

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



**Efecto del riego en el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa*
L.) en la estación de verano**

Por:

RAFAEL MORAN ESPINOSA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

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

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Efecto de riego en el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de verano

POR:

RAFAEL MORAN ESPINOSA

TESIS

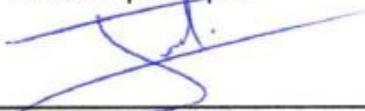
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Asesor principal



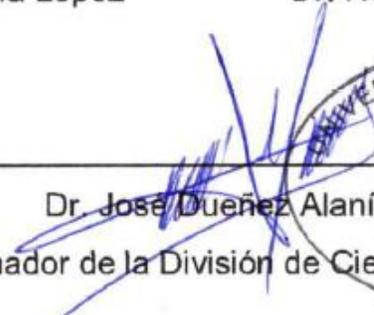
Dr. Josué Israel García López
Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor



Dr. Neymar Camposeco Montejo
Coasesor



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



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

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

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, diciembre de 2021.

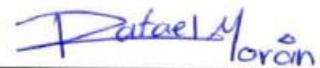
DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado "Efecto de riego en el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la estación de verano" 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.

Rafael Moran Espinosa

Nombre



Firma

RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de determinar el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), en la estación de verano, bajo dos sistemas de riego por goteo (superficial; RSP y subterráneo; RSB), a diferentes días de rebrote (DDR). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron: Rendimiento de forraje (RF), composición botánica y morfológica (CBM), relación hoja:tallo (R:H/T), altura de la planta (AP) y radiación interceptada (RI). El análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas entre sistemas de riego, pero sí hubo efecto del momento de cosecha (DDR) sobre las variables evaluadas. En el RF se obtuvo un promedio de 1,849 kg MS ha⁻¹, registrándose el máximo valor a los 35 DDR con 3,606 kg MS ha⁻¹. En el porcentaje de aportación de los componentes botánicos-morfológicos; la hoja aportó un 45 %, el tallo 49 %, el material muerto y la maleza un 2 % y la inflorescencia un 0.5 %, en promedio. Así mismo, la hoja y el tallo produjeron en promedio 753 y 975 kg MS ha⁻¹, con su máxima producción a los 35 DDR. El material muerto y la maleza tuvieron mayor presencia al final del rebrote con 139 y 166 kg MS ha⁻¹ a los 49 DDR. La inflorescencia apareció partir de los 21 DDR en el RSB y a los 35 DDR en el RSP con un promedio de 15 kg MS ha⁻¹. La R:H/T, fue mayor al inicio del rebrote (7 DDR) con 1.4 hasta 0.7 al final del rebrote (49 DDR). La mayor AP se registró a los 28 y 35 DDR, con 74 y 72 cm. La RI alcanzó su máximo porcentaje a partir de los 14 DDR, con un promedio de 88 %. En conclusión, no hubo efecto del sistema de riego, el rendimiento de forraje y sus componentes hoja y tallo, altura, porcentaje de radiación interceptada, se incrementaron a mayor edad de la planta, mientras la relación hoja: tallo disminuyó, así, mismo a los 35 días de rebrote se presentan buenas características de producción.

Palabras clave: Sistema de riego, comportamiento productivo, rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, estación de verano, y rebrote.

ABSTRACT

The study was carried out with the objective of determining the productive behavior of alfalfa (*Medicago sativa* L.), in the summer season, under two drip irrigation systems (surface; SDI and underground; UDI), at different regrowth days (DAR). A completely randomized block design was used, with three replications. The variables studied were: Forage yield (FY), botanical and morphological composition (BMC), relationship: leaf/stem (R:L/S), plant height (PH) and intercepted radiation (IR). The analysis of variance did not show statistical differences between irrigation systems, but there was an effect of the time of harvest (DAR) on the variables evaluated. In the FY an average of 1,849 kg DM ha⁻¹ was obtained, registering the maximum value at 35 DAR with 3,606 kg DM ha⁻¹. In the percentage of contribution of the botanical-morphological components; the leaf contributed 45%, the stem 49%, the dead material and the weed 2% and the inflorescence 0.5%, on average. Likewise, the leaf and the stem produced an average of 753 and 975 kg DM ha⁻¹, with their maximum production at 35 DAR. Dead material and weeds had a greater presence at the end of regrowth with 139 and 166 kg DM ha⁻¹ at 49 DAR. The inflorescence appeared from 21 DAR in the RSB and at 35 DAR in the RSP with an average of 15 kg DM ha⁻¹. The R:H/T was higher at the beginning of the regrowth (7 DAR) with 1.4 to 0.7 at the end of the regrowth (49 DAR). The highest PA was recorded at 28 and 35 DAR, with 74 and 72 cm. IR reached its maximum percentage after 14 DAR, with an average of 88%. In conclusion, there was no effect of the irrigation system, the forage yield and its leaf and stem components, height, percentage of intercepted radiation, increased at a higher age of the plant, while the leaf: stem ratio decreased, thus, same after 35 days of regrowth, good production characteristics are present.

Keywords: Irrigation system, productive behavior, forage yield, botanical and morphological composition, summer season, and regrowth.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento, poniendo en mi camino cada parte clave que me permitió lograr un triunfo más. A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, mi "ALMA TERRA MATER", por permitirme desarrollarme profesional y humanamente, porque ahí conocí profesores, amigos y hasta hermanos, que me apoyaron a ir logrando esta meta más en la vida.

Al **Dr. perpetuo Alvares Vázquez**, que decidió ofrecerme su tiempo, conocimiento y profesionalismo, por ayudarme a lograr el último paso de la carrera profesional. A mis padres **Víctor y Julia Esther**, que estuvieron apoyándome en cada decisión que tome en mi vida hasta llegar a culminar la carrera profesional, ayudándome a abrir cada puerta con su entusiasmo, sus alientos y la vibra del orgullo que sienten por mí y por mis hermanos, brindándome todo el amor y cariño incondicional de un padre.

A mis hermanos **Víctor, Lupita y Oliverio**, que creyeron en mí y me apoyaron y animaron a continuar cada día lejos de ellos.

A mis padrinos **Guillermo y Patricia**, que toda la vida me han estado apoyando y más ahora que decidí aventurarme en la universidad lejos de mis padres y hermanos, gracias porque siempre creyeron en mí y me alentaron a continuar.

A toda mi **familia** que siempre creyeron en mí y a esas palabras de aliento de cada uno que te sirven de fuerza para lograr ser un profesionista y no defraudarles a ellos y mucho menos a ti.

A mis amigos de la narro, **Lulú, Diana, Azucena, Rosa, Mariana, Viviana, Gilberto, Ángel, Octavio y Lázaro** contando con ustedes en todos los momentos de diversión y estudio, fueron parte importante en estos 5 años de universidad, por brindarme su amistad y sus consejos.

DEDICATORIA

A mis padres

Víctor Moran Reséndiz y Julia Esther Espinosa Reyes que son mi razón de seguir cada día adelante, de lograr tantas metas como me proponga y hacerlos sentir tan orgullosos de mí y mis hermanos.

A mis hermanos

Víctor, Lupita y Oliverio, por creer en mí, estar en los mejores momentos de mi vida, así como en los peores, sé que siempre me apoyaran en mis decisiones y celebrarán mis logros, los quiero.

A mis tíos

Paty y Memo, mis padrinos, porque a lo largo de mi vida me han apoyado en todo lo que ha estado a su alcance sin esperar nada a cambio, por quererme y ser una parte tan importante en esta etapa de la universidad, por abrirme las puertas de su casa y siempre contar con ustedes.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos particulares	2
1.2. HIPÓTESIS	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	3
2.1.1 Historia	3
2.1.2 Origen	3
2.1.3 Importancia económica mundial y nacional	3
2.2 Descripción de la especie estudiada	7
2.2.1 Descripción agronómica y adaptabilidad	7
2.2.2 Descripción morfológica	8
2.3 Factores edafo-climáticos que afectan el crecimiento y producción de forrajes ..	10
2.3.1 Radiación solar	10
2.3.2 Temperatura	10
2.3.3 Humedad	11
2.3.4 Suelo	11
2.3.5 Fertilidad	11
2.3.6 pH	12
2.4 Factores que afectan el rebrote de los forrajes	13
2.4.1 Índice de área foliar	13

2.4.2 Meristemas de crecimiento	13
2.4.3 Reservas de carbohidratos.....	14
2.4.4 Frecuencia e intensidad de corte.....	14
2.5 Producción estacional de forrajes	15
2.6 Sistemas de riego por goteo	16
2.6.1 Riego por goteo superficial.....	16
2.6.2 Riego por goteo subterráneo o subsuperficial	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Descripción del sitio de estudio.....	18
3.2 Condiciones del clima durante el experimento	18
3.3 Manejo de las parcelas experimentales	19
3.4 Tratamientos y diseño experimental	19
3.5 Variables evaluadas.....	20
3.5.1 Rendimiento de forraje	20
3.5.2 Composición botánica - morfológica.....	20
3.5.3 Relación hoja: tallo	21
3.5.4 Altura de planta.....	21
3.6 Análisis de datos.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Rendimiento de forraje.....	23
4.2 Composición botánica – morfológica	24
4.3 relación hoja: tallo	28
4.4 Altura de alfalfa.....	29
4.5 Porcentaje de luz interceptada.....	30

V. CONCLUSIONES	32
VI. LITERATURA CITADA	33
VII. ANEXOS	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de la alfalfa por estado 2019.....	6
Cuadro 2. Temperatura y precipitaciones semanales.	18
Cuadro 3. Rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.	24
Cuadro 4. Relación hoja: tallo de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote con diferentes sistemas de riego en la estación de verano 2019.....	29
Cuadro 5. Altura de la planta (cm) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote con diferentes sistemas de riego en la estación de verano 2019.....	30
Cuadro 6. Radiación interceptada (%) en alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote con diferentes sistemas de riego en la estación de verano 2019.....	31
Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de forraje (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	40
Cuadro 8. Análisis de varianza de la hoja (%) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.	41
Cuadro 9. Análisis de varianza del tallo (%) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.	42
Cuadro 10 Análisis de varianza de la materia muerta (%) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	43
Cuadro 11. Análisis de varianza de la maleza (%) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	44

Cuadro 12. Análisis de varianza de la inflorescencia (%) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	45
Cuadro 13. Análisis de varianza de la hoja (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	46
Cuadro 14. Análisis de varianza del tallo (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	47
Cuadro 15. Análisis de varianza del material muerto (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	48
Cuadro 16. Análisis de varianza de la maleza (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	49
Cuadro 17. Análisis de varianza de la inflorescencia (kg MS ha ⁻¹) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	50
Cuadro 18. Análisis de varianza de Relación Hoja: Tallo (R:H/T) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	51
Cuadro 19. Análisis de varianza de la altura de la planta (cm) de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	52
Cuadro 20. Análisis de varianza de la radiación interceptada (%) de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote en la estación de verano 2019.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de alfalfa por mes (Gardner et al., 2018).	5
Figura 2. Composición botánica y morfológica de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019, bajo dos sistemas de riego por goteo. CMB = Composición botánica-morfológica.	27

I.INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es el cultivo forrajero más importante a nivel mundial debido a su alta calidad para la alimentación animal. En 2017, el comercio internacional de heno de alfalfa alcanzó los 8,3 millones de toneladas métricas por un valor total de 2,3 miles de millones de dólares estadounidenses (Basigalup *et al.*, 2018). En México, la producción promedio anual de alfalfa verde en los últimos 10 años es de 30 millones 950 mil toneladas, lo que ha permitido complementar los distintos requerimientos de insumos forrajeros para el hato ganadero (SIAP 2018). La importancia de esta leguminosa se debe a la alta cantidad de forraje por unidad de superficie (33 t MS ha⁻¹), a su alta cantidad de proteína (22%), a la digestibilidad de la materia seca (70%) y además que es apetecible y consumido por un gran número de animales (Avci *et al.*, 2010). El forraje que, produce puede ser pastoreado, ensilado, henificado o suministrado en verde (Villegas *et al.*, 2004). Para el 2019, la superficie sembrada fue de 388,212.05 ha (SIAP 2019).

La escasez de agua es un factor de estrés ambiental común al que se enfrenta la producción agrícola en las zonas áridas y semiáridas del mundo (Zhigang *et al.*, 2020). Así, la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo forrajero perenne de alto rendimiento y alta tolerancia a la sequía, que absorbe agua de las capas profundas del suelo a través de su sistema de raíces profundas. El cultivo prolongado de alfalfa sin un suministro de agua suficiente agrava los déficits de almacenamiento de agua del suelo, que no favorecen la sucesión de plantas (Huang *et al.*, 2018). Por lo tanto, lo anterior implica que se debe incrementar la eficiencia de uso y manejo del agua de riego. Una de las diversas alternativas para hacer un mejor aprovechamiento del agua de riego es a través de la utilización de sistemas de riego por goteo, en este sistema se emplean una serie de conductos y dosificadores que aplican gotas de agua en las raíces de los cultivos. Los sistemas de riego mejoran la producción en las zonas semiáridas o secas y son una mejora importante en la eficiencia del uso del agua (SENASICA 2016).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Determinar el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), bajo dos sistemas de riego por goteo (superficial y subterráneo), días después del rebrote.

1.1.2. Objetivos particulares

- Determinar la curva de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.), en dos sistemas de riego por goteo, en la estación de verano, como base para definir el momento óptimo de su cosecha.
- Evaluar la acumulación de forraje, relación hoja:tallo, altura de planta, y porcentaje de radiación interceptada, de alfalfa (*Medicago sativa* L.) var. Premium, en verano, con base a la edad de la planta y el sistema de riego.
- Determinar la aportación y producción de los componentes morfológicos y botánicos a la producción total de forraje, de alfalfa (*Medicago sativa* L.) var. Premium, en verano, en dos sistemas de riego.

1.2. HIPÓTESIS

- ❖ Conforme aumenta la edad de rebrote, se incrementa el rendimiento de forraje, radiación interceptada, altura de la planta, sin embargo, se reduce la relación hoja:tallo.
- ❖ Así como el rendimiento en el riego subterráneo es mayor al superficial gracias al aprovechamiento del agua directo en las raíces de forma que se evita la competencia con otras especies al aprovechar mejor el recurso hídrico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades de alfalfa (*Medicago sativa* L.)

2.1.1 Historia

El nombre de alfalfa, es originario de la lengua árabe, significa el mejor forraje, y en Europa comúnmente se llama Lucerna. La alfalfa es originaria de la región montañosa de la Transcaucasia y noroeste de Irán (Asia Menor), aunque se han encontrado algunas formas nativas en China y Siberia. La alfalfa fue cultivada en Irán antes del 7000 a.C. y desde ahí fue llevada a Arabia, países mediterráneos y finalmente a América (Bolton *et al.*, 1972). En América, la colonización española introdujo el cultivo de la alfalfa, en México, donde se extendió a estados unidos, y por todo el sureste, posteriormente, por la ruta del pacifico, se diseminó por Perú, Chile, y después por Argentina (Hijano *et al.*, 1995).

2.1.2 Origen

La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas (*leguminosae*), una de las mayores familias de angiospermas, con cerca de 700 géneros y 18000 especies distribuidas en todo el mundo (Delgado y Chocarro, 2020). Todas ellas se caracterizan porque son fijadoras de nitrógeno, esto gracias a que realizan una simbiosis con bacterias del Género *ensifer* (antes *risobium*), donde forman nódulos en las raíces de la alfalfa (Castroviejo *et al.*, 2000).

2.1.3 Importancia económica mundial y nacional

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es el cultivo forrajero más valioso a nivel mundial debido a su alta calidad en la alimentación animal. En 2017, el comercio internacional de heno de alfalfa alcanzó los 8,3 millones de toneladas métricas por un valor total de 2,3 miles de millones de dólares estadounidenses. Por la creciente demanda de los

países de Asia y Oriente Medio, se prevé que la demanda de heno de alfalfa aumentará continuamente en el futuro cercano. Para satisfacer esta necesidad, los países productores de alfalfa deben ser muy eficaces para proporcionar grandes cantidades de heno de alta calidad mientras se utilizan recursos naturales, especialmente agua de riego, de forma altamente eficiente (Basigalup *et al.*, 2018).

Los múltiples servicios que brinda la alfalfa como fijación de N₂, descenso del nivel freático, anidación de aves, refugios de insectos benéficos, entre otros, están revitalizando la consideración de su notable papel ambiental, especialmente en la sustentabilidad de los sistemas de producción. Por otro lado, los nuevos usos de la alfalfa, ya sea para la alimentación humana o para la industria cosmética y farmacéutica, están enriqueciendo el alcance de la producción de alfalfa en diferentes países. (Basigalup *et al.*, 2018). Durante la última década, el comercio mundial de heno de alfalfa ha crecido un 70% en volumen y > 95% en valor, reflejando este último la intensidad de la demanda (Basigalup *et al.*, 2018).

La producción de productos básicos de alfalfa de China ha tenido un tremendo desarrollo desde 2008, la producción aumentó de 150.000 toneladas en 2008 a 1,4 millones de toneladas en 2017 (Lu *et al.*, 2018). El heno de alfalfa y el ensilaje son las principales formas de productos, provenientes de múltiples áreas de producción y que reciben apoyo de las políticas nacionales. En 2018, los 7,5 millones de vacas lecheras de China consumen un promedio de 3 millones de toneladas de alfalfa por año. Para 2030, alcanzará los 6 millones de toneladas (Lu *et al.*, 2018). La actual política industrial de alfalfa en China alentará a los agricultores y empresas a aumentar continuamente el área de plantación y la producción de productos de alfalfa en China. Además, ampliará la apertura de puertas para las importaciones de alfalfa del mundo. La producción, el consumo y el mercado de alfalfa de China se convertirán en una parte integral de la producción y comercialización de alfalfa en el mundo (Lu *et al.*, 2018).

En Australia se cultiva en un estimado de 3 a 3,5 millones de hectáreas, concentradas en las zonas agrícolas del sureste de lluvias medias. Más del 90% del área total se cultiva en condiciones de secano, donde se utiliza predominantemente como pasto especializado que se corta de manera oportunista para heno y pastoreo por ovejas y ganado para carne, lácteos y en rotaciones con cultivos de cereales en lluvias bajas-medias (Humphries *et al.*, 2018). El sudeste de Australia Meridional alberga una de las áreas de producción de semillas de alfalfa más grandes del mundo. La región produce de 4 a 8 000 toneladas de semillas por año a partir de 20 a 25 000 ha de producción de secano y de regadío. Los rendimientos de semillas irrigadas oscilan entre 600 y 1500 kg / ha, dependiendo de la variabilidad climática estacional (Humphries *et al.*, 2018).

Estados Unidos al 2018, ha sido históricamente el mayor productor de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el mundo, seguido por Argentina. En 2017, la producción de alfalfa en forma de heno y paja verde fue el tercer cultivo económico más grande en los Estados Unidos, después del maíz y la soja (Gardner *et al.*, 2018). En México la alfalfa es la principal fuente de alimentación del ganado productor de leche, cuyas producciones ocupan cada día un lugar más importante en la alimentación del hombre, por lo que frecuentemente ha sido llamada la reina de las plantas forrajeras (Del Pozo, 1983). La producción nacional promedio anual de alfalfa verde en los últimos 10 años es de 30 millones 950 mil toneladas, lo que permite complementar los distintos requerimientos de insumos forrajeros para el hato ganadero. Entre los meses de mayo y septiembre se cosecha 55.8% del volumen anual.



Figura 1. Disponibilidad de alfalfa por mes (Gardner *et al.*, 2018).

Por otra parte, México tiene un numeroso hato ganadero, que demanda un volumen continuo de forrajes en fresco. La agricultura nacional tiene capacidad para producir la mayor parte de ellos, incluso, generar un excedente en el volumen de alfalfa para su venta externa (SIAP 2018). La superficie sembrada al 2019 es de 388,212.05 ha, de ésta, los siniestros que ocurren dan como resultado una superficie cosechada de 388,168.05 ha, así, la producción es de 34,666,270.78 ton/ha (SIAP 2019). El estado de Chihuahua es el líder productor nacional del forraje. En 2017 destinó 86 mil 140 hectáreas para este cultivo. La venta de la alfalfa generó a los productores de esta entidad 3 mil 395 millones de pesos mexicanos (SIAP 2018). Siendo el estado con mayor producción de alfalfa en México con una superficie sembrada de 90,206.94 ha, y una producción de 523,026.93 ton ha⁻¹. Seguido por Hidalgo con una superficie de 44,240.00 y una producción de 4,581,009.55 y Guanajuato, 44,234.50 y 3,699,650.20 respectivamente (SIAP 2019).

Cuadro 1. Producción de la alfalfa por estado 2019.

Entidad	Superficie (ha)		Producción (toneladas)	Rendimiento (udm/ha)	Valor Producción (miles de Pesos)
	Sembrada	Cosechada			
1 Aguascalientes	5,325	5,325	523,026	98	361,079
2 Baja California	31,066	31,024	2,602,708	83	1,655,393
3 Baja California Sur	4,568	4,568	782,113	171	280,172
4 Coahuila	20,072	20,072	1,620,744	80	1,154,647
5 Chihuahua	90,206	90,206	8,116,222	89	5,021,265
6 Ciudad de México	5	5	401	80	386
7 Durango	30,950	30,950	2,754,806	89	1,766,506
8 Guanajuato	44,234	44,234	3,699,650	83	2,537,740
9 Guerrero	13	13	758	57	692
10 Hidalgo	44,240	44,240	4,581,009	103	1,464,422
11 Jalisco	6,594	6,594	614,689	93	341,365
12 México	6,051	6,049	512,209	84	162,788
13 Michoacán	5,684	5,684	375,941	66	290,626
14 Morelos	127	127	11,093	87	10,466
15 Nayarit	74	74	3,119	42	2,127
16 Nuevo León	2,482	2,482	155,816	62	103,347

17 Oaxaca	3,060	3,060	230,998	75	101,281
18 Puebla	19,009	19,009	1,565,182	82	745,477
19 Querétaro	7,019	7,019	557,863	79	376,507
20 San Luis Potosí	15,414	15,414	1,857,772	120	1,288,424
21 Sinaloa	5,601	5,601	340,035	60	188,395
22 Sonora	27,281	27,281	2,130,103	78	1,199,503
23 Tamaulipas	81	81	8,628	106	4,034
24 Tlaxcala	2,605	2,605	182,347	70	131,795
25 Veracruz	273	273	14,204	52	8,932
26 Zacatecas	16,168	16,168	1,424,824	88	820,486
Total	388,212	388,168	34,666,270	89	20,017,865

Fuente: SIAP (2019).

2.2 Descripción de la especie estudiada

2.2.1 Descripción agronómica y adaptabilidad

La alfalfa proporciona notables ventajas agronómicas y medioambientales en términos de fertilidad del suelo, protección contra la erosión del suelo, tasa de fijación de nitrógeno por año proveniente de la atmósfera, siendo de hasta 770 kg ha⁻¹año⁻¹, (Campillo *et al.*, 2003). Así como reducción de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. Es un medio muy eficaz de aprovechar la tierra. Para producir una tonelada de proteína, se necesitan 0.43 ha de alfalfa, en cuanto a 1.31 ha de soja, es decir, una ganancia de superficie de 0.888 ha, así que, es la planta menos voraz en términos de espacio necesario para producir una tonelada de proteína (COPA-COGECA 2007). Se adapta a una gran variedad de climas, encontrándose praderas de este forraje en altitudes de entre 700 y 4000 m s. n. m., con temperaturas que oscilan entre los 15 a 25 °C en el día y de 10 a 20 °C en la noche (Clavijo *et al.*, 2011). Es cultivada en una gran variedad de suelos y climas, pero su desarrollo se ve afectado en suelos con pH menor a 5.0, prefiriendo suelos profundos, con buen drenaje, alcalinos, tolerando moderadamente la salinidad y siendo resistente a periodos de sequía, gracias a su sistema radicular que le permite obtener agua de capas profundas del suelo (Sánchez, 2005).

2.2.2 Descripción morfológica

Las hojas: La primera hoja verdadera, es unifoliada. Las hojas normales son trifoliadas, con peciolo peciolulados, particularmente el central por su mayor longitud. Los foliolos adoptan formas distintas según la variedad, pero en general son ovales y alargados. Las estipulas son semilanceoladas, ligeramente acuminadas, dentadas en la base. A lo largo del tallo, las hojas varían de forma y tamaño, las más grandes están en la base del tallo, mientras que en el ápice no hay hojas. Son hojas compuestas con tres foliolos, el apical pedunculado, de dimensiones variables, 8-30 mm x 1.5-10 mm, forma obovada a linear-oblonga, serrulados en el último tercio, de obtusos a agudos o apiculados, envés con pelos largos no glandíferos, adpresos, haz glabra; estipulas ovadolanceoladas, subenteras o claramente dentadas en la base (Hesterman y Tecuber, 1981).

Los tallos: La alfalfa (*Medicago sativa* L.), se caracteriza por ser una hierba perenne, frecuentemente erecta o ascendente, muy ramificada. El tallo principal se ramifica, dando lugar a los tallos primarios, los cuales, a su vez, se ramifican en secundarios y estos en terciarios. Se pueden distinguir varios tipos de tallos. Un tipo de tallos se desarrollan en la axila de las hojas del rastrojo, entre 1 y 6 cm, otro tipo de tallos se desarrollan en los brotes formados en la base de la corona. Los tallos son 30 a 90 cm, herbáceos, foliosos, con indumento disperso más o menos denso, de pelos no glandulíferos, largos, más o menos adpresos (Delgado y Chocarro, 2020).

Inflorescencia: Se compone de racimo de 10 a 30 flores agrupadas en forma piramidal corta, partiendo de las axilas, con un pedúnculo muy superior a la hoja que parte de la misma axila. La flor es papilionácea, es de 6 a 10 mm compuesta por un estandarte de 11 a 13 mm, alas de 10 mm y carena de 9 mm. El cáliz mide unos 9 mm y está soldado en la base con cinco dientes casi iguales. Flores color azul o violáceo. El pedúnculo es claramente más largo que el peciolo de la hoja contigua; pedicelo de 1.5 a 3.5 mm. Cáliz de 4 a 5.5 mm, con pelos largos no glandulíferos, adpresos; dientes de 2.5 a 3 mm, linear-subulados, más largos que el tubo. Corola de 7 a 11 mm, violeta

o purpurea; estandarte estrechamente oblongo; alas ligeramente más largas que la quilla (Delgado y Chocarro, 2020).

El fruto: Lo conforma una vaina glabra, curvada en espiral con 2 a 4 espiras de 5 a 6 mm de diámetro, color marrón claro, que puede contener hasta 6 semillas. El fruto es de 4 a 8 mm de diámetro, pardo o negruzco en la maduración, con 2 o 3 espiras en espiral abiertas, con pelos no glandíferos, más o menos adpresos, rara vez glabro; espiras con venación reticulada (Delgado y Chocarro, 2020).

La semilla: La semilla es reniforme, aplastada lateralmente y arqueada. Su longitud es algo variable, de 2 a 2.5 mm de media, por 1.2 a 1.5 mm de anchura. La superficie es lisa, poco brillante o mate, de color amarillo verdoso o castaño claro, bastante uniforme. Se contabilizan de 400 a 550 semillas por gramo. Semillas son lisas, pardo amarillentas. $2n=32$, rara vez 16 cromosomas (Delgado y Chocarro, 2020).

La corona: Tiene una estructura compleja y une la parte aérea con la raíz; en su parte superior está constituida por la base de los tallos principales y la parte inferior se confunde con la raíz de la planta. Es un importante órgano de almacenamiento de reservas nutritivas, junto con la raíz. En la corona y en la raíz se encuentran acumuladas las reservas de carbohidratos y proteínas, es por eso por lo que la planta logra sobrevivir después del corte (Delgado y Chocarro, 2020).

La raíz: La alfalfa se caracteriza por tener una robusta raíz pivotante con numerosas raíces secundarias que le permiten profundizar en la tierra. En suelos bien drenados y regados no profundizan mucho, pero en suelos profundos y con escasez de agua, la raíz puede penetrar varios metros (Delgado y Chocarro, 2020).

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

2.3.1 Radiación solar

Una mayor radiación solar, determina un mayor rendimiento, gracias a una disponibilidad de luz para las plantas y un mayor aprovechamiento de las hojas de ésta, como resultado de una alta tasa fotosintética. Varios autores revelan mayores rendimientos en las estaciones de primavera y verano, así como mayor área foliar, mayor altura, etc., lo que indica que en las estaciones con mayores horas luz, aumenta la producción de forraje (Mendoza *et al.*, 2010; Rojas *et al.*, 2016). Horrocks y Vallentine, (1999) mencionan que la capacidad que posee una pradera para producir materia, seca depende de las condiciones ambientales y, principalmente, del grado de intercepción de la radiación solar por las hojas.

2.3.2 Temperatura

La semilla de alfalfa comienza a germinar a temperaturas de 2 a 3 °C, siempre que los factores restantes (humedad, fertilizantes, etc.), no actúen como limitantes. La germinación es más rápida cuanto más alta sea la temperatura, hasta alcanzar el óptimo, aproximadamente, a los 28 - 30 °C (Muslera y Ratera, 1991). Se ha determinado que el crecimiento de la alfalfa ocurre en el rango de los 5 a 30 °C, con un óptimo entre los 15 y 25 °C de temperatura promedio durante el día y de 10 a 20 °C durante la noche (Sharratt *et al.*, 1986 y 1987). Durante los meses más fríos, la alfalfa detiene su crecimiento, algunas variedades, toleran, sin dificultad, temperaturas tan bajas entre los 10 y 15 °C bajo cero. Al elevarse la temperatura (primavera y verano), la producción se incrementa, con temperaturas medias anuales alrededor de 15 °C, la producción es ya significativa (Villegas *et al.*, 2004). Otros autores concluyen que el desarrollo de la alfalfa se ve favorecido en las estaciones de primavera y verano, esto por las mayores temperaturas registradas en estas estaciones (Guimire *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2017)

2.3.3 Humedad

La alfalfa pertenece al grupo fotosintético de plantas C₃, que se caracteriza por tener una baja eficiencia en el uso del agua. Los mejores índices de eficiencia en el uso del agua, evapotranspirada, están en el orden de 1.6 a 1.7 kg MS m³ (Lindenmayer *et al.*, 2011). A nivel radicular, el estrés hídrico reduce la actividad de la enzima Nitrogenasa, afectando a la tasa de fijación de N₂ al reducirse la respiración del nódulo y aumentando la concentración de O₂ y por lo tanto el transporte de compuestos nitrogenados a la parte aérea de la planta. La alfalfa, tratará de reducir su potencial osmótico para contrarrestar el déficit hídrico al incrementar a nivel celular los contenidos de azúcares solubles y aminoácidos (Aranjuelo *et al.*, 2011).

2.3.4 Suelo

Este cultivo requiere de suelos profundos con textura franco-arenosa a franco arcillosa, en tanto que suelos delgados, arenosos o arcillosos limitan seriamente su rendimiento (Lara y Jurado, 2014). Cuando el suelo no tiene estas características la planta no puede expresar su potencial de rendimiento (Salinas, 2005). En terrenos arcillosos, siempre existe el peligro de perder el cultivo durante la etapa de establecimiento, debido a la formación de costras sólidas que retienen la emergencia de las plántulas. Además, el suelo compactado bajo condiciones de extrema sequía dificulta la respiración de las raíces y pone en riesgo la vida de la planta (Villar, 2014). Otra característica que afecta la productividad de la alfalfa es la salinidad, ya que los niveles de conductividad eléctrica superiores a 2dS/m, reducen ligeramente su rendimiento y de 7 a 8 dS/m, limitan su productividad en un 50% (Lara y Jurado, 2014).

2.3.5 Fertilidad

Las leguminosas como la alfalfa sólo necesitan un poco de nitrógeno en su etapa inicial hasta que se forman los nódulos de *Rhizobium*; en cambio, son importantes los aportes de fósforo y potasio en este periodo, llegando a requerir de

100 a 300 kg ha⁻¹ de fósforo, y de 100 a 500 kg ha⁻¹ de potasio y solo de 20 a 60 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Rodríguez, 1989). Necesita absorber elementos mayores y menores para un buen desarrollo, siendo los más importantes: Potasio, Fósforo, Nitrógeno, Calcio, Magnesio, Azufre, Boro, Cobre, Zinc, Hierro y Magnesio. De estos elementos nutritivos los más requeridos en gran cantidad por la alfalfa y en orden de importancia son Fósforo, Potasio y Nitrógeno (Del Pozo, 1983; Rodríguez, 1989).

En alfalfa no es recomendable la aplicación de nitrógeno en la etapa de producción, debido a que la semilla inoculada con bacterias del género *Rhizobium* forman nodulaciones, por medio de las cuales, la planta se podrá autoabastecer del mismo. Por el contrario, las aplicaciones nitrogenadas, sólo favorecen el crecimiento de maleza y de pastos invasores del cultivo, lo cual se traduce en una competencia con plantas indeseables (Espinoza y Ramos, 2001). Los fertilizantes orgánicos suministran entre 2 y 4 g kg⁻¹ de fósforo (Eghball *et al.*, 2002), cantidades adecuadas para el principal mineral que requiere la alfalfa (Gaskell *et al.*, 2007), sin embargo, su efecto es gradual en la producción y con larga duración en el suelo (Ciria *et al.*, 2011)

2.3.6 pH

El pH óptimo para el cultivo de la alfalfa es de 7.2 (Muslera y Ratera, 1991). su desarrollo es limitado en pH inferior a 5.0. Álvarez (2010) menciona que la acidez provoca que no sobreviva y se multiplique el *Rhizobium meliloti* específico y no soporta el encharcamiento, por lo que se considera una especie muy sensible a la acidez del suelo. La toxicidad por Mn y Al, es una de las causas principales del escaso crecimiento de la alfalfa en suelos ácidos, afectando adversamente al desarrollo de las raíces. Existe, además, una interacción negativa entre el P y el Al, que hace que disminuya la cantidad de P disponible, cuando el contenido de Al libre en el suelo es alto (Muslera y Ratera, 1991). Para pH inferiores a 6 conviene encalar los suelos, cuando menos, cada dos años, con el objetivo de prolongar la vida del cultivo (Espinoza y Ramos, 2001)

2.4 Factores que afectan el rebrote de los forrajes

2.4.1 Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) se refiere a la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. A medida que el IAF aumenta, menor será la cantidad de la luz que pueda llegar al suelo y mayor será la tasa de crecimiento (Hodgson *et al.*, 1990). Cuando prácticamente toda la luz incidente es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el IAF es el óptimo. Cuando la superficie de hojas es excesiva, el IAF está superando al óptimo de manera que las hojas basales no reciben suficiente luz, en este caso es común observar un incremento en el amarillamiento y muerte de las hojas ubicadas en la base del tallo (Baguet y Bavera, 2001).

2.4.2 Meristemas de crecimiento

Los meristemas son regiones celulares de las plantas, formados por células embrionarias, cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos, se pueden distinguir entre meristemas primarios, de los cuales depende el crecimiento en longitud y meristemas secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas *et al.*, 1993). En leguminosas como la alfalfa, en la que los meristemas apicales permanecen al alcance del corte o pastoreo, durante una gran parte del periodo vegetativo y estado reproductivo, como consecuencia de la elongación de sus tallos, el rebrote posterior a la, defoliación se produce desde las yemas de la corona y meristemas axilares de los tallos más bajos. Su activación requiere cierto tiempo, por lo que el rebrote es demorado, ya que la activación de las yemas de la, corona se maximiza cuando la planta está en estado reproductivo, situación que no se alcanza, normalmente, en condiciones de pastoreo (Baguet y Bavera, 2001).

2.4.3 Reservas de carbohidratos

Las reservas de carbohidratos son importantes para la persistencia y productividad de las plantas forrajeras perennes (Ueno y Smith, 1970). La velocidad en que las plantas forrajeras se recuperen está en función del almacenamiento de productos energéticos, los cuales son utilizados rápidamente en la respiración y en los procesos de crecimiento (Hanson, 1989). Varios tipos de carbohidratos son almacenados en las raíces y base de los tallos. Esto ocurre cuando la fotosíntesis sobrepasa a la respiración, cuando existe una alta captación de energía luminosa. De manera que, posterior a una defoliación intensa, la respiración sobrepasa a la fotosíntesis y es cuando las plantas hacen uso de sus reservas de carbohidratos para su crecimiento (Mendoza *et al.*, 2008). La cantidad de carbohidratos de reserva usados en él, rebrote depende de la severidad de la cosecha, la capacidad fotosintética de las hojas remanentes y las condiciones ambientales para la fotosíntesis durante el crecimiento. Las reservas de carbohidratos de la alfalfa declinan durante el rebrote, mientras nueva parte aérea es producida, tal descenso continúa dos o tres semanas, en condiciones de campo, antes de que ocurra la recuperación (Ueno y Smith 1970).

2.4.4 Frecuencia e intensidad de corte

Se entiende por frecuencia de corte al intervalo en tiempo de un corte y el siguiente, o bien, el número de cortes realizados en una pradera en un periodo de tiempo determinado, generalmente, en una estación o durante todo el año (Jiménez y Martínez, 1984). Si una pradera es pastoreada o cortada con regímenes de corte severos, no permite el tiempo a que la planta se recupere, de forma que la densidad de las plantas de las especies deseables disminuye rápidamente (Hughes *et al.*, 1980). Mientras que la altura de corte o pastoreo se denomina severidad o intensidad de defoliación y es el grado o altura a la que ocurre la cosecha, o bien, es el porcentaje o cantidad de biomasa cosechada con respecto a la cantidad de forraje presente total. La severidad de cosecha es de gran importancia para el crecimiento y persistencia de

las especies forrajeras, porque afecta directamente las reservas de carbohidratos y el IAF remanente, indispensables para iniciar un nuevo rebrote (Mendoza, 2008).

2.5 Producción estacional de forrajes

Las condiciones edafoclimáticas de un ambiente, particular determinan los patrones de crecimiento estacional de las especies forrajeras predominantes; en igualdad con condiciones de manejo, las diferencias de producción total y, estacional dependerán de la especie y de su interacción con el clima, tales como la precipitación, tasa de evaporación, temperatura, viento, horas e intensidad luminosa (Hernández *et al.*, 1997). También mencionan que la estacionalidad en el desarrollo y producción de forraje de especies de interés en una determinada, región es un aspecto primordial para optimizar la interrelación suelo-planta-animal, ya que permite detectar los tiempos de mayor y menor disponibilidad de forraje y, con ello, adoptar diferentes prácticas de manejo, con el propósito de maximizar la disponibilidad de forraje y, por tanto, la producción animal.

Álvarez *et al.* (2018) encontraron que la distribución estacional del rendimiento de forraje presentó diferencias ($P < 0.05$) entre variedades y entre estaciones del año. La distribución promedio estacional mostró el siguiente orden: verano > primavera > invierno > otoño con 3,508, 2,850, 2,306 y 2,122 kg MS ha⁻¹, respectivamente. De esta manera durante el verano se produjo el 33% del rendimiento promedio anual (10,784 kg MS ha⁻¹), seguido de primavera con 26%, invierno con 21%, y otoño con 20%. Para Rojas (2011), una distribución estacional para verano 36%, primavera 27%, otoño 24%, invierno 13%, con un rendimiento promedio anual de 17,313 kg MS ha⁻¹. Mendoza (2010) presentó una distribución estacional de 31, 26, 23 y 20% para verano, primavera, otoño e invierno, respectivamente, lo que lleva a la conclusión que en la estación de verano se observan los mayores porcentajes de rendimiento gracias a las condiciones favorables del clima en esta estación.

2.6 Sistemas de riego por goteo

El objetivo de los sistemas de riego es poner a disposición de los cultivos el agua necesaria para que cubra sus necesidades, complementando la recibida en forma de precipitaciones (Flores, 2016). Sus requerimientos para este recurso hídrico son muy altos. Los requerimientos hídricos van entre 1,200 y 1,800 mm anuales aproximadamente (Guzmán *et al.*, 2008). De esta forma, el uso eficiente de los riegos es de gran importancia para evitar el desperdicio de ésta. El riego por goteo se llama así a los sistemas que aplican el agua con un caudal no superior a 20 lph, por punto de emisión o metro lineal de manguera de goteo. Puede instalarse superficial o subterráneo. El agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo gota a gota (Flores, 2016). Existen dos fuerzas que controlan el agua en el suelo: la fuerza capilar, con igual magnitud en todas las direcciones y la fuerza gravitacional, la cual se ejerce de manera constante sobre las partículas de agua. La fuerza capilar decrece a medida que el suelo se humedece. A medida que el suelo se humedece y los poros del suelo se saturan, la fuerza capilar disminuye, permitiendo que la fuerza gravitacional domine y el agua se mueva principalmente por percolación, la cual se define como la circulación vertical del agua en el suelo a través de la zona de infiltración, posibilitando su llegada a las capas freáticas. De este concepto básico se deduce que el agua aplicada con este sistema de riego debe suministrarse en intervalos cortos de tiempo, con la finalidad que el movimiento del agua en el suelo sea controlado principalmente por las fuerzas de capilaridad (INIFAP 2007).

2.6.1 Riego por goteo superficial

El riego por goteo superficial (RSP) implica el suministro de agua al suelo muy cerca de las plantas a velocidades de flujo muy bajas ($0,5$ a 10 litros hora⁻¹) desde una tubería de plástico equipada con salidas (emisores de goteo). El concepto básico que subyace al método de riego por goteo es mantener un bulbo húmedo de suelo en el que las raíces de las plantas succionen agua. Solo se humedece la parte del suelo que

rodea inmediatamente a la planta. El volumen y la forma del bulbo húmedo regado por cada gotero son en función de las características del suelo (textura y conductividad hidráulica) y la tasa de descarga del gotero. Las aplicaciones suelen ser frecuentes (cada 1 a 3 días) para mantener el contenido de agua del suelo en el bulbo cerca de la capacidad de campo. Las pérdidas por escorrentía, percolación profunda y evaporación son mínimas; esto significa que la mayoría del agua de riego es absorbida por la planta (Howell y Hiler 1974).

2.6.2 Riego por goteo subterráneo o subsuperficial

El riego por goteo subterráneo, es una de las técnicas de irrigación más modernas y efectivas actualmente, ya que permite la aplicación de láminas de riego pequeñas a una mayor frecuencia y además reduce pérdidas de agua por evaporación directa, escurrimiento y percolación (Ismail, 2013). Puede ser una alternativa a los sistemas de riego tradicionales en alfalfa (inundación y aspersión) teniendo en cuenta la posibilidad de ahorro en la aportación de agua de riego y las mejoras técnicas y de manejo del cultivo que conlleva (Rufat *et al.*, 2006). Las crecientes demandas de consumo de agua para el uso doméstico, industrial y agrícola han generado la necesidad de investigar y adoptar nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso (Montemayor *et al.*, 2010). En los últimos años se ha trabajado para adoptar una nueva tecnología de riego, llamado sistema de riego por goteo subterráneo, que se define como la forma de aplicar agua a los cultivos en forma subterránea mediante emisores con gastos uniformes, que ha reducido el gasto hasta en un 40 % comparado con otros sistemas de riego, y emplea cintas de goteo enterradas en el suelo, lo cual permite conservar el agua e incrementar significativamente la producción y calidad de los cultivos (Camp *et al.*, 2000). Los rendimientos con riego por goteo subterráneo son igual o mayores que los rendimientos con otros métodos de irrigación incluyendo el riego por goteo superficial. Los requerimientos de agua son iguales o menores que el riego por goteo superficial y los requerimientos de fertilización a veces son menores que con otros métodos de riego (Camp *et al.*, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio de estudio

El estudio fue realizado del 03 de agosto al 21 de septiembre del 2019, estación de verano, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, en las 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. Los inviernos son extremos, predominan temperaturas máximas superiores a 18 °C y algunos días con temperaturas mínimos inferiores a 0 °C, con una precipitación media anual de 340 mm (Climate-Data-org, 2010). Los resultados de los parámetros del suelo presentados fueron: textura del suelo, migajón arcilla-arenoso, con una densidad aparente de 1.25 g cm³, pH 7.38, conductividad eléctrica, 0.530 mS/cm y un porcentaje de materia orgánica del 3.026 %.

3.2 Condiciones del clima durante el experimento

Se registraron las temperaturas durante el experimento por medio de la red universitaria de observatorios atmosféricos (RUOA). La máxima temperatura fue de 30.58 °C y la mínima 11.95 °C. La precipitación acumulada en el periodo experimental fue 186.90 mm.

Cuadro 2. Temperatura y precipitaciones semanales.

Fechas de muestreo	Temperaturas (°C)			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
10/08/2019	30.38	16.37	23.39	18.90
17/08/2019	30.70	18.01	24.25	0.00

24/08/2019	30.58	17.81	24.85	0.00
31/08/2019	30.53	16.22	21.67	2.30
07/09/2019	26.52	13.21	18.85	95.60
14/09/2019	26.66	11.95	18.96	69.60
21/09/2019	27.94	12.37	20.16	0.50
Promedio	29.04	15.13	21.73	186.9*

Fuente: Red universitaria de observatorios atmosféricos (RUOA, 2019). *Precipitación acumulada.

3.3 Manejo de las parcelas experimentales

Se utilizaron dos praderas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) establecidas el 04 de febrero de 2019, mediante siembra al voleo con una densidad de siembra de 22 kg SPV ha⁻¹, de la var. Premium. Se diseñaron dos sistemas de riego por goteo, superficial y subterráneo. En el riego subterráneo, la cintilla se colocó a 25 cm de profundidad y con 70 cm de separación y en el riego superficial, la cintilla se colocó sobre el suelo a la misma separación usada en el riego subterráneo. Se programaron riegos cada 15 días, durante la época de estiaje. Cada área se dividió en 21 parcelas de 9 m² (3 x 3 m). Para iniciar el experimento se realizó un corte de uniformización el 03 de agosto de 2019, con la ayuda de una hoz a una altura promedio de 5 cm a ras del suelo. Posteriormente se realizaron cortes sucesivos durante siete semanas de rebrote.

3.4 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron dos sistemas de riego (por goteo superficial; RSP) y subterráneo; RSB) y la edad de la planta a la cosecha (Días De Rebrote; DDR). Para cada tratamiento se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones.

3.5 Variables evaluadas

3.5.1 Rendimiento de forraje

El rendimiento de forraje se determinó con cortes de forraje presente en dos cuadros de 0.25 m² (50 x 50 cm), ubicados al azar dentro de cada repetición, para cada tratamiento, a una altura aproximada de 5 cm sobre el nivel del suelo. El forraje obtenido se depositó en bolsas de papel previamente identificadas para después someterse a un secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55°C por un periodo de 72 horas, logrando alcanzar un peso constante y de manera que se pudo registrar el peso de la materia seca (MS), posteriormente se determinó el rendimiento por unidad de superficie (kg MS ha⁻¹)

3.5.2 Composición botánica - morfológica

Fue utilizada una submuestra (aproximadamente 10%) del forraje cosechado para rendimiento de forraje, separando los componentes morfológicos de la alfalfa (hojas, tallos, material muerto e inflorescencia) y malezas. Después de colocarlos por separado en bolsas previamente identificadas por componente morfológico, se sometieron al secado en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55 °C durante 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:

$$CM (\%) = [\frac{\text{Peso total del componente}}{\text{Peso total de la CM}}] \times [100]$$

$$\text{Peso total de la CM kg MS ha}^{-1}$$

$$\text{corte}^{-1} = [\frac{\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1} \text{ componente}^{-1}}{\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}}] \times [100]$$

$$\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$$

3.5.3 Relación hoja: tallo

Los datos originados de la composición morfológica (hoja y tallo) de las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), fueron utilizados para estimar la relación hoja:tallo, la cual se calculó por medio de la siguiente formula:

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

Donde:

H:T = Relación hoja:tallo.

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

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

3.5.4 Altura de planta

Las mediciones de la altura de la planta se tomaron un día antes de cada corte. Se registraron 10 lecturas al azar para cada repetición. Se utilizó una regla graduada (100 cm), donde la parte inferior de la regla (0 cm) quedo a nivel del suelo y posteriormente se contaron los centímetros hasta el componente más alto de la planta. Se determinó la altura promedio en los 10 tallos, esto por cada repetición.

3.5.5 Radiación interceptada

La determinación del porcentaje de luz interceptada por la pradera se utilizó una barra light o sensor de quantum de 70 cm de longitud, modelo PS-100, Apogee, Inst, Utah, USA. Se tomaron tres lecturas por repetición, entre las 11:30 am y 12:30 pm, horario en el cual los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie de la pradera. Las lecturas fueron sobre el dosel de la planta, que representaron el 100 % de la luz recibida y bajo el dosel de esta, que representó la luz que no interceptó la planta (luz no aprovechada), previa nivelación de la barra con una burbuja de agua. La

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

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

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 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$).

3.6 Análisis de datos

Para comparar el efecto del sistema de riego y la edad de reborte a la que se cosechó la especie, en el comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) se realizó un análisis de varianza con un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones, mediante el procedimiento GLM de SAS (Statistical Analysis System Versión 9.0 para windows) y una comparación de medias con la prueba tukey ($P < 0.05$). Se utilizó el siguiente modelo.

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

Donde:

Y_{ij} = Valor de la variable de estudio

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

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = Error estándar de la media

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento de forraje

En el Cuadro 3, se presenta el rendimiento de forraje (RF) de alfalfa variedad Premium, cosechada días después del rebrote, en la estación de verano, bajo dos sistemas de riego. No se registraron diferencias estadísticas entre los sistemas de riego ($p > 0.05$), pero sí entre momentos a los cuales se cosecho la planta ($P < 0.05$). No obstante, el riego por goteo subterráneo, fue superior al riego superficial en un 6 % con 118 kg MS ha⁻¹ más, en promedio. Conforme avanzó la edad de rebrote, la producción de forraje se incrementó, ya que, para los 7, 14 y 21 días de rebrote, el rendimiento fue menor respecto a los últimos cortes, registrándose el máximo valor a los 35 DDR con 3,606 kg MS ha⁻¹, donde en el riego subterráneo se produjo 3,912 kg MS ha⁻¹ y en el superficial 3,300 kg MS ha⁻¹.

Cadena *et al.* (2009) observó que, a lo largo del experimento, hasta la frecuencia de corte a los 35 de rebrote se mantuvo más estable en cuanto a la composición botánica del rendimiento. En contraste con Trejo *et al.* (2004), encontraron un rendimiento de forraje con riego por goteo superficial comparado con riego por gravedad de 2.95 t MS ha⁻¹ y 2.6 t MS ha⁻¹ respectivamente, lo cual se encuentran inferiores al encontrado en esta investigación que fue de 3.3 t MS ha⁻¹ con riego superficial y 3.9 t MS ha⁻¹, con riego subterráneo. Así mismo, Moreno *et al.* (2007), estableció que los rendimientos de forraje con sistema de riego por aspersión fijo variaron de 3.12 a 4.31 t MS ha⁻¹ y en el sistema de riego por aspersión de Power Roll (AP) obtuvo rendimientos de 2.3 a 3.4 t MS ha⁻¹, mientras que, en riego superficial, 1.72 a 2.69 t MS ha⁻¹.

Cuadro 3. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada días después del rebrote, bajo dos sistemas de riego, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
RSP	146 ^{Ab}	242 ^{Ab}	439 ^{Ab}	2730 ^{Ab}	3300 ^{Aa}	2817 ^{Aa}	2851 ^{Aa}	1790 ^A	476
RSB	143 ^{Ac}	231 ^{Ac}	648 ^{Ac}	3139 ^{Aa}	3912 ^{Aa}	2876 ^{Aa}	2405 ^{Ab}	1908 ^A	367
\bar{x}	144 ^b	237 ^b	543 ^b	2934 ^a	3606 ^a	2846 ^a	2628 ^a	1849	387
EEM	22	25	136	411	181	412	271	116	

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

4.2 Composición botánica – morfológica

Los cambios en la composición botánica y morfológica (CBM), en alfalfa (*Medicago sativa* L.) var. Premium, cosechada días después del rebrote (DDR), en dos sistemas de riego, en la estación de verano se presenta en el Figura 2. No se encontró diferencia significativa (P<0.05) entre sistemas de riegos, pero si entre días de rebrote, en todos los componentes. La hoja a los 7 DDR tuvo un mayor porcentaje de aportación con un 57 % en promedio, y menos a los 28 y 49 DDR con el menor porcentaje de un 38%. En contraste el tallo, a los 28 DDR se obtuvo el mayor porcentaje con 58% en promedio y menor a los 7 DDR con un 39%. Lo anterior indica que mientras que la hoja se posicionaba en mayor porcentaje a los 7 DDR, en el tallo fue lo contrario y conforme aumento la edad de rebrote, este se mostró en mayor porcentaje respecto a la hoja. En promedio se presentó un 47% de hoja con el riego superficial y un 44% en el riego subterráneo. Rojas *et al.* (2017), presentaron un resultado similar con un 45 % de la aportación de hoja al rendimiento, en la estación de verano. En el material muerto, se presentó a los 7 DDR del RSB, sin embargo, este debe tomarse con cautela ya que posiblemente fue un residuo colectado del corte de

uniformización. A partir de los 21 DDR, comenzó a aparecer y aumentar gradualmente. El mayor porcentaje se obtuvo en a los 49 DDR, con un promedio de 5.5%. Tampoco se obtuvo diferencia significativa en el porcentaje de maleza para los tratamientos ni para la comparación entre DDR. La inflorescencia comenzó a aparecer a partir de los 35 DDR con un 1.1% y a los 49 DDR 1.5%.

En el análisis de varianza de la producción de hoja en kg MS ha^{-1} , se registraron diferencia entre tratamientos ($P < 0.05$) a los 49 DDR con un 37% más en el riego superficial con un rendimiento de $1,166 \text{ kg MS ha}^{-1}$, respecto al riego subterráneo con $851 \text{ kg MS ha}^{-1}$. En la comparación entre días de rebrote, a los 35 DDR se produjo mayor rendimiento con $1,531 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en promedio, y menor a los 7 DDR con 81 kg MS ha^{-1} . Al respecto, Aparicio *et al.* (2004) mencionan que la mayor acumulación de hojas en la variedad Valenciana se registró a los 21 DDR, en primavera y verano. En cambio, el mayor rendimiento estacional de hojas en la variedad Oaxaca se observó a los 42, 21 y 35 DDR en primavera y verano ($P < 0.05$). Es importante señalar que, en todas las estaciones del año, una vez que las variedades de alfalfa alcanzaron su máxima acumulación de hojas, el incremento en rendimiento de materia seca se debió a la biomasa de tallos, por lo que para definir la edad de rebrote a la cual debe cosecharse la alfalfa, es necesario considerar la edad a la cual se obtiene tanto el mayor rendimiento total como la máxima acumulación de hojas (Villegas *et al.*, 2004).

En el tallo a los 49 días de rebrote hubo una diferencia significativa ($P < 0.05$) a favor de riego superficial con un 18% sobre el riego subterráneo con $1,375 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y $1,164 \text{ kg MS ha}^{-1}$ respectivamente. Se presentó una diferencia significativa entre cosechas días de rebrote, siendo mayor a los 35 DDR con $1,930 \text{ kg MS ha}^{-1}$ y la menor a los 7 DDR con 57 kg MS ha^{-1} . La diferencia significativa entre DDR para la materia, muerta fue a los 49 DDR con $139.5 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en promedio y a los 14 DDR con 0 kg MS ha^{-1} . La maleza, no obtuvo diferencia significativa entre sistemas de riego ni entre DDR. Para la inflorescencia se registró su presencia a partir de los 21 DDR, incrementando a los 49 DDR con 45 kg MS ha^{-1} en promedio. El promedio de la aportación de hojas al rendimiento de los tratamientos fue de 45.2% de los 49 DDR; el

rendimiento de las hojas a los 28 DDR fue del 38%. Los resultados resultaron inferiores de acuerdo con Rojas *et al.* (2017) que obtuvo un rendimiento de hojas en verano (45 %) 2017 a los mismos DDR de corte. Así como Villar *et al.* (2014) que obtuvo (44.9%) cosechado a los 28 DDR. Para el material muerto se registró un promedio de 2.72%, de los 49 DDR, mientras que Villar (2014), mencionan que la mayor cantidad de material muerto se presentó en verano, con un valor promedio de 7% muy superior al presentado aquí. El resultado obtenido de los DDR en el porcentaje de alfalfa respecto a las malezas siempre fue predominante en más del 95%, resultado que concuerda con Villar, (2014), que menciona que la alfalfa constituyó más del 90% de la especie deseable en la pradera, aunque en primavera y verano tuvo una mayor presencia de maleza.

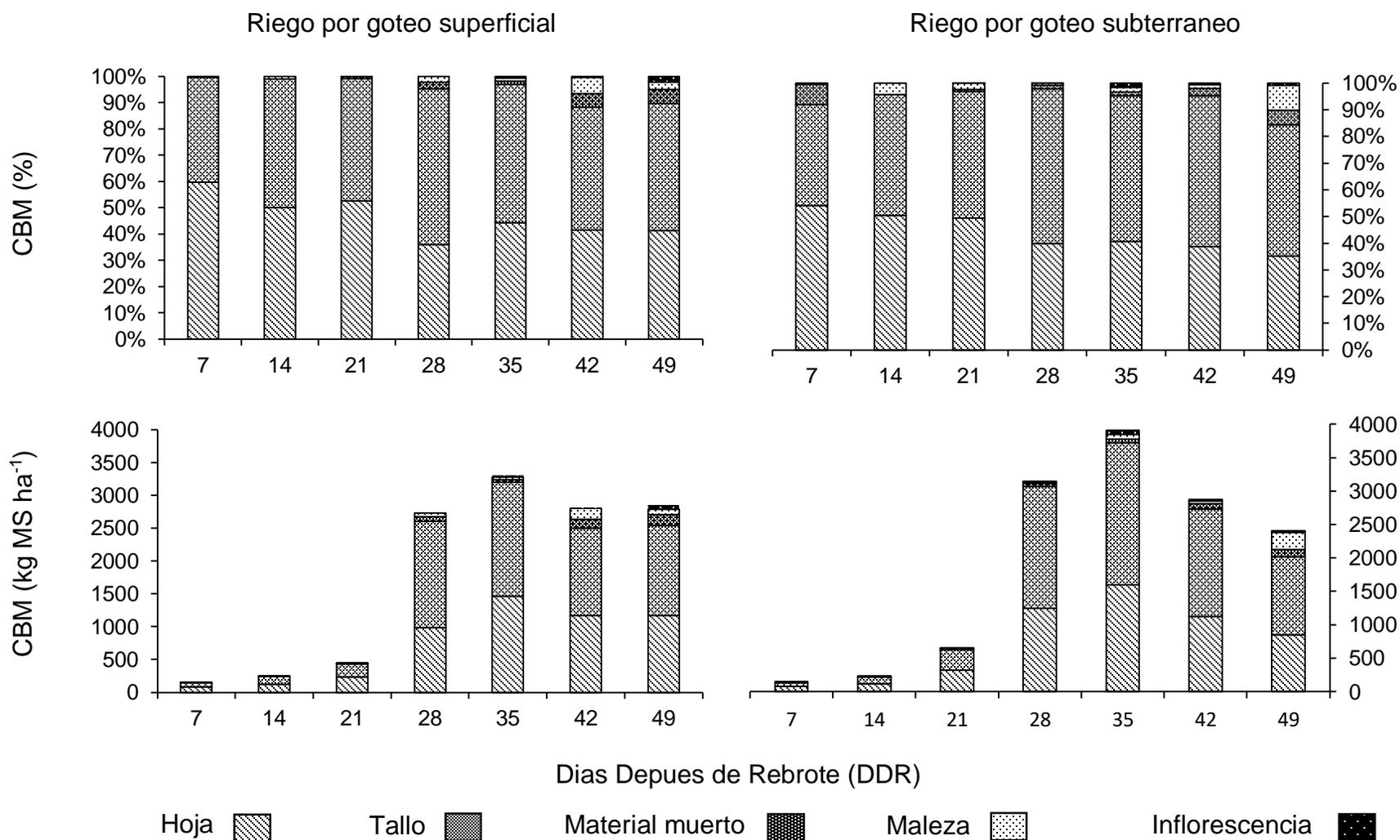


Figura 2. Composición botánica y morfológica de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019, bajo dos sistemas de riego por goteo. CMB = Composición botánica-morfológica.

4.3 Relación hoja:tallo

En el Cuadro 4 se presenta la relación hoja:halla (R:H/T) de alfalfa var. Premium, en la estación de verano bajo dos sistemas de riego por goteo; superficial (RSP) y subterráneo (RSB), días después del rebrote. No se mostró una diferencia estadística entre sistemas de riegos ($P>0.05$). No obstante, el promedio, en el riego superficial fue superior en un 10% con 0.99 en R:H/T al riego subterráneo con 0.90, lo que indica que con el RSP hay una mejor relación de hoja respecto al tallo. Rojas *et al.* (2017) encontró que, Independiente de la variedad, en otoño e invierno la R:H/T fue la mayor (1.49), comparado con verano y primavera (0.92 y 0.94) donde los resultados que obtuvieron en verano fueron parecidos a los obtenidos en este experimento. En cuanto a DDR, si existieron diferencias estadísticas ($P<0.05$), donde a los 7 DDR hubo un mayor contenido de hojas respecto al tallo (1.49), disminuyendo a los 49 DDR (0.76). Aparicio *et al.* (2004) mencionan que Independientemente de la estación del año y variedad, conforme aumenta la edad de rebrote de 7 a 56 DDR, la R:H/T tendió a disminuir.

En el riego superficial a los 7 días de rebrote hubo una relación hoja:tallo de 1.5, respecto al riego subterráneo con 1.4. A los 28 DDR, en el RSP existió la menor R:H/T con 0.63 y en el RSB, a los 28, 35 y 49 DDR con 0.7. De acuerdo con villar *et al.* (2014), la menor R:H/T ($P<0.05$), se registró cuando la alfalfa se cosechó cada 28 DDR en otoño-invierno y cada 42 DDR para primavera-verano con 0.75 que concuerda con estos resultados. Así, debe existir un balance entre la calidad y la cantidad de forraje, ya que para este caso los menores rendimientos de forraje coinciden con la mayor aportación de hoja y, a su vez, cuando aumenta el intervalo entre cortes disminuye la calidad, al aumentar la cantidad de tallo, pero con un incremento en el rendimiento de forraje (cadenas *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Relación hoja:tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote, con diferentes sistemas de riego por goteo, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
RSP	1.5 ^{Aa}	0.9 ^{Aab}	1.1 ^{Aab}	0.6 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.9 ^A	0.2
RSB	1.4 ^{Aa}	1.1 ^{Aab}	1.1 ^{Abc}	0.7 ^{Ac}	0.8 ^{Abc}	0.7 ^{Ac}	0.7 ^{Ac}	0.9 ^A	0.1
\bar{x}	1.4 ^a	1.0 ^{bc}	1.1 ^{ab}	0.6 ^c	0.8 ^{bc}	0.7 ^{bc}	0.7 ^{bc}	1.0	0.1
EEM	0.24	0.15	0.07	0.10	0.16	0.11	0.08	0.04	

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

4.4 Altura de alfalfa

La altura de la planta (AP) de alfalfa var. Premium cosechada a diferentes edades de la planta, en verano bajo dos sistemas de riego, superficial (RSP) y subterráneo (RSB) se presentan en el Cuadro 5. Entre sistemas de riegos, la diferencia estadística ($P < 0.05$), se presentó solo a los 49 DDR, donde el riego subterráneo fue superior al riego superficial con 73 y 63 cm, respectivamente. La comparación entre días de rebrote, se puede observar un crecimiento desde los 7 DDR, con menor altura con 17 cm y mayor a los 28 y 35 DDR con 74.5 y 72.5 cm respectivamente, en promedio, y una disminución gradual para los siguientes (42 y 49 DDR). A los 28 DDR, se reporta un promedio de altura de 74.5 cm. Al respecto, Santillán *et al.* (2016) registraron la mayor altura promedio de 5 variedades de alfalfa en verano de 61 cm. Mientras que, para 10 variedades de alfalfa, la altura promedio en la estación de verano fue de 37 cm (Álvarez *et al.*, 2018). La mayor altura ($P < 0.05$) fue de 61 cm en verano con 6 semanas entre cortes (cadena *et al.*, 2009), mientras que, en este estudio, la altura en a los 42 DDR en promedio fue de 66.9 cm.

Cuadro 5. Altura de la planta (cm) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote, con diferentes sistemas de riego en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después de Rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
RSP	18 ^{Ae}	43 ^{Ad}	57 ^{Ac}	73 ^{Aa}	72 ^{Aab}	64 ^{Aabc}	63 ^{Bbc}	56 ^A	3.2
RSB	16 ^{Ad}	40 ^{Ac}	60 ^{Ab}	76 ^{Aa}	73 ^{Aa}	69 ^{Aab}	73 ^{Aa}	58 ^A	2.6
\bar{x}	17 ^e	41 ^d	58 ^c	74 ^a	72 ^a	66 ^b	68 ^b	56	2.1
EEM	1.24	3.79	0.29	2.09	3.01	6.56	1.53	2.16	

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

4.5 Porcentaje de luz interceptada

En el Cuadro 6, se presenta el porcentaje de radiación interceptada (RI), de alfalfa var. Premium, en la estación de verano, bajo dos sistemas de riego por goteo, superficial y subterráneo, cosechada a diferentes días de rebrote. No se mostró una diferencia estadística para los tratamientos ($P < 0.05$), pero si entre días de rebrote. Se muestra un aumento del porcentaje de luz interceptada a partir de los 21 DDR, manteniéndose por encima del 90% por el resto de los días de rebrote, así, obteniéndose a los 7 DDR un promedio de 42.5% de luz interceptada, y un 97% a los 49 DDR, aunque para los 21 DDR hubo un porcentaje de intercepción del 99% en promedio. Por su parte, Mattera *et al.* (2013), menciona que, la interceptación del dosel fue influenciada por el espaciamiento entre filas durante el período experimental. Espacios estrechos (10 cm y 15 cm) obtuvieron un porcentaje de intercepción más alto durante todo el período de rebrote. Aunque en septiembre, todas las distancias (tratamientos) alcanzaron una intercepción del 95%. Sánchez *et al.* (2019) obtuvieron

una intercepción del 88% en la semana 4 en promedio de cinco variedades de alfalfa en la estación de verano, donde la variedad milenaria obtuvo el 95% de intercepción de luz en la estación de verano, a los que mencionan que esto podría estar relacionado con la mayor temperatura, dando como resultado mayor tasa de crecimiento y viceversa; cuando existió menor temperatura, menor intercepción de luz.

Cuadro 6. Radiación interceptada (%) en alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, cosechada a diferentes edades de rebrote, en dos diferentes sistemas de riego en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después de Rebrote (DDR)							\bar{x}	EEM
	7	14	21	28	35	42	49		
RSP	58 ^{Ab}	98 ^{Aa}	99 ^{Aa}	98 ^{Aa}	98 ^{Aa}	97 ^{Aa}	97 ^{Aa}	92 ^A	3.9
RSB	30 ^{Ab}	95 ^{Aa}	99 ^{Aa}	90 ^{Aa}	90 ^{Aa}	96 ^{Aa}	97 ^{Aa}	85 ^A	7.5
\bar{x}	42 ^b	96 ^a	99 ^a	94 ^a	94 ^a	96 ^a	97 ^a	88 ^a	3.7
EEM	14.5	2.1	1.4	10.4	10.4	2.6	0.7	4.9	

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

V.CONCLUSIONES

- El sistema de riego por goteo subterráneo y superficial, no afectó significativamente al rendimiento, altura de planta, relación hoja:tallo, radiación interceptada y producción y aportación de los componentes morfológicos y botánicos de la alfalfa var. Premium en la estación de verano. Sin embargo, conforme aumentaron los días de rebrote, se incrementó la acumulación de forraje total, de los componentes botánicos y morfológicos, altura de la planta y radiación interceptada.
- La aportación de hoja al rendimiento disminuyó a mayores días de rebrote, respecto al resto de los componentes, por lo que la relación hoja:tallo disminuyó de forma similar.
- A los 35 días de rebrote se produjo mayor cantidad de forraje, de hoja y de tallo y una cantidad de material muerto, maleza e inflorescencia no significativa, por lo que se podría tomar como punto óptimo de cosecha esta edad de la planta en la estación de verano.
- El tallo fue el componente que más aportó al rendimiento total con 49 %, seguido por la hoja con 45 %, material muerto y maleza con 2 % ambos, e inflorescencia con 0.5 %.

VI. LITERATURA CITADA

- 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.
- Aparicio, Y. V., Garay, A. H., Pérez, J. P., Castañeda, C. L., Harob, J. G. H., Quiroz, J. F. E., & Vázquez, A. G. (2004).** Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(2):145-158.
- Aranjuelo, I., Molero, G., Erice, G., Avice, J. C., y Nogués, S. (2011).** Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of experimental botany*, 62(1):111-123.
- Avci, M., Çınar, S., Yücel, C., & Inal, I. (2010).** Evaluation of some selected alfalfa (*Medicago sativa* L.) lines for herbage yield and forage quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3/4 part 1):545-549.
- Baguet, H. A., & Bavera, G. A. (2001).** Fisiología de la planta pastoreada. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. 6p
- Basigalup, D., del Carmen S, M., Odorizzi, A., & Arolfo, V. (2018).** global interaction for alfalfa innovation. november 11-14, 2018 cordoba, argentina. 217 p.
- Bolton, J. L., Goplen, B. P., & Baenziger, H. (1972).** World distribution and historical developments. *Alfalfa science and technology*, (15):1-34.

- Cadena V, S., Pérez P, J., Ortega J, E., & Escalante E, J. A. (2009).** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en respuesta a diferentes frecuencias de cosecha. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, 70 p.
- Camp, C. R., Lamm, F. R., Evans, R. G., & Phene, C. J. (2000).** Subsurface drip irrigation—Past, present and future. Fourth Decennial Nat'l Irrigation Symp, Pp 14-16.
- Campillo, R., Urquiaga, S., Pino, I., & Montenegro, A. (2003).** Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del ¹⁵N. Agricultura técnica, 63(2):169-179.
- Ciria C., M. P., N. M. Fábregas y A. Moyano G. (2011).** Producción de cereal ecológico en rotación con barbecho y leguminosa. Universitat de les Illes Balears. Pp 1-9.
- Clavijo, V. E., & Cadena C, P. (2011).** Producción y calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos. Tesis de licenciatura. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. 35 pp.
- COPA-COGECA (2007)** Lucerne: an asset to the environment. COPA-COGECA, Paris. 343p.
- Del Pozo, M. (1983).** La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.

- Delgado, E. I., & Chocarro, G. C. (2020).** La alfalfa. Universitat de Lleida. 364 p.
- Eghball, B. (2002).** Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen- based manure and compost applications. *Agron. J.* (94):128-135.
- Espinoza, C., & Ramos, G. (2001).** El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores, (22):11.
- Flores, E. F. (2016).** Aplicación de modelos informáticos en la evaluación de la eficiencia hidráulica de un sistema de riego. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México 157 p.
- Gardner, D.; Putnam, D. H. (2018).** alfalfa situation in the usa and canadian Proceedings. Second World Alfalfa Congress, Cordoba, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA):30-33.
- Gaskell, M., Smith, R., Mitchell, J., Koike, S. T., Fouche, C., Hartz, T., ... & Jackson, L. (2007).** Soil fertility management for organic crops Pp 1-9,
- 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.
- Guzmán, RSC, Valenzuela SC, Felix VP, Jiménez TA, Ruiz CS (2008).** Necesidades hídricas de los principales cultivos en el estado de Baja California. Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias, México. 32 p.
- Hanson, A. A., Barnes, R. D. K. and Hill, A. (1988).** Alfalfa and alfalfa improvent. American Society of Agronomy, 1084 p.

- Hernández, G. A., & Martínez, H. P. A. (1997).** Utilización de pasturas tropicales. Producción de ovinos en zonas tropicales. Fundación Produce-Inifap, Pp 8-24.
- Hesterman, O. B., & Teuber, L. R. (1981).** Effect of photoperiod and irradiance on fall dormancy of alfalfa. U. of California, p. 87.
- Howell, T. A., & Hiler, E. A. (1974).** Designing trickle irrigation laterals for uniformity. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 100(4):443-454.
- 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*) grasslands along ages in arid area (China). Field Crops Research, (221):1-6.
- Hughes, H. D., Heatand, M. E., Metcalf, D. S., (1980).** Forrajes. Editorial CECSA. México. 758 p.
- Humphries, A. W., Stewart, A. G., Newman, A. J., Ballard R. A. (2018).** Overview of the economic utilization and traits of interest of lucerne in Australia. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Second World Alfalfa Congress. Cordoba, Argentina. Pp 25-29
- INIFAP, 2007.** Producción de alfalfa con riego por goteo subsuperficial o subterráneo. INIFAP <https://www.yumpu.com/es/document/read/14913097/produccion-de-alfalfa-con-riego-por-goteo-> (15, marzo, 2021).
- Ismail, S. M., & Almarshadi, M. H. (2013).** Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions. Irrigation and Drainage, 62(1):57-66.

- Jiménez, M. A., & Martínez, H. P. (1984).** Utilización de praderas. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- Lara, M. C., & Jurado, G. P. (2014).** Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua. Sitio Experimental La Campana-INIFAP. Folleto Técnico, 52 p.
- Lu X. (2018).** Alfalfa improvement in China. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Second World Alfalfa Congress, Cordoba, Argentina, Pp34-35.
- Mattera, J., Romero, L. A., Cuatrín, A. L., Cornaglia, P. S., & Grimoldi, A. A. (2013).** Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. *European Journal of Agronomy*, (45):87-95.
- Mendoza, P. S. I., Hernández G. A., Pérez P. J., Quero C. A. R., Escalante E. J. A. S., Zaragoza R. J. L., & Ramírez R. O. (2010).** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3):287-296.
- Mendoza, P. S. I. (2008).** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Pp 287-296
- Montemayor, T, J. A., Aguirre A. H. W., Olague R. J., Román L. A., Rivera G. M., Preciado R. P., ... & Yescas C. P. (2010).** Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) con riego por goteo subsuperficial. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2):145-156.

- Moreno, S. F. M., Ibarra, M. A. I., Valencia, E. A. C., Castorena, M. V., López, A. R., & Carranza, A. R. (2007).** producción de alfalfa irrigada con sistemas de riego por aspersión y superficial. directorio ujed, 43 p.
- Muslera, P. E. y G. Ratera, C. (1991).** Praderas y Forrajes, Producción y Aprovechamiento. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 674 p.
- Rodríguez, S. F. (1989).** Fertilizantes. Nutrición Vegetal. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Rojas, G. A. R., Hernández, G. A., Cansino, S. J., Maldonado, P. M. D. L. Á., Mendoza, P. S. I., Álvarez, V. P., & Joaquín, T. B. M. (2016).** Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(8):1855-1866.
- 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.
- Rufat, J., Del Campo, J., Mata, M., Rabones, A., & Girona, J (2006).** Ensayos de aplicación del riego subsuperficial o enterrado en alfalfa. Dossier AGUA, Pp 34-40.
- RUOA, 2021.** observatorio atmosférico Saltillo. UNAM. <https://www.ruoa.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=10>. (20, enero, 2021).
- 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.

Santillán, P. S., Peralta, M. D., García, A. R., Salado, N. T., Pérez, J. H., Luzardo, M. B., ... & Carrillo, A. R. (2019). Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México. *Acta universitaria* (29). 11 p

SENASICA, 2016. Existen diferentes sistemas de riego en la agricultura. SENASICA <https://www.gob.mx/senasica/articulos/existen-diferentes-sistemas-de-riego-en-la-agricultura?idiom=es>. (13, marzo, 2021)

SENASICA, 2016. Existen diferentes sistemas de riego en la agricultura. SEANASICA <https://www.gob.mx/senasica/articulos/existen-diferentes-sistemas-de-riego-en-la-agricultura?idiom=es>. (13, marzo, 2021)

Sharratt, B. S., Baker, D. G., & Sheaffer, C. C. (1987). Climatic effect on alfalfa dry matter production Part II. Summer harvests. *Agricultural and forest meteorology*, 39(2-3):121-12

SIAP, 2018. Alfalfa verde, producción y comercio exterior. SIAP <https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio-exterior>. (24, enero, 2021)

SIAP, 2019. anuario estadístico de la producción agrícola. SIAP <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (24, enero, 2021)

Ueno, M., & Smith, D. (1970). Growth and Carbohydrate Changes in the Root Wood and Bark of Different Sized Alfalfa Plants during Regrowth after Cutting 1. *Crop science*, 10(4):396-399.

Villegas, A. Y., A. Hernández, G. J., Pérez, P., López, C., Herrera, H., Enríquez, Q., y Gómez, V. (2004). Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Téc. Pecu. México*, 42(2):145-158.

VI.ANEXOS

Cuadro 7. Análisis de varianza del rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	146 ^{Ab}	242 ^{Ab}	439 ^{Ab}	2730 ^{Ab}	3300 ^{Aa}	2817 ^{Aa}	2851 ^{Aa}	1790 ^A	<.0001	476	1361
RSB	143 ^{Ac}	231 ^{Ac}	648 ^{Ac}	3139 ^{Aa}	3912 ^{Aa}	2876 ^{Aa}	2405 ^{Ab}	1908 ^A	<.0001	367	1050
\bar{x}	144 ^b	237 ^b	543 ^b	2934 ^a	3606 ^a	2846 ^a	2628 ^a	1849	<.0001	387	1106
Sig.	0.16	0.16	0.40	0.70	0.07	0.24	0.13	0.51			
EEM	22	25	136	411	181	412	271	116			
DMS	79	89	478	1446	636	1448	953	408			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la hoja (%) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	60 ^{Aa}	50 ^{Aab}	53 ^{Aab}	36 ^{Ac}	44 ^{Abc}	41 ^{Abc}	41 ^{Abc}	47 ^A	0.0003	3	11
RSB	54 ^{Aa}	50 ^{Aab}	49 ^{Aabc}	40 ^{Adc}	41 ^{Abcd}	39 ^{Ad}	35 ^{Ad}	44 ^A	0.0004	3	9
\bar{x}	57 ^a	50 ^b	51 ^{ab}	38 ^c	42 ^c	40 ^c	38 ^c	45	<.0001	2	6
Sig.	0.4	0.9	0.1	0.3	0.6	0.6	0.6	0.5			
EEM	5	4	1	3	3	4	5	2			
DMS	18	16	3	10	12	15	18	7			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 9. Análisis de varianza del tallo (%) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	40 ^{Ac}	49 ^{Aabc}	47 ^{Aabc}	59 ^{Aa}	53 ^{Aab}	47 ^{Aabc}	48 ^{Abc}	49 ^A	0.013	4	13
RSB	38 ^{Ab}	45 ^{Aab}	47 ^{Aab}	58 ^{Aa}	54 ^{Aa}	56 ^{Aa}	49 ^{Aab}	50 ^A	0.023	5	16
\bar{x}	39 ^b	47 ^{ab}	47 ^{ab}	58 ^a	53 ^a	51 ^a	47 ^{ab}	49	0.007	4	12
Sig.	0.1	0.7	0.1	0.7	0.6	0.1	0.3	0.7			
EEM	2.8	0.7	1.0	3.8	4.0	3.7	5.7	2.1			
DMS	10	20	3	13	14	13	20	7			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 10 Análisis de varianza de la materia muerta (%) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	1 ^{Aab}	3 ^{Aab}	1 ^{Aab}	5 ^{Aab}	5 ^{Aa}	2 ^A	0.005	1.7	4.9
RSB	8 ^{Ba}	0 ^{Ab}	1 ^{Ab}	1 ^{Bab}	1 ^{Aab}	3 ^{Aab}	6 ^{Aab}	2 ^A	0.022	2.2	6.5
\bar{x}	3 ^{ab}	0 ^b	1 ^b	2 ^{ab}	1 ^b	4 ^{ab}	5 ^a	2	0.005	1.3	3.9
Sig.	0.15	0	0.15	0.05	0.97	0.61	0.68	0.81			
EEM	2.4	0	0.07	0.3	1.5	3.2	4.4	1.7			
DMS	8	0	0.2	1.0	5	11	15	6			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 11. Análisis de varianza de la maleza (%) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	1 ^{Aa}	1 ^{Aa}	0 ^{Aa}	2 ^{Aa}	1 ^{Aa}	6 ^{Aa}	3 ^{Aa}	2 ^A	0.42	3	10
RSB	0 ^{Aa}	4 ^{Aa}	2 ^{Aa}	1 ^{Aa}	2 ^{Aa}	1 ^{Aa}	9 ^{Aab}	3 ^A	0.69	6	18
\bar{x}	0.5 ^a	2.5 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	4 ^a	6 ^a	2	0.64	4	11
Sig.	0.47	0.68	0.20	0.65	0.88	0.33	0.36	0.03			
EEM	0.4	4	0.7	2	2	4	8	0.4			
DMS	1	17	2	6	8	15	29	1			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 12. Análisis de varianza de la inflorescencia (%) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	1 ^{Ab}	0 ^{Ab}	2 ^{Aa}	0.5 ^A	0.002	0.5	1.4
RSB	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	2 ^{Aa}	1 ^{Aab}	1 ^{Bab}	0.5 ^A	0.041	0.5	1.5
\bar{x}	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0.03 ^b	1.1 ^{ab}	0.6 ^{ab}	1.5 ^a	0.5	0.020	0.4	1.4
Sig.	0	0	0.5	0.5	0.2	0.1	0.06	0.7			
EEM	0	0	0.04	0.04	0.6	0.3	0.3	0.1			
DMS	0	0	0.1	0.1	2.2	1.1	1.3	0.6			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 13. Análisis de varianza de la hoja (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	86 ^{Ab}	123 ^{Ab}	231 ^{Ab}	987 ^{Aa}	1464 ^{Aa}	1165 ^{Aa}	1166 ^{Aa}	746 ^A	<0001	182	521
RSB	77 ^{Ac}	116 ^{Ac}	321 ^{Ac}	1250 ^{Aab}	1599 ^{Aa}	1119 ^{Aab}	851 ^{Bb}	762 ^A	<.0001	173	494
\bar{x}	81 ^c	119 ^c	276 ^c	1118 ^{cb}	1531 ^a	1142 ^{ab}	1008 ^b	753	<.0001	159	455
Sig.	0.1	0.3	0.4	0.5	0.1	0.4	0.1	0.6			
EEM	5	19	65	192	51	241	61	68			
DMS	18	69	230	675	181	850	215	240			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 14. Análisis de varianza del tallo (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	60 ^{Ab}	117 ^{Ab}	204 ^{Ab}	1618 ^{Aa}	1735 ^{Aa}	1337 ^{Aa}	1375 ^{Aa}	921 ^A	<.0001	271	776
RSB	54 ^{Ac}	105 ^{Ac}	306 ^{Ac}	1819 ^{Aa}	2125 ^{Aa}	1618 ^{Aab}	1164 ^{Bb}	1027 ^A	<.0001	211	603
\bar{x}	57 ^c	111 ^c	255 ^c	1719 ^{ab}	1930 ^a	1477 ^{ab}	1269 ^b	975	<.0001	205	586
Sig.	0.2	0.5	0.4	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1			
EEM	13	22	63	303	257	241	37	48			
DMS	45	77	223	1066	904	849	130	172			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 15. Análisis de varianza del material muerto (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades, de rebrote en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	3 ^{Ab}	70 ^{Aab}	40 ^{Aab}	129 ^{Aab}	164 ^{Aa}	58 ^A	0.008	51	146
RSB	12 ^{Ab}	0 ^{Ab}	5 ^{Ab}	44 ^{Bab}	54 ^{Aab}	78 ^{Aab}	115 ^{Aa}	44 ^A	0.031	35	102
\bar{x}	6 ^c	0 ^c	4 ^c	57 ^{abc}	47 ^{bc}	103 ^{ab}	139 ^a	51	0.001	30	86
Sig.	0.3	0	0.3	0.1	0.9	0.6	0.6	0.7			
EEM	6	0	1	6	55	63	107	3			
DMS	22	0	4	24	196	221	377	106			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 16. Análisis de varianza de la maleza (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	0.7 ^{Aa}	3 ^{Aa}	0 ^{Aa}	54 ^{Aa}	39 ^{Aa}	168 ^{Aa}	80 ^{Aa}	49 ^A	0.2	85	245
RSB	0.3 ^{Aa}	11 ^{Aa}	16 ^{Aa}	25 ^{Aa}	68 ^{Aa}	39 ^{Aa}	253 ^{Aa}	59 ^A	0.5	168	480
\bar{x}	0.5 ^a	6 ^a	8 ^a	39 ^a	53 ^a	103 ^a	166 ^a	53	0.4	106	305
Sig.	0.6	0.6	0.2	0.6	0.8	0.2	0.3	0.1			
EEM	1	12	7	44	95	105	236	16			
DMS	2	44	24	155	335	369	831	56			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 17. Análisis de varianza de la inflorescencia (kg MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	21 ^{Aab}	16 ^{ab}	67 ^a	15 ^A	0.02	19	56
RSB	0 ^{Ab}	0 ^{Ab}	0.2 ^{Ab}	1 ^{Ab}	67 ^{Aa}	22 ^{ab}	23 ^{ab}	16 ^A	0.04	22	64
\bar{x}	0 ^a	0 ^a	0.17 ^a	0.5 ^a	44 ^a	19 ^a	45 ^a	15	0.05	19	55
Sig.	0	0	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.6			
EEM	0	0	0.2	1	29	7	18	7			
DMS	0	0	1	4	103	2	65	24			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; P>0.05); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 18. Análisis de varianza de Relación Hoja:Tallo (R:H/T) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después de Rebrote (DDR)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	1.5 ^{Aa}	0.9 ^{Aab}	1.1 ^{Aab}	0.6 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.8 ^{Ab}	0.9 ^A	0.0108	0.2	0.6
RSB	1.4 ^{Aa}	1.1 ^{Aab}	1.1 ^{Abc}	0.7 ^{Ac}	0.8 ^{Abc}	0.7 ^{Ac}	0.7 ^{Ac}	0.9 ^A	0.0002	0.1	0.3
\bar{x}	1.4 ^a	1.0 ^{bc}	1.1 ^{ab}	0.6 ^c	0.8 ^{bc}	0.7 ^{bc}	0.7 ^{bc}	1.0	0.0005	0.1	0.4
Sig.	0.2	0.1	0.2	0.5	0.8	0.3	0.2	0.3			
EEM	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
DMS	0.8	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2	0.1			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro19. Análisis de varianza de la altura de la planta (cm) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDS)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	18 ^{Ae}	43 ^{Ad}	57 ^{Ac}	73 ^{Aa}	72 ^{Aab}	64 ^{Aabc}	63 ^{Bbc}	56 ^A	<.0001	3	9
RSB	16 ^{Ad}	40 ^{Ac}	60 ^{Ab}	76 ^{Aa}	73 ^{Aa}	69 ^{Aab}	73 ^{Aa}	58 ^A	<.0001	2	7
\bar{x}	17 ^e	41 ^d	58 ^c	74 ^a	72 ^a	66 ^b	68 ^b	56	<.0001	2	6
Sig.	0.1	0.4	0.2	0.4	0.9	0.6	0.03	0.5			
EEM	1	3	1	2	3.	6	1	2			
DMS	4	13	8	7	10	23	5	7			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.

Cuadro 20. Análisis de varianza de la radiación interceptada (%) de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Premium, con diferentes sistemas de riego, cosechada a diferentes edades de rebrote, en la estación de verano 2019.

Sistema de riego	Días Después del Rebrote (DDR)							\bar{x}	Sig.	EEM	DMS
	7	14	21	28	35	42	49				
RSP	58 ^{Ab}	98 ^{Aa}	99 ^{Aa}	98 ^{Aa}	98 ^{Aa}	97 ^{Aa}	97 ^{Aa}	92 ^A	<.0001	3	11
RSB	30 ^{Ab}	95 ^{Aa}	99 ^{Aa}	90 ^{Aa}	90 ^{Aa}	96 ^{Aa}	97 ^{Aa}	85 ^A	<.0001	7	21
\bar{x}	42 ^b	96 ^a	99 ^a	94 ^a	94 ^a	96 ^a	97 ^a	88	<.0001	3	10
Sig.	0.3	0.4	0.7	0.5	0.5	0.9	0.6	0.4			
EEM	14	2	1	10	10	2	1	4			
DMS	50	7	5	36	36	9	2	17			

Medias con la misma literal minúscula en cada hilera y con la misma literal mayúscula en cada columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$); EEM= Error estándar de la media; DMS = Diferencia Mínima Significativa; RSP = Riego Superficial; RSB = Riego subterráneo.