor nutritivo, su elevada producción de biomasa y su plasticidad de adaptación a diversas condiciones agroclimáticas. El objetivo del presente experimento fue evaluar el rendimiento de forraje de la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en condiciones de primavera, probando diferentes intervalos de corte: Corte Temprano (CTE) a los 21 días, Corte Medio (CME) a los 28 días y Corte Tardío (CTA) a los 35 días. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje total (RF) y composición Botánica-Morfológica (CBM), que incluyó el rendimiento de hoja, tallo, material muerto, inflorescencia y maleza. Para determinar el efecto de los intervalos de corte sobre el desempeño productivo del cultivo, se llevó a cabo un análisis de varianza con el PROC GLM del SAS estadístico ver. 9.0 y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Como resultado se obtuvo que el periodo de descanso de la pradera con mayor rendimiento acumulado fue el corte tardío de 35 días con 17,040 kg MS ha⁻¹, donde el tallo fue el que mayor aporte hizo al rendimiento de materia seca total con un promedio de 5,137 kg MS ha⁻¹, representando un 48% de aporte, seguido por la hoja con 4,574 kg MS ha⁻¹ y un 47%, material muerto y maleza con 364 y 105 kg MS ha⁻¹, respectivamente y un 3% ambos y la inflorescencia con 200 kg MS ha⁻¹, con tan solo un 1% de aportación al rendimiento total. En contraparte, un intervalo de corte temprano y medio de 21 y 28 días no favoreció el comportamiento productivo de la alfalfa en la estación de primavera, con un promedio de rendimiento de 7051 kg MS ha⁻¹. En conclusión, un intervalo de descanso prolongado a los 35 días de rebrote en primavera favorece un mayor rendimiento de materia seca, en el que el tallo constituye el componente que más contribuye al rendimiento total del cultivo.

Palabras clave: Intervalos de corte, composición botánica morfológica, estación primaveral, rendimiento de forraje.

ABSTRACT

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the most important forage species worldwide due to its high nutritional value, high biomass production, and adaptability to diverse agroclimatic conditions. The objective of this experiment was to evaluate the forage yield of the Premium alfalfa variety (*Medicago sativa* L.) under spring conditions, testing different cutting intervals: Early Cutting (EC) at 21 days, Mid Cutting (MC) at 28 days, and Late Cutting (LC) at 35 days. A completely randomized block design with three replications was used. The variables evaluated were total forage yield (TY) and Botanical-Morphological Composition (BMC), which included the yield of leaves, stems, dead material, inflorescence, and weeds. To determine the effect of the cutting intervals on the crop's productive performance, an analysis of variance was performed using the PROC GLM tool of SAS statistical software version 2.9.0 and a comparison of means using Tukey's test ($p \leq 0.05$). The results showed that the pasture rest period with the highest cumulative yield was the late cut of 35 days, with 17,040 kg DM ha⁻¹. The stem contributed the most to the total dry matter yield, averaging 5,137 kg DM ha⁻¹ (48%), followed by the leaf (4,574 kg DM ha⁻¹, 47%), dead material and weeds (364 and 105 kg DM ha⁻¹, respectively, both 3%), and the inflorescence (200 kg DM ha⁻¹, only 1%). Conversely, early and mid-cut intervals of 21 and 28 days did not favor alfalfa productivity in the spring season, with an average yield of 7,051 kg DM ha⁻¹. In conclusion, a prolonged rest period of 35 days after spring regrowth promotes higher dry matter yield, with the stem being the component that contributes most to the overall crop yield.

Keywords: Cutting intervals, morphological botanical composition, spring season, forage yield.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por acompañarme siempre, darme fuerza en los momentos difíciles y bendecir cada paso que me permitió llegar hasta aquí. Por cuidar de mí y de mi familia todos estos años.

A mis **padres**, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de mi vida. Gracias por enseñarme a nunca rendirme, por apoyarme en cada paso y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Este logro es el reflejo de todo lo que me han brindado a lo largo de mi vida. Este trabajo está dedicado a ustedes, con todo mi amor y gratitud. por ser el pilar fundamental que me impulsó a alcanzar esta meta.

A mis **hermanos**, por su apoyo, compañía y palabras de ánimo a lo largo de este camino. Gracias por estar presentes en los momentos importantes y los difíciles, por motivarme y ser parte fundamental en mi vida.

A mi **pareja y compañera de vida**, por su amor, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en los momentos difíciles, por motivarme a seguir adelante y por creer siempre en mí.

A mi "ALMA TERRA MATER" la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y proporcionarme las herramientas necesarias para lograr este objetivo.

Al **Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez**, por su valioso apoyo, orientación y dedicación durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, brindarme su tiempo y guiarme con paciencia para la realización y culminación de este trabajo académico.

A **mi mejor amigo** que más que un amigo se convirtió en un hermano y ahora compadre, gracias por siempre estar, en las buenas y malas. Gracias por tu lealtad, tu compañía y por demostrar que la verdadera amistad puede convertirse en familia.

A los amigos que la Universidad me permitió conocer y formaron parte del proceso: Payo, Noe, chino, que hicieron mi estancia más agradable. A Neftali y Juan Pablo por abrirme la puerta de su casa y por todo el apoyo brindado. Martin que demostró ser una gran persona y de igual manera brindarme su mano cuando lo necesite.

En fin, a cada persona que conocí a lo largo de mi estancia que de alguna u otra manera aportaron algo en mi formación y crecimiento como persona y profesionalista, gracias.

DEDICATORIA

A mis padres

Gabriel Soto Aragon y Rachel Sánchez Osorio, quienes son mi guía, mi inspiración y la base de todo lo que he logrado, los amo infinitamente y estaré agradecido con ustedes toda mi vida.

A mis hermanos

Arlet, Berenice y Kevin, quienes siempre han estado para mí, en buenas y malas apoyándome incondicionalmente. “Los quiero muchos hermanos (as)”.

A mi mejor amigo

José Manuel Jiménez quien desde que tengo memoria estuvo ahí y nunca me ha dejado caer, y me toma como ejemplo a seguir para sus hijos.

A mi novia

MVZ. Daniela Rodríguez, quien se convirtió en mi mejor amiga, acompañante de vida y mi futura esposa, desde que llego me acompaña en el proceso y me motiva a cada día ser mejor y a superarme. Te amo chaparrita.

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|--|-----------|
| Página | i |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1 Objetivo general | 2 |
| 1.1.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.2 HIPÓTESIS | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Descripción de la especie en estudio | 3 |
| 2.1.1 Importancia económica de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)..... | 3 |
| 2.1.2 Origen | 3 |
| 2.1.2 Descripción taxonómica | 4 |
| 2.1.3 Descripción morfológica de la alfalfa..... | 4 |
| 2.1.3 Adaptabilidad de <i>Medicago sativa</i> L..... | 8 |
| 2.1.4 Usos..... | 8 |
| 2.2 Descripción de la variedad Premium estudiada | 9 |
| 2.3 Rendimiento y crecimiento estacional de forraje | 9 |
| 2.4 Factores edafo-climáticos que afectan el crecimiento y producción de forrajes | 10 |
| 2.4.1 Radiación solar | 10 |
| 2.4.2 Temperatura..... | 10 |
| 2.4.3 Humedad | 11 |
| 2.4.4 Suelo | 12 |
| 2.4.5 Plagas y enfermedades del cultivo de alfalfa | 13 |
| 2.5 Factores que afectan el rebrote | 14 |
| 2.5.1 Índice de área foliar..... | 15 |
| 2.5.2 Meristemos de crecimiento | 16 |
| 2.5.3 Reservas de carbohidratos | 17 |
| 2.5.4 Disponibilidad de agua..... | 17 |
| 2.5.5 Frecuencia e intensidad de corte | 18 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| | 2.6 Valor nutritivo en los forrajes..... | 19 |
| III. | Materiales y métodos | 20 |
| | 3.1 Descripción del sitio de estudio | 20 |
| | 3.1.1 Condiciones climáticas durante el experimento | 20 |
| | 3.2 Manejo de las parcelas experimentales | 21 |
| | 3.3 Tratamientos y diseño experimental | 22 |
| | 3.4 Variables evaluadas | 22 |
| | 3.4.1 Rendimiento de forraje | 22 |
| | 3.4.2 Composición botánica - morfológica | 22 |
| | 3.5 Análisis estadístico..... | 23 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 24 |
| | 4.1 Rendimiento de materia seca total | 24 |
| | 4.2 Composición botánica – morfológica | 25 |
| | 4.2.1 Aportación de la hoja al rendimiento total..... | 25 |
| | 4.2.2 Aportación del tallo al rendimiento total..... | 27 |
| | 4.2.3 Aportación del material muerto al rendimiento total..... | 28 |
| | 4.2.4 Aportación de inflorescencia al rendimiento total | 30 |
| | 4.2.5 Aportación de la maleza | 32 |
| V. | CONCLUSIONES | 35 |
| VI. | LITERATURA CITADA | 36 |
| VII. | ANEXOS | 45 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>Medicago sativa</i> L. | 4 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Precipitación acumulada (mm), temperatura máxima (Temp. Max °C) y temperatura mínima (Temp. Min °C) tomadas por la RUOA, UAAAN, Saltillo, Coahuila en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante la estación de primavera de 2022..... | 21 |
|--|----|

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Página |
|--|---------------|
| Anexo 1. Rendimiento de materia seca (kg MS ha ⁻¹) de dos variedades de alfalfa cosechadas a diferentes intervalos de corte en la estación de invierno, en el Sureste de Coahuila, México | 58 |
| Anexo 2. Composición Botánica Morfológica (%) de dos variedades de alfalfa, cosechadas a diferentes intervalos de corte en la estación de invierno, en el Sureste de Coahuila, México..... | 59 |

I. INTRODUCCIÓN

Mundialmente, los forrajes forman parte del 80% del alimento que consumen los rumiantes a lo largo de su ciclo de vida (Živković *et al.* 2012). La alfalfa es comúnmente conocida como la reina forrajera, identificada científicamente como *Medicago sativa* L., contiene un gran valor nutricional, contenido de proteínas alto, con un rendimiento y capacidad de adaptarse a ambientes osteros (Russelle, 2001). Es una especie capaz de perseverar en climas secos y templados con temperaturas altas por lo que puede predominar en regiones áridas y semiáridas (Rojas *et al.*, 2016). Al ser una leguminosa fija nitrógeno atmosférico y reduce la necesidad de fertilizantes, es una planta de raíces profundas por lo que subsiste a periodos de sequía y en comparación con otras especies forrajeras mejora las condiciones del suelo (Putnam *et al.*, 2001). Como leguminosa desempeñan un papel importante en el manejo alimentario del ganado por su alto valor nutritivo (Velázquez *et al.*, 2010). Su composición nutricional oscila entre un 22 % de proteína y un 70 % de digestibilidad. Su establecimiento se mejora particularmente en suelos profundos y con excelente drenaje (Sánchez, 2005). Esta especie permite ser un reservorio de forraje para las épocas de estiaje (Flores, 2015). Es una planta muy versátil que puede usarse en biomasa verde ya sea cosecha directa o indirecta, así como también en forma de heno o ensilado (Lancefield *et al.*, 1998). Los materiales genéticos de alfalfa en el mercado internacional y nacional son muy variados, diferenciándose en virtudes, adaptaciones y producción de materia seca (Salinas, 1988). Romero (2011) especifica que, para lograr un alimento de cantidad y alta calidad, para el caso de la alfalfa, se debe contemplar un tiempo de descanso que permita a la especie recuperarse posterior a su cosecha. No obstante, tiene marca estacionalidad en su producción de forraje y desarrollo. Por lo anterior, se establecieron los siguientes objetivos en la presente investigación.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- ✓ Analizar el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Premium, bajo diferentes intervalos de corte durante la temporada de primavera en el sureste de Coahuila, México.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar el rendimiento de biomasa y sus componentes morfológicos de *Medicago sativa* L., variedad Premium, a intervalos de corte temprano, medio y tardío, durante la primavera.
- ✓ Evaluar el rendimiento de forraje de los componentes (hoja, tallo, material muerto, inflorescencia y maleza) en la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes intervalos de corte de 21, 28 y 35 días de rebrote.

1.2 HIPÓTESIS

- ❖ El mayor rendimiento de forraje de la variedad Premium (*Medicago sativa* L.) se alcanzará con un intervalo de corte de 35 días tras el rebrote.
- ❖ El componente morfológico hoja se estima que será el que mayor rendimiento aportará al rendimiento total, seguido por el tallo, seguidos por las malezas, material muerto e inflorescencia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de la especie en estudio

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

El cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) representa la fuente forrajera más usada en la ganadería nacional, tanto por su alta producción de materia seca y verde, como por su excelente calidad nutricional (Castro, 1993). Los estados más resaltantes en cuanto a producción son: Chihuahua, Hidalgo, Guanajuato, Región Lagunera, Baja California, Durango, Sonora, Coahuila, Puebla, San Luis Potosí, Zacatecas y Jalisco. En el año 2016, se registró una superficie promedio de 385,533 hectáreas sembrada, con 21.6 millones de toneladas de forraje verde y un rendimiento promedio anual de 56.4 ton ha⁻¹ (SIAP, 2016). Estos datos nacionales son el reflejo de una demanda de alimento continuo de forrajes en fresco para un numeroso hato ganadero. No obstante, la producción de forraje en México es capaz de producir la mayor parte de esta demanda e incluso producir un excedente de forraje que se exporta.

2.1.2 Origen

La alfalfa presenta su origen en Irán, Asia Menor y el sur del Cáucaso, y su aprovechamiento se registra en Irak, Irán, Siria, Turquía, Afganistán y Pakistán. Se establece en más de 80 países alrededor del mundo, ocupando el 2,5 % del total de los cultivos (Živković *et al.*, 2012). Es una fuente de alimento ampliamente utilizado en la ganadería (Bouton *et al.*, 2001). Los árabes la llamaron “alfafacah” que significa el mejor forraje, para los griegos “Medike”, pero para los romanos era “hierva medica” por su origen en meda o persa (Klinkowski, 1993). Fue introducida en América por nativos españoles durante el periodo de la conquista (Guaytarilla y Caden, 2005), siendo México, Chile y Perú las primeras naciones en aprovecharla. En 1954, fue introducida en Nuevo México, Arizona y California (Soriano, 2003).

2.1.2 Descripción taxonómica

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Medicago sativa* L.

| | |
|------------|----------------|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Subclase | Rosidae |
| Orden | Fabales |
| Familia | Leguminosae |
| Subfamilia | Papilionoideae |
| Tribu | Trifolieae |
| Genero | Medicago |
| Especie | Sativa L. |

Fuente: CONABIO (2022).

2.1.3 Descripción morfológica de la alfalfa

Medicago sativa L. es una planta herbácea de ciclo perenne que pertenece a la familia Fabaceae, muy reconocida como una de las especies forrajeras más reconocidas a nivel mundial por su alta productividad, valor nutritivo y capacidad de capturar N atmosférico haciendo simbiosis con las bacterias del género *Rhizobium* encontradas en el suelo. Se ha reportado como una especie con gran capacidad de desarrollarse en diversos tipos de climas y condiciones de suelo, lo que ha llamado mucho la atención en diversas regiones del mundo. Presenta al menos dos hábitos de crecimiento: erecto, semierecto y amacollada, densas, compuestas por numerosos tallos que salen de la parte basal, llamada corona. La altura de la planta va desde los 30 a los 100 cm, aunque puede ser mayor dependiendo del material genético o variedad manejada, edad de la planta y claramente las condiciones del clima en función de la

estación de crecimiento, lo que conlleva a un promedio de vida de entre 5 a 7 años (Barnes, 2008).

2.1.3.1 Componentes morfológico

Hojas: Son compuestas, formadas por tres folíolos, lo cual es típico de muchas especies de la familia de las leguminosas. Cada folíolo está unido al tallo por un pecíolo desarrollado, lo que resulta en una adecuada filotaxia para optimizar la intercepción de luz solar. Esta filotaxía permite que las hojas se dispongan alternadamente a lo largo del tallo, lo que da una distribución equilibrada del follaje, favoreciendo el proceso fotosintético (Barnes, 2003). Visto del punto anatómico y funcional, las hojas desempeñan un papel fundamental en el intercambio de gases en la fotosíntesis y en la acumulación de nutrientes. Por tanto, el componente foliar representa lo más nutritivo del forraje de alfalfa, por su alto contenido de proteína cruda, minerales y compuestos altamente digestibles en comparación con el resto de los componentes morfológicos principalmente el tallo. Por esto, la relación de la hoja respecto al tallo es un elemento que determina la calidad nutricional de la especie para mantener el equilibrio en los sistemas de producción ganadera (Ball *et al.*, 2001).

Tallos: Son generalmente erectos, herbáceos, delgados y levemente ascendentes, que tienen su origen en la zona basal de la planta llamada corona. Esta área basal es primordial para la fase vegetativa del cultivo, ya que permite el recambio continuo de nuevos tallos después de una defoliación. Una sola planta puede generar numerosos tallos en cada ciclo de rebrote, lo que explica la alta producción de forraje, por lo que se le reconoce a este cultivo (Undersander, 2011). En fases tempranas de rebrote, estos componentes presentan una textura tierna y succulenta; sin embargo, conforme la planta avanza en edad los tallos incrementa la lignina en los tejidos aumentando su rigidez, lo que provoca que disminuya la digestibilidad de la planta (Barnes, 2003).

Raíz: Es de tipo pivotante, reconocida como una de las características morfológicas más resaltantes de la especie. A través de las primeras etapas del desarrollo de la planta, se forma una raíz principal resistente, con capacidad de penetrar a horizontes profundos en el suelo. Puede alcanzar profundidades superiores de 2 a 3 m, mientras las condiciones edáficas lo permitan. Por tanto, la especie posee la habilidad para explorar horizontes profundos del suelo, buscando agua y/o nutrientes, por lo que puede soportar periodos prolongados con la falta de humedad si es comparada con otras especies forrajeras (Rojas-García, 2017). También, a partir de la raíz principal pivotante se desprenden varias raíces laterales o secundarias, que se desarrollan horizontalmente en la rizósfera, aumentando la capacidad de absorción de la planta. Por lo que este tipo de raicillas secundarias juegan un papel fundamental en la captación de nutrientes minerales y en la estabilidad de la planta en el suelo (Sánchez-Gutiérrez, 2015).

Corona: Esta es una estructura lignificada o semilignificada ubicada en la parte basal del tallo, a nivel del suelo o puede estar ligeramente por debajo de este nivel. Su papel está involucrado en la persistencia y la longevidad de la pradera. A partir de esta se originan nuevos hijuelos, posterior a un aprovechamiento. La capacidad de recuperación de la corona abona a que la especie se mantenga productivamente activa durante varios años, hasta 12 años. Conforme la planta pasa de una fase vegetativa a una reproductiva, se va formando la corona, que, junto con la raíz, almacena el 25 % de las sustancias de reserva, dando pie a nuevos brotes. Por tanto, el manejo agronómico debe contemplar el cuidado y el desarrollo óptimo de la corona (Basigalup, 2007).

Inflorescencia: Es de tipo racimo, axilar o terminal, por lo que puede originarse a partir de los extremos de los tallos jóvenes o de las axilas de las hojas. Esta filotaxía ha permitido que las inflorescencias queden expuestas ante los vectores polinizadores, para favorecer una reproducción sexual en las plantas. Los registros reportan que cada racimo puede contener desde 5 a 30 flores, lo que puede variar dependiendo de la

variedad, la densidad foliar y las condiciones del clima (Barnes, 2003). La flor de la alfalfa presenta una morfología típica de las leguminosas papilionadas, por lo que cada flor es hermafrodita, con órganos reproductivos femeninos y masculinos, compuesta por 5 pétalos que se diferencian entre sí: el estandarte se ubica en la parte superior y por lo general es más grande; la quilla, las alas y los pétalos laterales están formados por dos pétalos fusionados cumpliendo la función de proteger a los órganos sexuales internos (Small, 2011).

Fruto: Su fruto es el típico del género *Medicago*, conocido como vaina o legumbre. Este fruto presenta la característica de dehiscencia o de apertura parcial de la vaina, y presenta una forma en espiral o enrollada, lo cual hace la diferencia frente a otras leguminosas forrajeras. La longitud y el número de vueltas de la espiral varían según la variedad y las condiciones de cultivo, pero, por lo general, cada fruto contiene entre 2 y 8 semillas (Barnes, 2003). Asimismo, las legumbres están suspendidas del pedúnculo floral, lo que permite que queden expuestas para la dispersión de las semillas al madurar. La vaina se desarrolla a partir del ovario superior de la flor tras la fecundación y constituye un mecanismo de protección de las semillas, preservando su viabilidad hasta que se produzca la dispersión natural o la cosecha (Undersander, 2011).

Semilla: Es el órgano que da fin al ciclo vegetativo de la alfalfa, encargado de la propagación y persistencia de la progenie. Es de forma espiralada y contiene entre 2 y 8 semillas, y está conformada por una cubierta dura, de tamaño pequeño y de forma reniforme, lo que le permite adaptarse a condiciones del ambiente hostiles y estar viable durante períodos prolongados en suelo o en condiciones de almacenamiento (Pérez-Gutiérrez, 2018). Además, la forma y el tamaño de la semilla pueden variar entre variedades, cultivares o progenies, siendo los factores genéticos y las condiciones edafoclimáticas de crecimiento los que determinan la morfología y la calidad fisiológica del material. Su cubierta externa resistente protege al embrión y las

reservas nutricionales internas, asegurando la germinación en diversas condiciones edafoclimáticas de temperatura y humedad (Martínez-García & Hernández, 2016).

2.1.3 Adaptabilidad de *Medicago sativa* L.

Medicago sativa L. persiste en una amplia variedad de climas y suelos. No obstante, la temperatura óptima para su desarrollo va de los 15 a los 25 °C a lo largo del día, pero durante la noche las temperaturas que no afectan su comportamiento pueden variar entre 10 y 20 °C, por tanto, arriba de los 30 °C, este se ve afectado. En cuanto a sus altitudes soportables van de 700 a 4000 msnm. Para el caso de condiciones de suelo, estos deben estar considerados entre francos o franco arenosos, con un óptimo drenaje, y presenta resistencia a la salinidad baja. Si bien presenta resistencia a la falta de humedad por el tipo de raíz, los encharcamientos son desfavorables. El pH óptimo en el suelo o rizofera debe estar en un rango de 6,5 a 7,0. Como característico de las leguminosas, esta desarrolla un sistema radicular en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* que utiliza el nitrógeno atmosférico para la síntesis de proteínas, lo que le permite crecer que crezca eficientemente incluso en suelos con bajo contenido de nitrógeno disponible, lo que contribuye a su sostenibilidad en sistemas de producción agrícola (Ball, 2001)

2.1.4 Usos

La alfalfa es aprovechada mediante diferentes tipos de manejos agronómicos. Persiste bajo sistemas de defoliación intensiva, pastoreo controlado o conservación como heno o ensilaje, ya que mantiene su productividad en varios años manejándolas con prácticas adecuadas. *Medicago sativa* L., tiene otros beneficios: evita la acidosis mejorando la fermentación microbiana en especies de rumiantes, se mantiene verde durante casi todo su ciclo, lo que da excelente vista al paisaje, evita la erosión eólica e hídrica del suelo, hay un ahorro en la fertilización nitrogenada y enriquece el suelo con este elemento. Adicionalmente, no es necesario la implementación de grandes

labores mecánicas para su establecimiento ayudando a la salud del medio ambiente. Por tanto, la forma de aprovechamiento de alfalfa es muy diversa, que va desde del pastoreo directo (fresca, en pie), corte mecánicamente y distribuido en comederos, conservado en heno, en rollos o fardos, o bien como pellets, siendo este un alimento comprimido (Mazcorro, 2022).

2.2 Descripción de la variedad Premium estudiada

Esta variedad fue desarrollada en Australia y en algunos lugares es también nombrada como Supersonic. Entre sus principales formas de aprovechamiento o usos es el pastoreo intensivo y el corte para acarreo ofrecido en comedero o para henificar. Es sobresaliente frente a otras variedades de la misma especie, dado que sus hojas son demasiado grandes, acumulando en este componente un mayor porcentaje de energía y proteínas. Por lo anterior, es muy recomendada y usada en los sistemas de producción de leche por su mayor relación de hoja respecto al tallo (AGP Semillas, 2019). Su contenido proteico alcanza hasta un 22 %, con una digestibilidad del 70 % y una producción de forraje anual de 22-28 ton MS ha⁻¹. Su periodo de aprovechamiento puede ir desde los 4 a los 6 años, dependiendo del manejo agronómico (AgroBesser, 2022).

2.3 Rendimiento y crecimiento estacional de forraje

Un rendimiento de materia seca de un alfalfar va a depender de la frecuencia de defoliación, afectando la dinámica de crecimiento del cultivo. Es por esto que es necesario identificar el momento de aprovechamiento óptimo posterior al rebrote, donde se pueda combinar la mayor cantidad de biomasa producida y la mejor calidad de forraje (Ríos, 2021). El crecimiento, el rendimiento y la persistencia de la pradera, juntamente con la calidad del forraje, estriban de la frecuencia e intensidad de cosecha de acuerdo con la estación del año. Por tanto, la frecuencia de defoliación determina el valor nutritivo y la morfogénesis del forraje, por lo que es fundamental definir un

esquema de manejo basado en la velocidad a que se acumula biomasa a través del tiempo (Carrillo, 2016). Por tanto, se deben de establecer adecuadas estrategias de manejo fundamentadas en análisis de crecimiento dependiendo de la especie y de la estación del año; tomando en cuenta las etapas fenológicas del cultivo en las diferentes condiciones edafoclimáticas imperante en la región, permitiendo combinar cantidad, calidad y persistencia de la pradera (Castro *et al.*, 2011). Entonces estos factores como el rendimiento de materia seca, la digestibilidad, el contenido de proteína, la rusticidad y la adaptabilidad a diferentes tipos de clima han convertido a la alfalfa una de la leguminosa más sembrada y utilizada en la ganadería mundial, a tal punto de ser recomendada inclusive como suplemento dietético en humanos para combatir la desnutrición y los trastornos digestivos (Valencia, 2016). En una zona como el sureste de Coahuila, México, se han reportado rendimientos de hasta 13,400 kg MS ha⁻¹ (SIAP, 2022).

2.4 Factores edafo-climáticos que afectan el crecimiento y producción de forrajes

2.4.1 Radiación solar

Esta especie necesita de la luz solar diariamente, teniendo un mínimo de 6 horas de luz solar por día para mantener sus componentes del rendimiento principales como las hojas, raíces y flores en un estado saludable. La radiación solar es una fuente importante de energía relacionada prácticamente con todos los procesos fisiológicos de las plantas. No obstante, es responsable de la variación estacional en el rendimiento de biomasa forrajera; por ejemplo, en verano, la radiación solar es mayor, y por tanto hay una mayor tasa de crecimiento en la planta dado el incremento en la tasa de fotosíntesis (Rojas-García, 2016).

2.4.2 Temperatura

Por su parte la temperatura juega un papel importante en la germinación de las semillas. Para el caso de la alfalfa, la semilla germina a temperaturas de entre 2 y 3 °C, siempre y cuando los demás factores que afectan la germinación no la limiten como la ausencia de humedad. No obstante, conforme se incrementa la temperatura a la que está expuesta la semilla, la germinación se incrementa hasta una temperatura óptima de 28-30 °C. Empero, temperaturas por arriba de los 38 °C implican la muerte de las plántulas. Por esto a inicio de las condiciones de invierno, la planta de alfalfa reduce o hasta detiene su crecimiento hasta próximos a la primavera, regresan a su crecimiento habitual. Sin embargo, existen variedades que soportan temperaturas muy bajas de hasta -10 °C que van acorde con su grado de dormancia, por lo que se ha determinado que una temperatura media anual óptima para la producción forrajera esta alrededor de los 15 °C, en un rango 18-28 °C, según la variedad. Por su parte, Brown y Radcliffe (1986), establecen un rango entre los 25 y 30 °C como condiciones óptimas de temperatura para un correcto desarrollo de la planta. Es así que una mayor translocación de carbohidratos y absorción de nutrientes de la raíz a la corona en el cultivo de alfalfa se ha reportado más eficiente cuando la planta se desempeña en un régimen de temperaturas de 21/8 °C para el día y la noche, respectivamente, respecto a otros regímenes como de 12/2 °C y aún más en 34/25 °C (Al-Hamdani y Todd, 1990).

2.4.3 Humedad

A *Medicago sativa* de acuerdo a su ruta fotosintética está incluida en el grupo de las plantas C₃, lo que la caracteriza como una especie con baja eficiencia en la utilización del agua para llevar a cabo sus procesos metabólicos y producción de materia seca. Los mejores índices reportados en este aspecto, en términos de evapotranspiración, contemplan un rango entre 1.6 y 1.7 kg MS m⁻³ de agua (Grismer, 2001). Esta especie puede aprovechar humedad a altas profundidades de suelo, dado su arraigamiento profundo. Se ha reportado hasta un máximo de 3 m de profundidad radical en suelos profundos y bien aireados. Esta especie es capaz de extraer hasta un 85 % del agua disponible en un primer metro de profundidad, a la cual se encuentra

la zona con mayor cantidad de raíces. De manera general, para que una planta pueda utilizar adecuadamente la humedad en el suelo va a depender, entre otros factores, de la fase fenológica del cultivo, el número de plantas por metro cuadrado, grados de fertilidad edáfica, y tipo de humedad disponible en el suelo (Peterson, 1977). No obstante, la absorción de agua por las plantas no es uniforme en los diferentes perfiles de suelo, dado que es mayor a mayor densidad de raíces. Se ha encontrado que el 70 % del agua extraída por un o varias se da en los primeros 120 cm de profundidad del suelo. Así mismo, un exceso de agua en el suelo reduce la aireación y produce un amarillamiento del área foliar, resultando plantas con coronas de un tamaño no óptimo que limita su recuperación posterior a una defoliación. Así mismo, una humedad en exceso en el suelo provoca daño por patógenos en la raíz como la pudrición texana (Ratera, 1991).

2.4.4 Suelo

La especie *Medicago sativa* L. requiere características edáficas de suelos bien formados con sus perfiles bien definidos y adecuadamente drenados; no obstante, persevera en una gran variedad de tipos de suelo. Por lo anterior, es necesario considerar algunos factores edáficos: la salinidad, la alcalinidad, la acidez, la profundidad del suelo y el drenaje, que cobran relevancia en el establecimiento y posterior comportamiento productivo de la alfalfa (Zhang *et al.*, 2020; Carmona, 2021). La profundidad que alcanza el sistema radical es lo que determina los requisitos básicos para que un suelo cumpla con las condiciones edáficas óptimas para esta especie. Se estima que su profundidad debe ser mayor a 1 m, siempre y cuando no se presenten capas impermeables que dificulten el desarrollo de las raíces a esta profundidad, y que obstaculicen el movimiento del agua, manteniéndolo mayormente en invierno a menos de 60 cm del área superficial del suelo. Por tanto, se entiende que, a mayor profundidad del sistema radical de la especie y donde no se presenten impedimentos en su desarrollo, le permití expandir su área de rizosfera en un mayor volumen de suelo por lo que facilita la absorción de nutrientes para su desarrollo,

logrando una mayor tolerancia a la falta de humedad, traducido en una mayor producción de forraje (Soto *et al.*,1997). No obstante, mientras el pH del suelo se mantenga de 6.5 a 7.5, el desarrollo es óptimo, pero si se presentan valores inferiores a 5.8 la absorción de nutrientes decae, y en contraparte valores superiores a 8.5 provocan enfermedades en el sistema radical (Marsh, 1981).

2.4.5 Plagas y enfermedades del cultivo de alfalfa

En años recientes se han presentado problemas fitosanitarios que han perjudicado la producción de forraje en la alfalfa. Este problema se ha acentuado principalmente en periodos de falta de humedad, lo que favorece la aparición de enfermedades causadas por nematodos y hongos presentes en el suelo, problema que se ha mitigado mediante la rotación de cultivos. Otras prácticas son la preparación temprana del suelo y la aplicación de herbicidas, nematicidas y fungicidas al momento de su preparación (CANNEVARI, M. 1995). No obstante, se ha observado que *Medicago sativa* L. produce una toxina que puede disminuir los porcentajes de germinación y reducir el crecimiento en un nuevo establecimiento, fenómeno al que se la ha conocido como autotoxicidad (Delgado y Chocarro, 2020).

Cuadro 2. Principales plagas y enfermedades de la alfalfa.

| Nombre común | Nombre científico |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Pulgón verde | <i>Acyrtosophon pisum</i> |
| Pulgón negro | <i>Aphis fabae</i> |
| Gusano verde de la alfalfa | <i>Colias churrítame</i> |
| Trips | <i>Frankliniella occidentalis</i> |
| Diabrotica | <i>Diabrotica spp.</i> |
| Chicharritas | <i>Cicadellia spp.</i> |
| Chinche lygus | <i>Lygus spp.</i> |
| Barrenador de la raíz | <i>Epicaerus aurifer</i> |

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| Pudrición de la corona | <i>Fusarium oxysporum</i> |
| Verticilosis | <i>Verticilium alboatrum</i> |
| Phytophthora | <i>Phytophthora megasperma</i> |
| Pythium | <i>Pythium ssp.</i> |
| Pudrición de la raíz | <i>Rhizoctonia solani</i> |
| Podredumbre gris | <i>Bortrytis cinera</i> |
| Tizón de la Soja | <i>Sclerotium rolfsii.</i> |

Fuente: Delgado y Chocarro (2020).

2.5 Factores que afectan el rebrote

Posterior a un aprovechamiento, por pastoreo o corte, las plantas forrajeras inician un nuevo rebrote, que puede ser igual, menor o mayor a la biomasa acumulada antes del corte. Para lo anterior, para que las plantas forrajeras inicien un nuevo rebrote, se deben tomar en cuenta la interacción de principios que influyen directamente en su comportamiento. Uno de estos principios es la capacidad de interceptar la luz solar, conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA). No obstante, el 95 % de la luz recibida o interceptada por las hojas de las plantas se pierde en forma de calor y únicamente un 5 % se aprovecha para la fotosíntesis en los cloroplastos. Además, sabiendo que el resultado de la fotosíntesis es biomasa en hojas y tallos y estos sirven como alimento en la ganadería. No obstante, para la planta no es recomendable que toda la hoja se aprovechada, ya que esto influye en la tasa de crecimiento y recambio de nuevo tejido vegetal, por lo que se vuelve de vital importancia la altura de pastoreo o forraje residual, de otra forma si es consumido el 100 % de la planta se provoca el sobrepastoreo, afectando la aparición de nuevos brotes, persistencia de la pradera y degradación de las praderas.

Por tanto, el éxito en la recuperación de una pradera posterior a la defoliación requiere de un adecuado almacenamiento de compuestos de reserva en la raíz y base de los tallos, así como del área foliar remanente que permanece después de la

cosecha. También, hay reservas orgánicas ubicadas en coronas, tallos y raíces de las plantas que funcionan como mecanismo para reiniciar un nuevo rebrote, y asegurar la persistencia de la pradera y producción forrajera. Estas reservas pueden ser afectadas por el pisoteo durante el pastoreo, ya que se ha reportado que este efecto afecta al rendimiento hasta en un 5 % en especies resistentes, pero reduce el rendimiento hasta en un 50 % en especies susceptibles. No obstante, el daño por pisoteo puede ser mayor en época húmeda que en época seca (Rincón, 2022).

2.5.1 Índice de área foliar

Sabiendo que el índice de área foliar es la cantidad de hoja por unidad de área de suelo que esta ocupa o cubre, la variación de esta área foliar se relaciona íntimamente con el desarrollo de la planta y la producción de forraje (Shibles y Weber, 1965; Watson, 1958). Influye ampliamente en el manejo del cultivo, ya que, es la base para determinar los requerimientos de agua, el déficit nutricional, la eficiencia bioenergética y hasta para determinar el potencial de daños fitosanitarios. También el índice de área foliar estima la capacidad fotosintética de los cultivos, lo que contribuye al entendimiento de la relación entre la acumulación de biomasa y el rendimiento bajo condiciones climáticas presentes en una región dada o específica. Por tanto, el desarrollo del área foliar se ve influido por las diferentes condiciones agrometeorológicas y edáficas, destacando la disponibilidad de agua molecular útil en el suelo. Ante esto, frente a condiciones hídricas desfavorables, la especie de alfalfa enfrenta modificaciones en sus hojas, como la reducción del área foliar, un mayor grosor, la lignificación, etc (Watson, 1958). Además, una disminución de la humedad, conlleva reducción en la turgencia de las células foliares provocando el cierre de las estomas, y el decremento de la fotosíntesis y modificación de diferentes procesos metabólicos básicos, resultado en menor tasa de crecimiento y producción de forraje. Esa así que conforme el IAF se incrementa, menor es la cantidad de radiación solar que llega a la superficie del suelo, mayor intercepción de luz por las hojas y mayor tasa de crecimiento y recambio de tejido (Kramer, 1974; Meyer, 1972).

2.5.2 Meristemos de crecimiento

Los meristemos de crecimiento son puntos o regiones celulares encontradas en las plantas, conformadas por células que mantienen un estado embrionario permanente; no obstante, su propagación y diferenciación se inicia a partir de la interacción con el resto de los tejidos. Estos puntos de crecimiento forman conjuntos de células indiferenciadas que dan pie al crecimiento continuo de la planta, por su alta capacidad de división celular y capacidad de diferenciación en una gran variedad de grupos celulares (Carlsbecker, 2018). Asimismo, estas células con la capacidad de generar todos los tipos de tejidos de la planta, por lo que, de cierto modo, son equivalentes a las células madre de los animales. Es así que, las células encontradas en los meristemos de crecimiento son divididas en mitosis, lo que resulta en dos células hijas: la primera que mantiene indefinidamente su forma meristemática y una segunda que crece y se especializa en un tejido específico de la planta. Por tanto, según su origen, los meristemos de crecimiento se clasifican en primarios y secundarios. De esta forma, los meristemos primarios generan los órganos y tejidos que dan origen al cuerpo de la planta, pues inician sus funciones tras la germinación de la semilla, dando lugar a los meristemos apicales, ya sean de los tallos, de la raíz o de ambos. Así mismo, los meristemos secundarios están presentes en la mayoría de las plantas durante el desarrollo postembrionario. Se encuentra ubicados en los meristemos axilares de las hojas, inflorescencia, intercalares y laterales (Gordillo, 2017). No obstante, la ubicación de los meristemos de crecimiento dependerá del hábito de crecimiento de la planta, ya sea erecto, semierecto o rastrero. En el caso específico de la alfalfa, los puntos o meristemas de crecimiento se ubican a la altura de la cosecha, pero el rebrote se reinicia desde las yemas de las coronas y de los meristemos ubicados en las zonas axilares. Sin embargo, el periodo de recuperación se puede prolongar debido a que las yemas alcanzan su crecimiento óptimo específicamente cuando la planta se encuentra en su fase fisiológica reproductiva. Para el caso del aprovechamiento en pastoreo, este ciclo se lleva a cabo de manera

ineficiente, dado que la interrupción del crecimiento por la defoliación retarda el reinicio de los meristemos, afectando la recuperación del tejido vegetal (Helariutta, 2013).

2.5.3 Reservas de carbohidratos

Los carbohidratos son responsables de proporcionar la energía necesaria para reiniciar el crecimiento de la alfalfa tras un aprovechamiento. Estos se conocen como carbohidratos no estructurales (almidón, azúcares y otros compuestos orgánicos), que pueden encontrarse en las raíces y, en menor cantidad, en la corona de la planta (Chimicz, J., 1988), y aun en la base de los tallos. El uso de los carbohidratos de reserva tiene lugar cuando la tasa fotosintética es mayor que la respiración y hay una alta captación de energía luminosa solar. Las reservas son menores durante el proceso de rebrote, ya que se utilizan para la formación de la nueva parte aérea (García, C. 1991).

2.5.4 Disponibilidad de agua

El riego aplicado a un alfalfar va a depender directa o indirectamente de diferentes factores, entre el más importante la capacidad que tenga un suelo para retener la humedad, la eficacia del sistema de riego y que tanto profundizan las raíces en los horizontes del suelo. Por lo tanto, una práctica muy común al aplicar riego, es la aplicación hídrica de forma fraccionada, en el entendido de que las necesidades del cultivo van a variar a través del ciclo productivo de la planta. Así mismo, si la aplicación de humedad es mayor al requerimiento de la planta, el uso eficiente de este recurso se reduce, a pesar de que *Medicago sativa* L., está adaptada fisiológicamente y morfológicamente para permanecer durante periodos prolongados de falta de humedad, ante lo cual su sistema radical penetra profusamente en el suelo. En este sentido, las necesidades de humedad total de la alfalfa a lo largo del ciclo productivo se sitúan en una lámina de riego entre 700 y 900 mm de agua (Murcia, 2004).

Diversas investigaciones señalan que este cultivo es uno de los que más lamina de riego requieren. Sin embargo, cuando es cultivada bajo condiciones de riego, la producción de forraje se duplica respecto a las de temporal (Doorembos y Kassam, 1990). Datos concretos, especifican que la alfalfa puede extraer aproximadamente el 85% del agua ubicada en el primer metro de profundidad del suelo. Empero, el consumo de agua por este cultivo depende de varias condiciones, las condiciones de salud de la pradera, el estado de desarrollo de esta, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua en el suelo (Rogers y Alam, 1988).

2.5.5 Frecuencia e intensidad de corte

El aprovechamiento del cultivo de la alfalfa mediante el corte en verde es una práctica muy común en las zonas templadas de la República Mexicana. Esta práctica consiste en cortarla y llevarla a los corrales para ofrecerla en los comederos del animal (Hernández, 1992). Para un correcto aprovechamiento, el tiempo transcurrido entre cortes debe considerarse en función del estado de desarrollo de la planta, con lo que se logran mayores rendimientos de forraje y una óptima persistencia de la pradera. Este periodo, conocido como frecuencia de corte o intervalo de corte, se define en función de los días entre cortes sucesivos y de la estación de crecimiento de las distintas zonas agroclimáticas del país (Hernández, 1993). Ante esto, una cosecha con mayor frecuencia se obtiene una menor producción de materia seca, y provoca la presencia de malezas, por el contrario, si se prolonga el tiempo entre cortes los cortes se realizan con intervalos más largos se obtiene una mayor producción de materia seca, sin embargo, su valor nutritivo es menor, la cantidad de proteína baja por tanto su digestibilidad también. Por esto, la frecuencia de corte varía según la estacionalidad y la variedad, por lo que estas son factores estratégicos en el manejo agronómico de la alfalfa para una buena producción de forraje y persistencia de la pradera (Sanderson, 2008).

2.6 Valor nutritivo en los forrajes

La calidad y valor nutritivo de un forraje está estrechamente relacionado con su valor bromatológico y su digestibilidad, los cual es muy variable. Los factores más relevantes causantes de esta variabilidad se ha establecido la especie, el estado de madurez y una correcta fertilización (Núñez, 2009). La etapa de madurez cobra importancia al momento del pastoreo, afectando la calidad y el valor nutricional mencionados. Estos dependen esencialmente de la relación de los tallos que guardan respecto a las hojas de la planta, debido a que los tallos se componen de más fibra que las hojas. Los registros indican que la digestibilidad de las hojas oscila entre 80 y 90 % versus la de los tallos entre 50 a 70 %. No obstante, esta relación disminuye con la edad de la planta, por lo que la digestibilidad de la alfalfa también disminuye conforme madura. Cuanto más se coseche a menor edad, mayor será el valor nutritivo de la planta. Sin embargo, un factor a tener en cuenta es que el forraje demasiado joven provoca trastornos metabólicos importantes. Entre las principales familias forrajeras se ha establecido que las leguminosas son de mayor valor nutritivo versus las gramíneas, particularmente cuando las plantas llegan a la madurez. Las leguminosas presentan un mayor contenido de proteínas y minerales, entre los que se registran el cobre, calcio, magnesio, fósforo y cobalto, y estos contenidos disminuyen a menor velocidad a la maduración de la especie. Las leguminosas aportan principalmente proteínas, y para el caso de la alfalfa es una leguminosa conocida por sus altos niveles de proteínas, vitaminas y minerales de alta calidad, su valor energético es relativamente alto en relación con el de la mayoría de las leguminosas (Alvarez, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó durante la estación de primavera del 05 de marzo de 2022 al 23 de julio de 2022, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, en el área experimental conocida como “El Bajío”, con coordenadas 25° 23' de latitud norte y 101° 00' de longitud oeste, a una altitud de 1783 m. El clima es templado semiseco, con una temperatura promedio de 18 °C. Durante la estación de primavera, las temperaturas máximas diarias aumentan de 22 a 29 °C, rara vez bajan de 6 °C ni exceden los 33 °C. La temperatura promedio es de 27 °C. El promedio anual de precipitación en la zona es de 340 mm (Climate-Data-org, 2010).

3.1.1 Condiciones climáticas durante el experimento

En la Figura 1 se muestran las temperaturas y las precipitaciones registradas durante el periodo del experimento. Los datos fueron obtenidos de la red universitaria de observatorios atmosféricos (RUOA, UAAAN, Saltillo). La temperatura máxima registrada fue de 27 °C y la mínima, de 9 °C. La mayor precipitación acumulada se registró al final del mes de julio, con 108 mm, seguida del mes de junio, con 63 mm; en los demás meses, las precipitaciones acumuladas fueron menores o nulas.

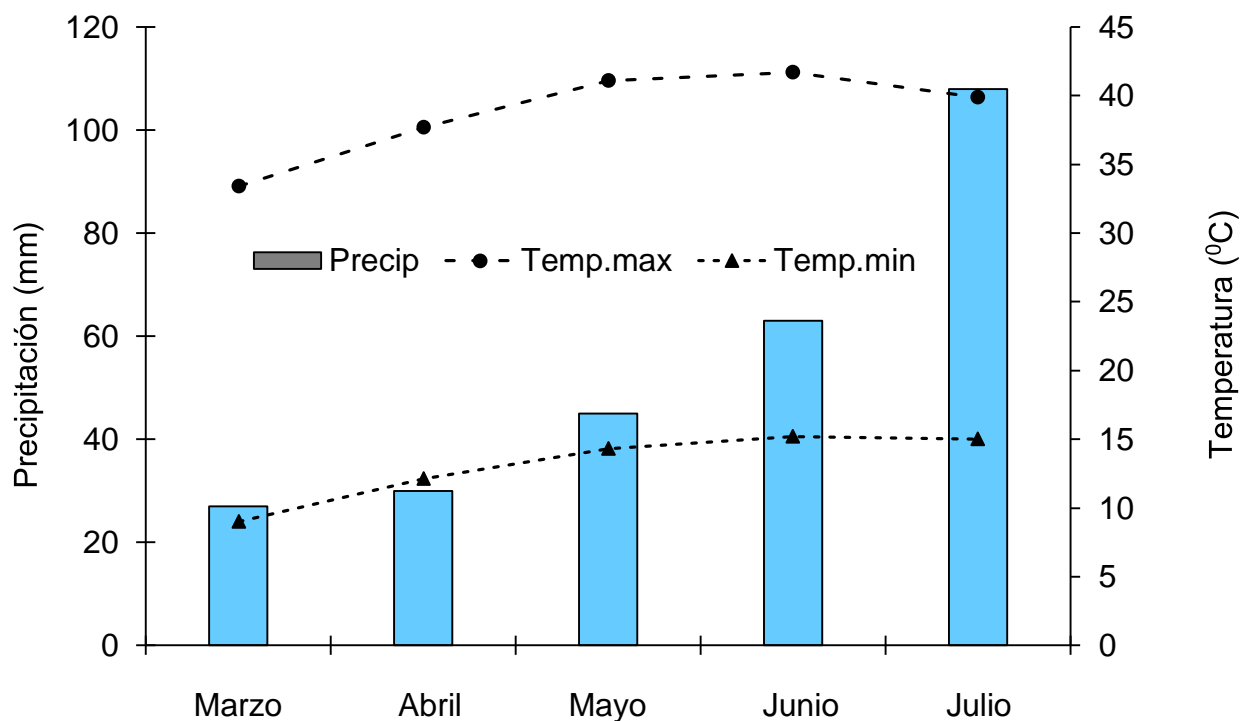


Figura 1. Precipitación acumulada (mm), temperatura máxima (Temp. Max °C) y temperatura mínima (Temp. Min °C) tomadas por la RUOA, UAAAN, Saltillo, Coahuila en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante la estación de primavera de 2022.

3.2 Manejo de las parcelas experimentales

Se utilizaron 9 parcelas de 9 m² (3 x 3 m), establecidas el 5 de febrero de 2019. Se estudió la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Dicha variedad se sometió a tres intervalos de corte: Corte Temprano (CTE), Corte Medio (CME) y Corte Tardío (CTA), considerando el CME como testigo. Los intervalos de corte fueron: CTE = tres semanas, CME = cuatro semanas y CTA = cinco semanas. La siembra fue al voleo, a una densidad de 22 kg SPV ha⁻¹. Se aplicaron riegos con cintilla superficial, colocada a 70 cm de separación, cada 15 días, hasta capacidad de campo.

3.3 Tratamientos y diseño experimental

La fuente de variación fue los intervalos de corte: corte temprano de 21 días de rebrote (CTE), corte medio de 28 días de rebrote (CME) y corte tardío de 35 días de rebrote (CTA). El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar, con tres repeticiones por intervalo de corte.

3.4 Variables evaluadas

3.4.1 Rendimiento de forraje

El rendimiento de forraje se determinó cortando el forraje presente en un cuadrante de 0,25 m², ubicado al azar en cada repetición, a una altura de aproximadamente 5 cm sobre el suelo. El forraje obtenido de cada variedad y en cada intervalo de corte se depositó en bolsas de papel previamente identificadas. Posteriormente, se sometió a un secado en una estufa de aire forzado, modelo POM-246F SERIAL No. P6-800 a 55 °C durante 72 horas hasta obtener un peso constante; de esta forma, se registró el peso de la materia seca, lo que permitió determinar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹).

3.4.2 Composición botánica - morfológica

Para determinar la composición botánica-morfológica se utilizó una submuestra de aproximadamente un 10 % del forraje cosechado para el rendimiento de forraje total, separándola en: hoja, tallo, material muerto, inflorescencia y maleza. Cada componente se colocó por separado en bolsas identificadas para someterlo a un secado en una estufa de aire forzado, modelo POM-246F SERIAL No. P6-800 a 55 °C hasta obtener un peso constante. Para tener un peso más exacto, se utilizó una báscula analítica y se pesaron las muestras de cada componente en porcentaje y kg MS ha⁻¹, utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{CBM (\%)} = \left[\frac{\text{Peso total del componente}}{\text{Peso total de la CBM}} \right] 100$$

$$\text{Kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1} = \left[\frac{\text{kg MS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1} \text{ componente}^{-1}}{\text{kg MS ha}^{-1} \text{ estación}^{-1}} \right] 100$$

3.5 Análisis estadístico

Para comparar el efecto del intervalo de corte en la alfalfa en la estación de primavera, se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Se aplicó un ANOVA con el procedimiento PROC GLM de SAS (Statistical Analysis System, versión 9.0 para Windows; SAS Institute, Cary, NC, USA) Cuando hubo efecto de intervalo de corte, se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %. Se utilizó el siguiente modelo estadístico:

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

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 estación

E_{ij} = Error estándar de la media

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de materia seca total

En la Figura 2 se muestra el rendimiento de materia seca de la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes intervalos de corte durante la estación de primavera en el sureste de Saltillo, Coahuila. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) al cosechar la especie a diferentes intervalos de corte. El mayor rendimiento de forraje lo presentó el corte tardío (CTA) con 17,040 kg MS ha⁻¹ ($p < 0.05$). En contraste, se obtuvieron menores resultados cuando la alfalfa (*Medicago sativa* L.) se cosechó a los 21 días en el corte temprano (CTE), con 6770 kg MS ha⁻¹, y a los 28 días en el corte medio (CME), con 7333 kg MS ha⁻¹ ($p > 0.05$). El promedio general registrado fue de 10,381 kg MS ha⁻¹.

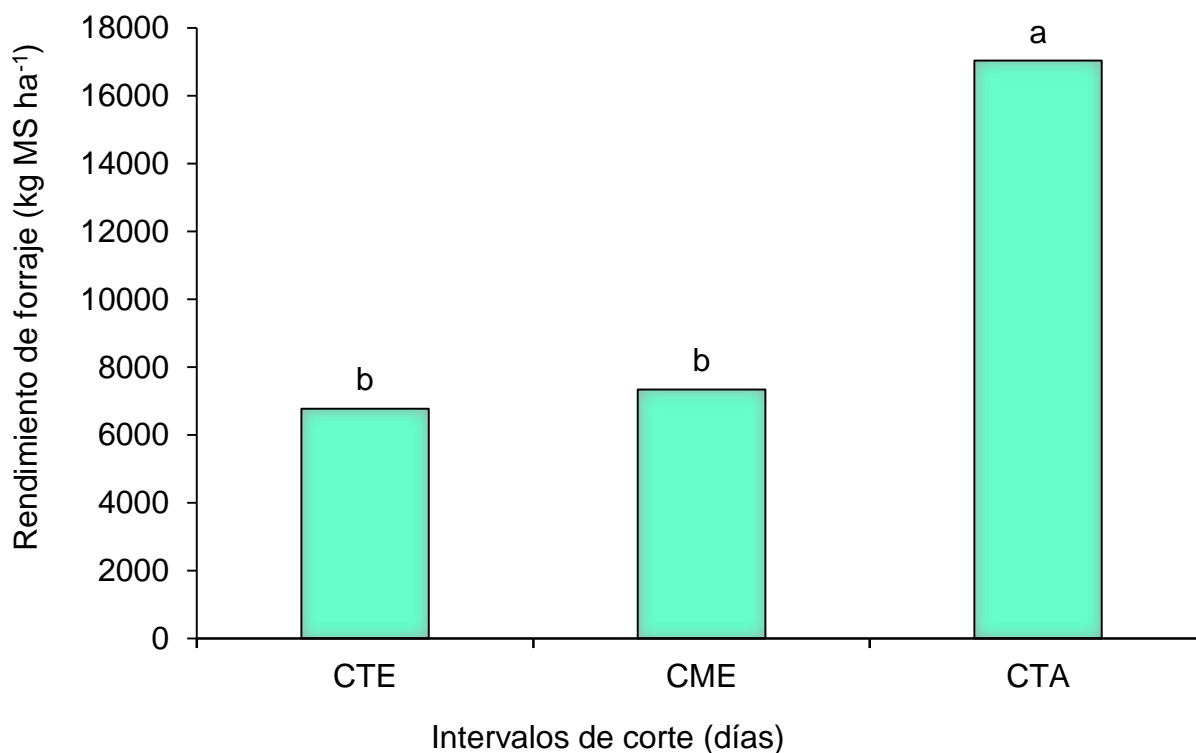


Figura 2. Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa premium (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes intervalos de corte en primavera, en el Sureste de Coahuila,

México. CTE = Corte temprano, (21 días). CME = Corte medio (28 días). CTA = Corte tardío (35 días). Medias con letras iguales no difieren ($p \geq 0.05$).

En estudios realizados por Castro (2020), se observó una mayor producción de biomasa a medida que aumentó el intervalo entre cortes. Este señala que el rendimiento forrajero aumentará a medida que los intervalos de corte sean mayores, registrando la mayor diferencia entre el CTA (corte tardío) y el CTE (corte temprano). Por otro lado, Carmona (2021) menciona que el rebrote temprano de 7 días registra menor cantidad de forraje con un total de 225 kg MS ha⁻¹, mientras que un rebrote de 42 días se obtienen hasta 5,439 kg MS ha⁻¹, pero al incrementar a 49 días, el rendimiento puede disminuir a 4903 kg MS ha⁻¹. Rojas (2019) reporta que, al incrementar la intensidad de corte, habrá mayor pérdida de plantas reduciéndose el rendimiento de forraje, por lo que la alfalfa cosechada a una frecuencia de corte de 35 días, se obtiene 3,300 kg MS ha⁻¹.

4.2 Composición botánica – morfológica

4.2.1 Aportación de la hoja al rendimiento total

En la Figura 3 se presenta el aporte del componente hoja tanto en rendimiento de materia seca como en su representación en porcentaje del rendimiento total, en relación con los días de rebrote (21, 28 y 35 DDR) en la estación de primavera en el sureste de Saltillo, Coahuila. Se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) dentro de los intervalos de corte en el rendimiento de materia seca de hoja de la variedad Premium de alfalfa (*Medicago sativa* L.), pero no en el porcentaje de aportación al rendimiento total ($p > 0.05$). Los promedios fueron de 4575 kg MS ha⁻¹, con 47 %. El mayor valor se presentó en el CTA (35 días) con 7494 kg MS ha⁻¹, mientras que en el corte temprano (CTE; 21 días) y medio (CME; 28 días) con 3092 y 3137 kg MS ha⁻¹, respectivamente ($p > 0.05$). La hoja junto con el tallo fueron los componentes que más aportaron al rendimiento total (kg MS ha⁻¹) en los tres intervalos de corte: CTE, CME,

CTA con un promedio 4856 kg MS ha⁻¹, y un 47 % promedio de aportación. Así que, el hecho de que la hoja y el tallo fueran los principales componentes del rendimiento total en los tres intervalos de corte coincide con la morfología típica de la alfalfa, donde ambos órganos representan la mayor proporción de biomasa aérea. No obstante, aunque el rendimiento de hoja fue mayor en el corte tardío, es importante considerar que conforme aumenta la madurez fisiológica también se incrementa la proporción de tallo lignificado, lo que puede disminuir la digestibilidad y calidad del forraje. Por ello, la selección del intervalo de corte debe equilibrar rendimiento y valor nutritivo, dependiendo del objetivo productivo del sistema de explotación (Kallenbach *et al.*, 2002).

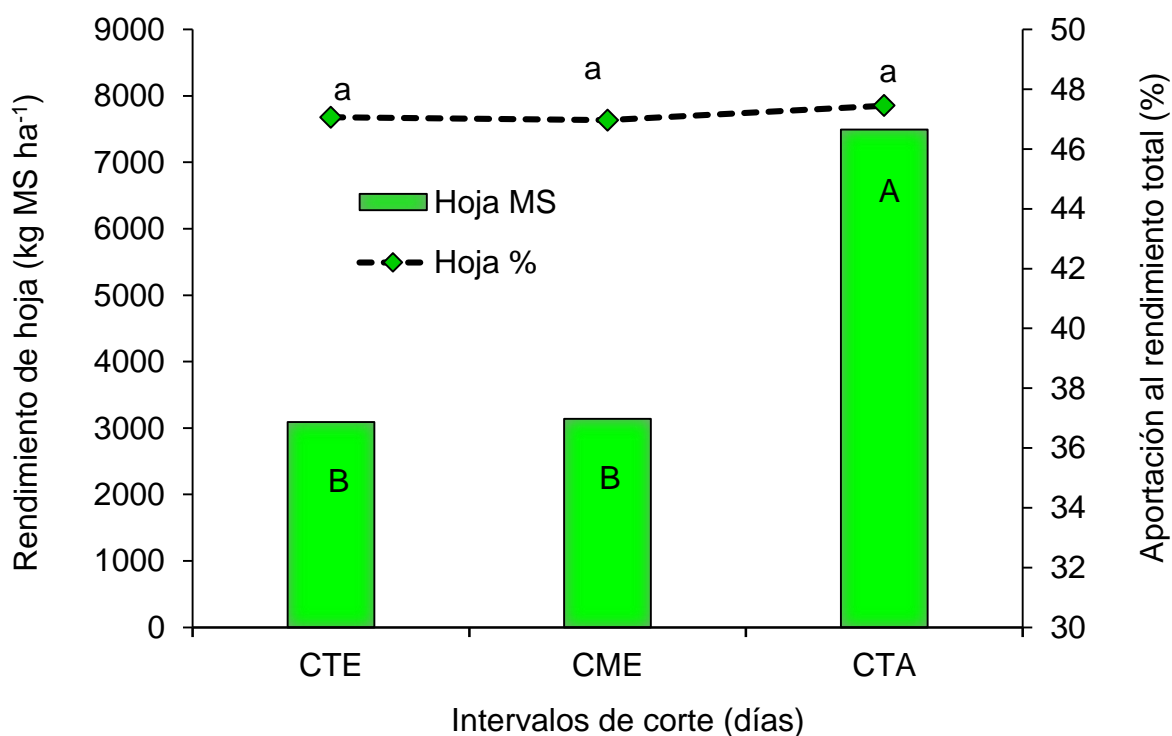


Figura 3. Rendimiento de hoja (kg MS ha⁻¹) y aportación porcentual al rendimiento total de materia seca (RTMS) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes intervalos de corte, en el sureste de Coahuila, México. Literales mayúsculas y minúsculas iguales sobre las barras no difieren estadísticamente y se

comparan kg MS ha⁻¹ y %, respectivamente (Tukey; p>0.05). CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).

4.2.2 Aportación del tallo al rendimiento total

En la Figura 4 se muestra la aportación del componente de tallo al rendimiento total de materia seca de alfalfa cosechada a diferentes días de rebrote en la estación de primavera del sureste de Saltillo, Coahuila, México. Similar a la hoja, el tallo no presentó diferencias estadísticas en su aportación en porcentaje (p>0.05); solo fue de un punto porcentual debajo de la hoja (47 vs 46 %). Por el contrario, se presentaron diferencias estadísticas (p<0.05), es su aportación en rendimiento de materia seca (p<0.05), donde el valor más alto se obtuvo con CTA (35 días) alcanzando 8,762 kg MS ha⁻¹ representando el 49 % de todo el forraje obtenido y con la menor producción en el CTE (21 días) con 2910 (kg MS ha⁻¹) con 45 % de aporte al rendimiento total, similar estadísticamente al CME (28 días) que obtuvo 3740 (kg MS ha⁻¹) que al igual que el CTA, aportó un 49 % del forraje total. De acuerdo con Guevara (2021), también se registraron diferencias estadísticas entre semanas y estaciones del año, con valores más altos en verano (50 %) y en primavera (36 %). En su trabajo, Guevara mostró que a medida que la hoja disminuía, el tallo crecía gradualmente a lo largo de los días de rebrote. Por otra parte, desde el punto de vista agronómico, el incremento del componente tallo representa una mayor producción de forraje; sin embargo, también puede asociarse con una reducción en la calidad nutritiva debido al aumento de fibras estructurales y lignificación de los tejidos. Según Putnam *et al.* (2008), conforme la alfalfa madura se incrementa la proporción de tallo y disminuye la relación hoja:tallo, afectando negativamente la digestibilidad y el contenido de proteína del forraje.

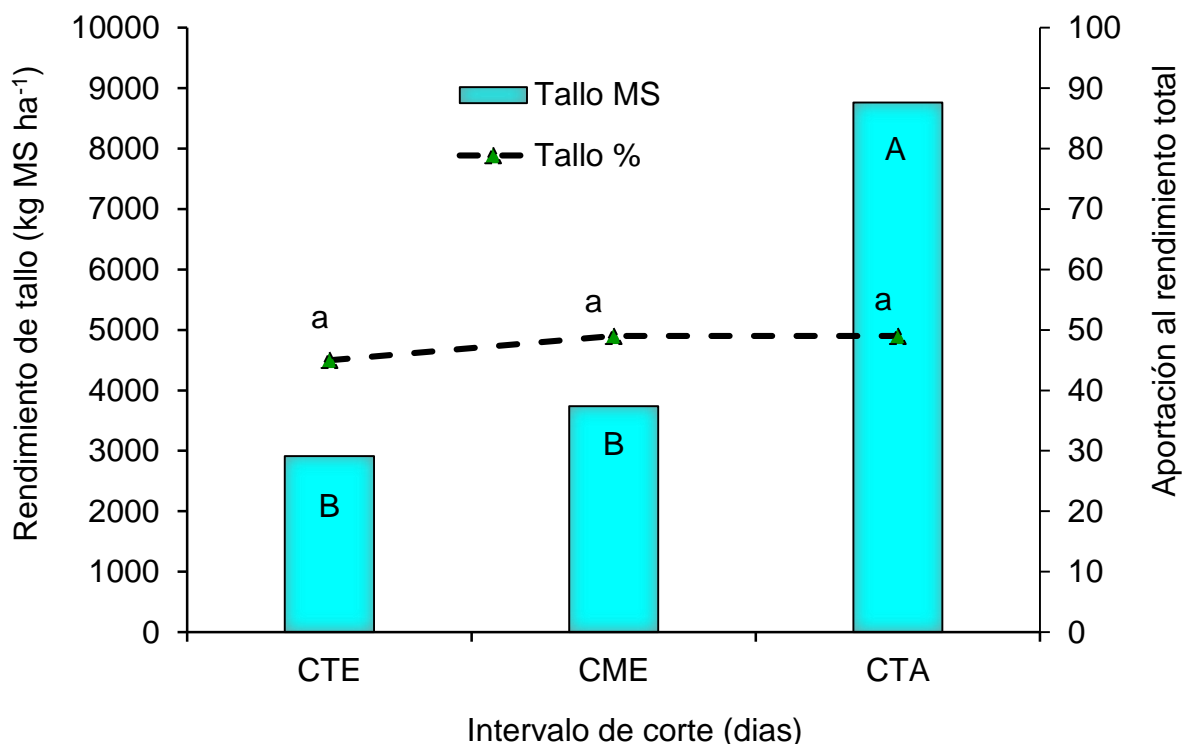


Figura 4. Rendimiento de tallo (kg MS ha⁻¹) y aportación porcentual al rendimiento total de materia seca (RTMS) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes intervalos de corte, en el sureste de Coahuila, México. Literales mayúsculas y minúsculas iguales sobre las barras no difieren estadísticamente y se comparan kg MS ha⁻¹ y %, respectivamente (Tukey; $p > 0.05$). CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).

4.2.3 Aportación del material muerto al rendimiento total

En la Figura 5 se registra el rendimiento y aportación al rendimiento total del material muerto de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, en la estación de primavera en el sureste de Saltillo, Coahuila, México. La presencia de este componente es el resultado de una maduración de la especie y de un aumento de la planta en la parte basal, a mayores días de rebrote. No obstante, no se presentaron diferencias estadísticas entre intervalos de corte tanto de rendimiento de materia seca como en el porcentaje de aportación ($p > 0.05$). Sin embargo, se observó la tendencia

que a menores días de rebrotes se incrementa el material muerto; durante el CTE (21 días) se presentó la mayor producción de material muerto con 407 (kg MS ha⁻¹), respecto al corte medio (28 días) con 398 (kg MS ha⁻¹) y al corte tardío (35 días) con tan solo 287 (kg MS ha⁻¹), lo que puede significar una mayor tasa de recambio de tejido en el corte temprano por las condiciones que imperan en la estación de primavera de mayor temperatura y humedad. El porcentaje de material muerto en el CTE (corte temprano) de 21 días de rebrote, fue de 5 %, mientras que para el CME y CTA fue de 4 y 1 %, respectivamente en su aportación al rendimiento total. De acuerdo con Mendoza (2010) indica que la mayor cantidad de material muerto está presente cuando las frecuencias de corte se reducen. Mientras Bouton (2001) menciona que a medida que se aumenta el porcentaje de tallo, la hoja disminuye, pero habrá más presencia de material muerto.

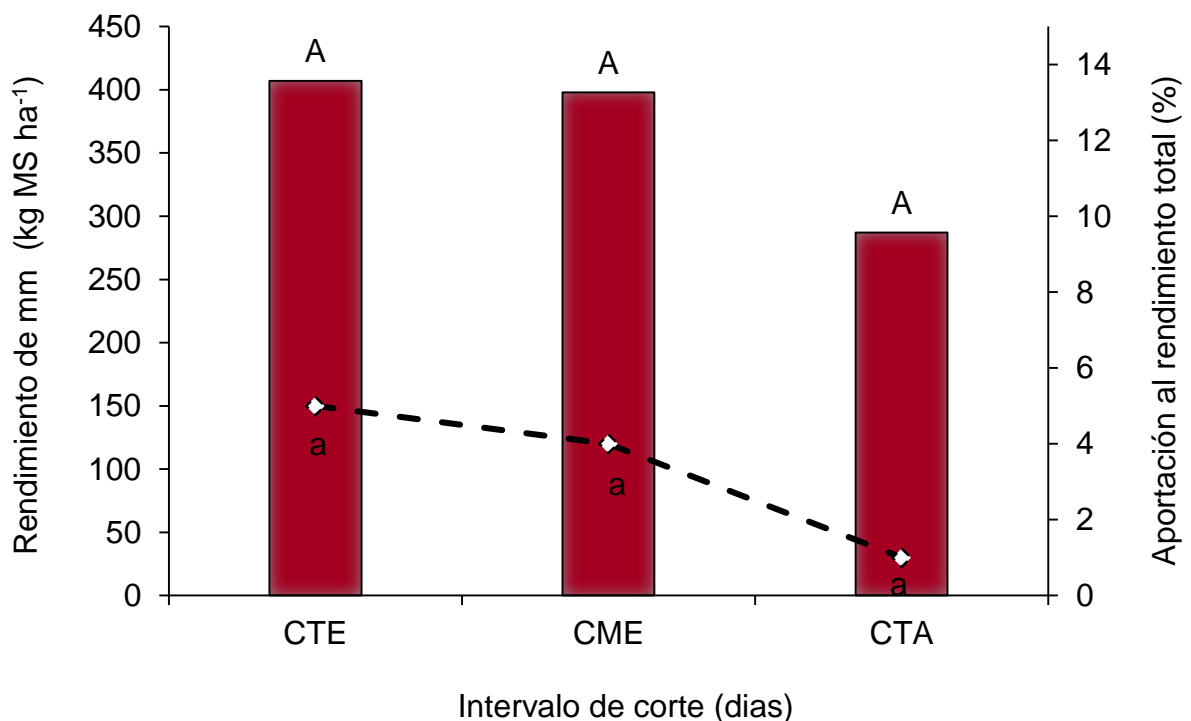


Figura 5. Rendimiento de material muerto (kg MS ha⁻¹) y aportación porcentual al rendimiento total de materia seca (RTMS) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes intervalos de corte, en el sureste de Coahuila,

México. Literales mayúsculas y minúsculas iguales sobre las barras no difieren estadísticamente y se comparan kg MS ha⁻¹ y %, respectivamente (Tukey; p>0.05). CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).

Asimismo, estudios sobre la dinámica de crecimiento en alfalfa han demostrado que el material muerto generalmente representa una fracción pequeña del rendimiento total de forraje, especialmente cuando el cultivo se mantiene bajo esquemas de corte frecuentes y un manejo agronómico adecuado (Radović *et al.*, 2009). Lo anterior coincide con los resultados del presente estudio, en el que el porcentaje de material muerto osciló únicamente entre 1 y 5 %, lo que indica un buen estado fisiológico y capacidad de rebrote de la variedad Premium bajo las condiciones evaluadas. Desde el punto de vista productivo, la baja proporción de material muerto observada en todos los tratamientos puede considerarse favorable, ya que una menor acumulación de tejido senescente contribuye a mantener una mejor calidad nutritiva del forraje y una mayor proporción de tejidos digestibles. Por ello, el manejo adecuado de los intervalos de corte resulta fundamental para equilibrar producción, persistencia y calidad del cultivo de alfalfa (Bouton J. H. 2001).

4.2.4 Aportación de inflorescencia al rendimiento total

En la Figura 6, se representa el componente inflorescencia y su respectiva aportación al rendimiento total de materia seca y en porcentaje, en la estación de primavera en el sureste de Saltillo, Coahuila, México. Se presentaron diferencias estadísticas en el rendimiento de materia seca entre intervalos de corte (p<0.05), mas no en su aportación en porcentaje (p>0.05). Se incrementó significativamente en el CTA (35 días) alcanzando 497 kg MS ha⁻¹ y con la menor producción durante el CME (28 días) con 53 kg MS ha⁻¹, seguido por el CTE (21 días) que obtuvo 50 kg MS ha⁻¹. La inflorescencia solo tuvo en promedio el 1% de aportación al rendimiento total, teniendo más presencia en el CTA (corte tardío) con tan solo un 2 %. Al respecto

Hamson (1988) al evaluar las diferentes etapas de floración reportó que la etapa de inicio de floración es la mejor para realizar el corte, cuando apenas se comienza a presentar en un 10 % de floración. Por su parte, Mendoza (2010) observó, para todas las estaciones del año, que, al aumentar la frecuencia de corte, se incrementa la cantidad de inflorescencias, ya que la planta llega a su etapa reproductiva; no obstante, en el verano es donde se registra la mayor cantidad de inflorescencias, por las condiciones óptimas de temperatura y humedad que favorecieron un mejor crecimiento.

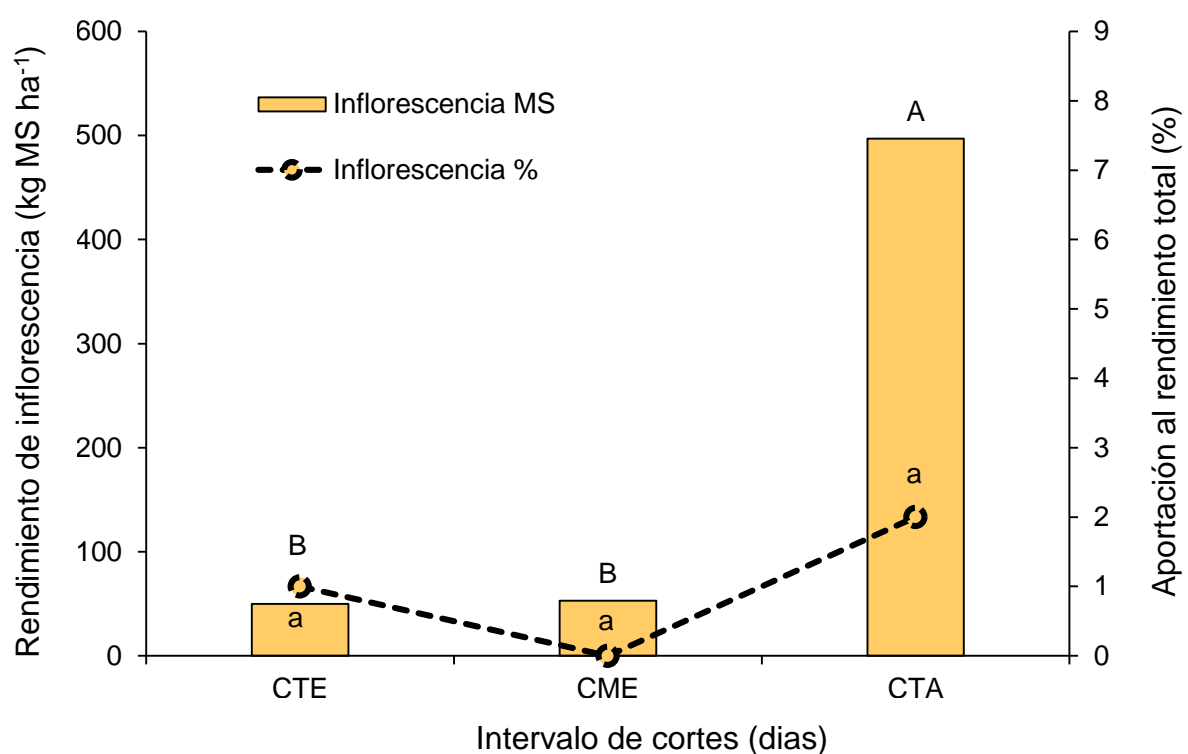


Figura 6. Rendimiento de inflorescencia (kg MS ha^{-1}) y aportación porcentual al rendimiento total de materia seca (RTMS) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes intervalos de corte, en el sureste de Coahuila, México. Literales mayúsculas y minúsculas iguales sobre las barras no difieren estadísticamente y se comparan kg MS ha^{-1} y %, respectivamente (Tukey; $p > 0.05$). CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).

Diversos autores han señalado que conforme la alfalfa avanza de etapas vegetativas a reproductivas ocurre una redistribución de fotoasimilados hacia órganos reproductivos, incrementando la presencia de flores e inflorescencias, aunque generalmente representan una pequeña proporción del rendimiento total del cultivo (Radović *et al.*, 2009). Este comportamiento fue evidente en el presente experimento, en el que la inflorescencia presentó una baja participación porcentual en comparación con la hoja y el tallo, componentes que dominaron la producción total de forraje. Desde el punto de vista agronómico, la aparición de inflorescencias indica una mayor madurez fisiológica del cultivo, lo cual puede favorecer el rendimiento de materia seca; sin embargo, también puede asociarse con una disminución de la calidad nutritiva debido al incremento de fibras estructurales y a la lignificación de los tejidos. Por ello, el manejo del intervalo de corte debe considerar el equilibrio entre la producción, la persistencia y la calidad del forraje, especialmente en sistemas orientados a la alimentación animal de alta eficiencia.

4.2.5 Aportación de la maleza

En la Figura 7 se presenta el rendimiento de maleza cuando la alfalfa se maneja a diferentes intervalos de corte y su aportación a rendimiento total en porcentaje, bajo condiciones de primavera en el sureste de Saltillo, Coahuila, México. Al respecto se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) donde el corte temprano (21 días) con $311 \text{ kg MS ha}^{-1}$ fue el de mayor producción de este componente, respecto al corte medio (28 días) y corte tardío (35 días), con 6 kg MS ha^{-1} , ambos. El corte temprano tuvo un porcentaje de aportación del 3 %, mientras que en el corte medio y tardío fueron decimas de porcentaje. Lo anterior puede ser el reflejo que, a un corte temprano de 21 días, la planta no alcanza a tener la cobertura del dosel necesaria para no permitir que especies indeseables o malezas ocupen espacios abiertos. Este comportamiento sugiere que los intervalos de corte cortos limitan el desarrollo y cierre del dosel de la alfalfa, permitiendo una mayor penetración de luz hacia la superficie del suelo y favoreciendo el establecimiento de especies indeseables. Diversos estudios

han señalado que la frecuencia de corte influye directamente sobre la capacidad competitiva de la alfalfa frente a malezas, debido a cambios en cobertura vegetal y disponibilidad de recursos. Por tanto, la mayor presencia de maleza en el corte temprano puede atribuirse a que la alfalfa no alcanzó suficiente cobertura foliar ni altura del dosel para sombrear el suelo y reducir la germinación y crecimiento de especies competidoras (Putnam *et al.*, 2008).

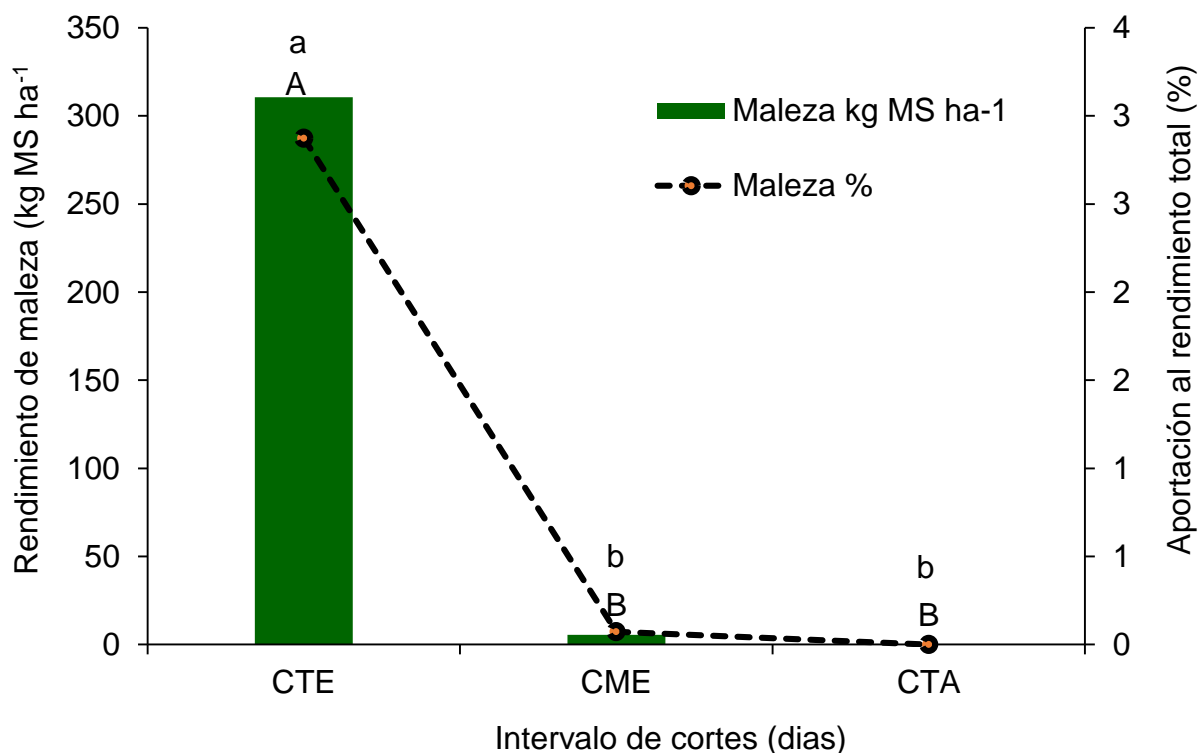


Figura 7. Rendimiento de maleza (kg MS ha⁻¹) y aportación porcentual al rendimiento total de materia seca (RTMS) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes intervalos de corte, en el sureste de Coahuila, México. Literales mayúsculas y minúsculas iguales sobre las barras no difieren estadísticamente y se comparan kg MS ha⁻¹ y %, respectivamente (Tukey; $p > 0.05$). CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).

En este sentido, Radović *et al.* (2009) mencionan que conforme aumenta la edad de rebrote y se incrementa la acumulación de biomasa aérea, la alfalfa desarrolla una

mayor capacidad de competencia por luz, agua y nutrientes, disminuyendo la presencia de malezas dentro del cultivo. Lo anterior coincide con los resultados observados en los tratamientos de 28 y 35 días, donde prácticamente desapareció este componente. Asimismo, Teuber *et al.* (2007) reportaron que sistemas de corte muy frecuentes pueden reducir temporalmente la densidad y vigor de la alfalfa, generando espacios abiertos dentro del cultivo que facilitan la invasión de malezas anuales y perennes. En el presente estudio, el corte temprano probablemente provocó una menor cobertura del dosel vegetal, condición que permitió una mayor incidencia de malezas durante la estación de primavera. Desde el punto de vista agronómico, la baja presencia de maleza observada en los cortes medio y tardío representa una ventaja para el manejo del cultivo, ya que disminuye la competencia por recursos y mejora la eficiencia en la producción de forraje útil. Además, una mayor cobertura del dosel contribuye a la conservación de humedad y a una mejor interceptación de radiación solar, favoreciendo el crecimiento de la alfalfa y reduciendo el establecimiento de especies no deseadas (Barnes *et al.*, 1988).

V. CONCLUSIONES

El comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium durante la estación de primavera estuvo influenciado por los diferentes intervalos de corte, observándose cambios importantes tanto en la producción de biomasa como en la composición morfológica del cultivo. En general, conforme aumentaron los días de rebrote de 21 a 35 días, la planta presentó un mayor crecimiento y acumulación de materia seca, lo que demuestra la capacidad de la variedad para responder favorablemente a periodos más prolongados entre cortes bajo las condiciones ambientales del sureste de Coahuila. Los componentes hoja y tallo fueron los principales responsables de la producción total de forraje, reflejando la importancia de ambos órganos en el desarrollo y productividad de la alfalfa. No obstante, a medida que avanzó la madurez de la planta, se incrementó la participación del tallo y de las estructuras reproductivas, indicando un cambio fisiológico natural asociado al crecimiento y desarrollo del cultivo. Sin embargo, aunque los intervalos de corte más largos favorecieron una mayor producción de materia seca, también pueden generar modificaciones en la calidad nutritiva del forraje debido al aumento de tejidos estructurales. También, la presencia de material muerto y maleza fue reducida en la mayoría de los tratamientos, lo que indica que la variedad Premium mostró una adecuada capacidad de rebrote, persistencia y competencia bajo las condiciones evaluadas. En términos generales, los resultados obtenidos permiten concluir que el manejo del intervalo de corte es un factor determinante en la productividad y composición morfológica de la alfalfa. Los cortes más tardíos favorecen una mayor acumulación de biomasa, mientras que los cortes más frecuentes pueden contribuir a mantener una mejor proporción de tejidos jóvenes y potencialmente de mayor calidad nutritiva.

VI. LITERATURA CITADA

- AGPSemillas, (2019).** Semillas y forrajes. <https://www.agpsac.com/forrajes.php>
- AGRO ACTIVO, (2020).** Alfalfa Cuf-101 leguminosa. <https://agroactivocol.com/producto/material-vegetal/alfalfa-cuf-101-leguminosa-copia/>
- Álvarez-Vázquez, P. (2013).** Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados). 79 p.
- Álvarez-Vázquez, P., Hernández-Garay, A., Mendoza-Pedroza, S. I., Rojas-García, A. R., Wilson-García, C. Y., Alejos-de la Fuente, J. I. (2018).** Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a cuatro años de establecidas. *Agrociencia*, 52(6), 841-851. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n6/2521-9766-agro-52-06-841.pdf>
- ANSO, (2011).** Enfermedades y plagas de la alfalfa. <http://www.satanso.com/noticia.php/es/Enfermedades-plagas-Alfalfa/56>
- Ball, D. M., Hoveland, C. S., & Lacefield, G. D. (2001).** Forrajes del sur. Potash & Phosphate Institute.
- Barbón-Huesca, J. F. (2019).** Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferente edad de rebrote en la estación de primavera. Tesis de licenciatura, UAAAN, Repositorio digital de la UAAAN, 50 p.
- Barnes, R. F., Miller, D. A., & Nelson, C. J. (1988).** Forages: The Science of Grassland Agriculture (4th ed.). Ames, Iowa, USA: Iowa State University Press.
- Barnes, R. F., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Collins, M. (2003).** *Forages: An introduction to grassland agriculture* (6th ed.). Iowa State University Press.
- Barnes, R. F., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Collins, M. (2003).** Forrajes: Ciencia de las praderas y agricultura de pastizales. Iowa State University Press.
- Bouton, J. H. (2001).** Alfalfa. En M. Barnes, C. Nelson, K. Moore & M. Collins (Eds.), *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. Iowa State University Press. 6th ed., pp. 490–496.

- Cadena-Villegas, S. (2009).** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha (Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados). 78 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.
- Carmona-Canseco, B. (2021).** Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de rebrote, en el Sureste de Coahuila, México. (Tesis de licenciatura, UAAAN). Repositorio digital de la UAAAN, 56 p.
- Castro-Martínez, A. M. (2020).** Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferente edad de cosecha en la estación de primavera. (Tesis de licenciatura, UAAAN), 58 p.
- Castroviejo, S., Delgado, I. (2000).** Botánica (*Medicago sativa* L.). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), 15 p.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=BxnxDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=Castroviejo+2000+ra%C3%ADces+nodulos&ots=2IOP3JxQzu&sig=P4W2aqKTMUEjzbGRoGsNSabWJxw#v=onepage&q=Castroviejo%202000%20ra%C3%ADces%20nodulos&f=false>
- Chen, J. S., F. L. Tang, R. F. Zhu, C. Gao, G. L. Di, and Y. X. Zhang. (2012).** Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 4782-4790.
- 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: 65 p.
- Da Silva, S. C., y Hernández, G. A. (2010).** Manejo de pastoreo en praderas tropicales. Forrajes y su impacto en el Trópico. Primera edición. México. Universidad Autónoma de Chiapas. Pp 43-62.
- Delgado, E.I., & Chocarro, G. C. (2020).** La alfalfa. Universitat de Lleida. 364 p.

- Duarte, (2002).** Como implantar bien una pastura de alfalfa. www.viarural.com.ar (fecha de consulta 15, abril, 2022).
- Espinoza, C., y Ramos, G. (2001).** El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores, (22):11. <https://fliphtml5.com/gbfd/yrbl/basic>
- Flores, D. F, (2015).** La alfalfa (*Medicago sativa*): origen, manejo y producción. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Pamplona., <https://jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/520>.
- Ghimire, R., Norton, J. B., & Pendall, E. (2014).** Alfalfa-grass biomass, soil organic carbon, and total nitrogen under different management approaches in an irrigated agroecosystem. *Plant and soil*, 374(1):173-184.
- González Pérez, J., & Álvarez Vázquez, P.** Efecto del intervalo de corte sobre la producción de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el Sureste de Coahuila.
- Guaytarilla, N., y Caden, F. I. (2005).** Respuesta de la fertilización con boro en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) Santa Rosa de Cusubamba-Cayambe. La Granja. *Revista de Ciencias de la Vida*, (4). Pp. 67-70.
- Guevara-Jaime, M. L. (2021).** Acumulación estacional de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Premium. (Tesis de licenciatura, UAAAN), Repositorio digital de la UAAAN, 75 p.
- 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.
- Hernández-Garay, A., Pérez, P. J. y Hernández, G. V. A. (1992).** Crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferentes regímenes de cosecha. *Agrociencia*. 2:131-144.
- Herrera, R. S. (2020).** Relación entre los elementos climáticos y el comportamiento de los pastos y forrajes en Cuba. *Avances en investigación agropecuaria*. 24(2): 23-38. <http://ww.ucol.mx/revaia/pdf/2020/mayo/2.pdf>
- INIFAP, (2022).** Producción de semilla de Alfalfa en el Valle del Mezquital, Hidalgo. https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=4177

- INTAGRI, (2018).** Valor nutritivo de los forrajes y su relación con la nutrición proteica de rumiantes. <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/valor-nutritivo-de-los-forrajes-y-su-relacion-con-la-nutricion-proteica>
- ITESM, (2002).** Henificado. Instituto Tecnológico de estudios superiores de Monterrey. <http://gro.items.mx/agronmia2.extensivos>.
- Jiménez, M. A. y Martínez, H. P. A. (1984).** Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Kallenbach, R. L., Nelson, C. J., & Coutts, J. H. (2002).** Yield, quality, and persistence of grazing- and hay-type alfalfa under three harvest frequencies. *Agronomy Journal*, 94(5), 1094–1103. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1094>
- Karn, J. F., Berdahl, J. D. & Frank, A. B. (2006).** Nutritive Quality of four perennial grasses as affected by species, cultivar, maturity and plant tissue. *Agron. J.* 98: 1400-1409.
- Lemaire, G. (2001).** Ecophysiology of grasslands. Aspects of forage plant population in grazed swards. In: *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil. pp: 39-40
- León, E. (2003).** Pastos y Forrajes, Producción y Manejo. (Folleto pastos y forrajes). Universidad Central. 251 p.
- Martínez-García, E., & Hernández, F. (2016).** Influencia de factores genéticos y ambientales en la calidad de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 50(5), 701-715.
- Mendoza-Elos, M., Mosqueda-Villagómez, C., Rangel-Lucio, J. A., López-Benítez, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Latournerie-Moreno, L., Moreno-Martínez, E. (2008).** Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. *Agricultura Técnica en México*. P. 89-99. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v32n1/v32n1a9.pdf>
- Mendoza-Pedroza, S. I. (2008).** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados. 123 p.

- Mendoza-Pedroza, S. I., Hernández-Garay, A., Pérez-Pérez, J., Quero-Carrillo, A. R., Escalante-Estrada, J. A. S., Zaragoza-Ramírez, J. L., Ramírez-Reynoso, O. (2010).** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3): 287-296.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v1n3/v1n3a8.pdf>
- Miranda Vázquez, M. F., Álvarez Vázquez, P., Joaquín Cancino, S., Ruelas Chacón, X., & García López, J. I. (2023).** Rendimiento de forraje en alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes intervalos de cortes en el Sureste de Coahuila, México. Saltillo, Coahuila, México Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Montes, C. F. J. (2014).** Análisis del proceso de producción y dinámicas de crecimiento para incrementar la productividad en dos leguminosas forrajeras. IPN, Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca: 96 p.
http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIR_OAX/211/Montes%20Cruz%20F.pdf?sequence=1
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, del V. J. R. y Hernández-Garay, A. (2006) a.** Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*. 44(3):277-288.
- Moran-Espinoza, R. (2021).** Efecto del riego en el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de verano. (Tesis de licenciatura, UAAAN), Repositorio digital de la UAAAN, 66 p.
- Muslera, P. E. y Ratera, G. C. (1991).** Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- NATURALISTA, (2014).** Alfalfa Berdiana (*Medicago sativa* L.).
<https://www.naturalista.mx/taxa/57057-Medicago-sativa>
- Pérez-Gutiérrez, L., Morales-Ruiz, R., & López-Sánchez, J. (2018).** Caracterización morfológica y fisiológica de semillas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en condiciones de almacenamiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 187-196.

- Putnam, D. H., Robinson, P. H., DePeters, E. J., & Gerrish, J. (2008).** Forage quality and testing. En C. G. Summers & D. H. Putnam (Eds.), *Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones* (pp. 363–398). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Quiroga, G. H. M., y Salinas, G. H. (2005).** Tasas de degradación ruminal *in situ* de la MS y proteína del trébol alejandrino y la alfalfa. Publicación semestral de Investigación Científica. Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Dgo., México. *Producción Pecuaria*. Agrofaz 5(2): 821-829.
- Quiroga-Madrigal, R., Rosales-Esquinca, M. Rincón-Espinosa, P., Hernández-Gómez, E., & Garrido-Ramírez, E., R. (2007).** Enfermedades Causadas por Hongos y Nematodos en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Municipio de Villaflores, Chiapas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(2), 114-119. Recuperado en 28 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000200004&lng=es&tlng=es
- Radović, J., Sokolović, D., & Marković, J. (2009).** Alfalfa-most important perennial forage legume in animal husbandry. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5-6), 465–475. <https://doi.org/10.2298/BAH0906465R>
- Ramos, S. A. y Hernández, X. E. (1970).** *Ecología de la alfalfa en México*. COTECOCA y Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 49 p.
- Rivas, J. M. A., López, C. C., Hernández-Garay, A. y Pérez, P. J. (2005).** Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.) *Técnica Pecuaria en México*. 43(1):79-92.
- Rojas, G. A., Torres, S. N., Joaquín, C. S., Hernández, G. A., Maldonado, P. M., & Sánchez, S. P. (2017).** Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7): 697-708.
- Rojas-García, A. R., Hernández-Garay, A., & Joaquín-Torres, B. M. (2017).** Producción y características agronómicas de alfalfa en diferentes sistemas de manejo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 145-156.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n8/2007-0934-remexca-7-08-1855.pdf>

- Rojas-García, A. R., Mendoza-Pedroza, S. I., Maldonado-Peralta, M. A., Álvarez-Vázquez, P., Torres-Salado, N., Cruz-Hernández, A., Vaquera-Huerta, H., Joaquín-Cancino, S. (2019).** Rendimiento de forraje y valor nutritivo de alfalfa a diferentes intervalos de corte. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 10(2), 858-869. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n4/2007-0934-remexca-10-04-849.pdf>
- Rojas-García, A. R., Mendoza-Pedroza, S. I., Maldonado-Peralta, M. A., Álvarez-Vázquez, P., Torres-Salado, N., Cruz-Hernández, A., Vaquera-Huerta, H., Joaquín, Rivas-Jacobo, M. A., López-Castañeda, C., Hernández-Garay, A., Pérez-Pérez, J. (2005).** Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 79-92. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343110.pdf>
- Rojas-García, A. R., Torres-Salado, N., Joaquín-Cansino, S., Hernández-Garay, A., Maldonado-Peralta, M. A., Sánchez-Santillán, P. (2017).** Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 12(2), 51: 697-708. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n7/1405-3195-agro-51-07-00697.pdf>
- SAGARPA, (2022).** Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SAGARPA. (2002).** Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>
- Salinas, S. C. (1988).** La alfalfa reina de las forrajeras. *Síntesis Lechera*. 33-40 p.
- Sánchez, H. j., & Favela, Ch, D. (2005).** Rendimiento y calidad de la alfalfa mediante la aplicación de fosforo y riego por goteo subsuperficial. Tesis de licenciatura. UAAAN Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. 81 p.

- Sánchez-Gutiérrez, R. A., García-Paredes, J. D., & López-Castañeda, C. (2015).** Caracterización agronómica y productiva de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 417-424.
- Small, E. (2011).** Alfalfa y parientes: evolución y clasificación del género *Medicago*. NRC Research Press.
- 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.
- Teuber, L. R., Taggard, K. L., & Putnam, D. H. (2007).** Stand establishment and weed control in alfalfa. En C. G. Summers & D. H. Putnam (Eds.), *Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones*. University of California Agriculture and Natural Resources. pp. 79–90.
- Todo Alfalfa, (2020).** Implicaciones productivas de la genética Premium en alfalfa. <https://www.todoalfalfa.com.ar/implicancias-productivas-de-la-genetica-premium-en-alfalfa/>
- Undersander, D., Cosgrove, D., Cullen, E., & Grau, C. (2011).** *Guía de manejo de la alfalfa*. American Society of Agronomy.
- Vázquez-Galindo, R. G. (2021).** Dinámica de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 a diferentes edades de rebrote. (Tesis de licenciatura, UAAAN), 72 p.
- Vera-Zayas, J. A. (2022).** Análisis de crecimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), en el Sureste de Coahuila, México, en la estación de primavera, en condiciones de invernadero (Tesis de licenciatura, UAAAN). 62 p.
- Villegas, A. Y. (2002).** Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 91 p.
- Villegas, A. Y., Hernández-Garay, A., Pérez, P. J., C. C., Herrera, H. J., Enríquez, Q. J. y Gómez, V. A. (2004).** Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) *Técnica Pecuaria en México*. 42(2): 145-158.

- Viteri, O., y Vitaliano, W. (2019).** Fenología, composición química y manejo de las variedades de alfalfa en el Cantón Riobamba. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado. Lima, Peru: 216 p.
<http://190.119.243.88/bitstream/handle/UNALM/4085/o%c3%b1ate-viteri-wilsonvitaliano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Živković, B.J. Radović, D. Sokolović, B. Šiler, T. Banjanac & R. Štrbanović (2012).** Assessment of genetic diversity among alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes by morphometry, seed storage proteins and RAPD analysis. *Industrial Crops and Products*, 40: 285-291.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Variables evaluadas en alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad premium cosechada en diferentes frecuencias de corte en la estación primavera, en el sureste de Coahuila, México.

| Componente | Intervalos de Corte | | | \bar{x} | $\alpha=0,05$ | EEM | DMS |
|---|---------------------|---------|---------|-----------|---------------|------|------|
| | CTE | CME | CTA | | | | |
| Rendimiento de materia seca (kg MS ha ⁻¹) | | | | | | | |
| Hoja | 3092Ab | 3137 Ab | 7494 Aa | 4575 A | 0.016 | 913 | 2657 |
| Tallo | 2910 Ab | 3740 Ab | 8762 Aa | 5137 A | 0.005 | 848 | 2468 |
| Material muerto | 407 Ba | 398 Ba | 287 Ba | 364 B | 0.939 | 230 | 671 |
| Inflorescencia | 50 Bb | 53 Bb | 497 Ba | 200 B | 0.024 | 106 | 309 |
| Maleza | 311 Ba | 6 Bb | 6 Bb | 106 B | 0.037 | 81 | 237 |
| Total | 6770 b | 7333 b | 17040 a | 16571 | 0.001 | 465 | 1355 |
| $\alpha=0,05$ | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | | | |
| EEM | 149 | 518 | 827 | 80 | | | |
| DMS | 422 | 1461 | 2333 | 226 | | | |
| Aportación en porcentaje (%) | | | | | | | |
| Hoja | 47 Aa | 47 Aa | 47 Aa | 47 A | 0.99 | 3.12 | 9.09 |
| Tallo | 45 Aa | 49 Aa | 49 Ba | 46 A | 0.14 | 1.82 | 5.31 |
| Material muerto | 5 Ba | 4 Ba | 1 Ba | 3 B | 0.34 | 1.76 | 5.13 |
| Inflorescencia | 1 Ba | 0 Ba | 2 Ba | 1 C | 0.44 | 1.05 | 3.06 |
| Maleza | 3 Ba | 0 Bb | 0 Bb | 1 C | 0.002 | 0.33 | 0.97 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | | | |
| $\alpha=0,05$ | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | | | |
| EEM | 3.4 | 1.9 | 3.4 | 0.7 | | | |
| DMS | 9.7 | 5.6 | 9.7 | 2.0 | | | |

Letras minúsculas similares no son estadísticamente diferentes (Tukey; $p < 0.05$).

SIG= Significancia, EEM = Error Estándar de la Media, DMS= Diferencia Mínima Significativa, CTE= Corte Temprano (21 días), CME= Corte Medio (28 días) y CTA= Corte Tardío (35 días).