

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



**Dinámica de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad
Cuf-101 a diferentes edades de rebrote**

Por:

ROSA GUADALUPE VÁZQUEZ GALINDO

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para
Obtener El Título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, agosto del 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

**Dinámica de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad
Cuf-101 a diferentes edades de rebrote**

POR:


Rosa Guadalupe Vázquez Galindo

TESIS PROFESIONAL

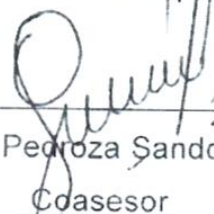
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA


Aprobada por:




Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Asesor Principal



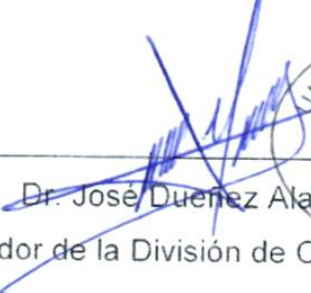
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval
Coasesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Coasesor



Dr. Josué Israel García López
Coasesor



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



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Agosto 2021

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, agosto de 2021.

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado “Dinámica de crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 a diferentes días de rebrote” 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.

Rosa Guadalupe Vázquez Galindo

Nombre

Firma

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada en la alimentación del ganado lechero. El objetivo de este estudio, fue determinar la curva de crecimiento de la alfalfa variedad Cuf-101, a diferentes días de rebrote (DDR) en la estación de verano. Se usó un diseño experimental de bloque al azar, con tres repeticiones. Se midieron las variables de rendimiento de forraje, composición botánica y morfológica, altura de planta, relación hoja: tallo, densidad de plantas, peso de tallo individual, peso de hoja por tallo e interceptación luminosa. A los 35 DDR, se presentó la mayor producción de forraje con 2.7 ton MS ha⁻¹ y el menor valor a los 7 DDR con 0.768 ton MS ha⁻¹. En la composición botánica y morfológica, aportaron en promedio el tallo un 50 %, seguida por la hoja, maleza, material muerto, e inflorescencia con 44, 2.3, 1.0 y 1.0 %, respectivamente. Similarmente, la aportación en ton MS ha⁻¹, fue de 1.0, 0.8, 0.4, 0.3 y 0.2, para el tallo, hoja, material muerto, inflorescencia y maleza, respectivamente. No obstante, la relación hoja: tallo es mayor a los 7 DDR con 1.5, y se reduce a los 42 y 49 DDR, con valores de 0.7 y 0.6, respectivamente. La menor altura se presentó en la semana uno de muestreo (7 DDR) con 19 cm, incrementándose hasta una mayor altura a los 28 (76 cm) y 35 (77 cm) DDR. Hasta los 21 DDR se registró la máxima densidad de plantas (99 plantas m²), y se redujo al final del estudio (49 DDR; 62 plantas m²). El peso por tallo se incrementó desde los 7, 14 y 21 DDR (0.3 g MS tallo⁻¹, promedio) hasta su máximo peso a los 49 DDR (1.2 g MS tallo⁻¹). La hoja tuvo un menor peso a los 7 y 14 DDR con 0.25 g MS hoja tallo⁻¹, promedio, hasta su máximo a los 28, 35 y 42 DDR con 0.7 g MS hoja tallo⁻¹, promedio. La especie interceptó un máximo de radiación a los 35 y 25 DDR, con la regla (96 %) y con el plato (98 %) respectivamente. La mejor edad de rebrote de la alfalfa variedad Cuf-101, en la estación de verano fue a los 35 días de rebrote, donde presenta su mayor productividad.

Palabras clave: Rendimiento de forraje, análisis de crecimiento, días de rebrote, y composición botánica-morfológica.

ABSTRAC

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the most widely used forage legume in dairy cattle feeding. The objective of this study was to determine the growth curve of the Cuf-101 variety alfalfa, at different regrowth days (DDR) in the summer season. A randomized block experimental design was used, with three replications. The variables of forage yield, botanical and morphological composition, plant height, leaf: stem ratio, plant density, individual stem weight, leaf weight per stem and light interception were measured. At 35 DDR, the highest forage production was presented with 2.7 ton DM ha⁻¹ and the lowest value at 7 DDR with 0.768 ton DM ha⁻¹. In botanical and morphological composition, the stem contributed an average of 50 %, followed by the leaf, weed, dead material, and inflorescence with 44, 2.3, 1.0 and 1.0 %, respectively. Similarly, the contribution in ton DM ha⁻¹ was 1.0, 0.8, 0.4, 0.3 and 0.2, for the stem, leaf, dead material, inflorescence and weeds, respectively. However, the leaf: stem ratio is greater than 7 DDR with 1.5, and is reduced to 42 and 49 DDR, with values of 0.7 and 0.6, respectively. The lowest height was presented in week one of sampling (7 DDR) with 19 cm, increasing to a greater height at 28 (76 cm) and 35 (77 cm) DDR. Up to 21 DDR the maximum density of plants was recorded (99 plants m²), and it was reduced at the end of the study (49 DDR; 62 plants m²). The weight per stem increased from 7, 14 and 21 DDR (0.3 g DM stem⁻¹, average) to its maximum weight at 49 DDR (1.2 g DM stem⁻¹). The leaf had a lower weight at 7 and 14 DDR with 0.25 g DM leaf stem⁻¹, average, until its maximum at 28, 35 and 42 DDR with 0.7 g DM leaf stem⁻¹, average. The species intercepted a maximum of radiation at 35 and 25 RDD, with the rule (96 %) and with the plate (98 %) respectively. The best regrowth age of the Cuf-101 alfalfa variety in the summer season was 35 days after regrowth, where it presents its highest productivity.

Keywords: Forage yield, growth analysis, regrowth days, and botanical and morphological composition.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quiero agradecer a mi padre Dios por la vida que me ha prestado, por darme fortaleza para levantarme y seguir en todo momento, gracias señor porque en ti encontré todo aquello que me hacía falta, por darme alas y así poder alcanzar mi sueño, viviré eternamente agradecida, gracias por darme la oportunidad de llegar hasta donde estoy.

A mis padres: **Adelina Galindo López y Samuel Vázquez López**; a ustedes por darme a manos llenas todo el amor y cariño para lograr mi sueño, por sacrificarse y brindarme una parte de sus vidas para ser una persona de provecho y por su apoyo incondicional que me brindaron durante mis estudios. A toda mi familia, mis hermanos Fátima, Nicole y Emmanuel, por ustedes soy y seré quien soy.

A mi ALMA TERRA MATER; por ser mi segundo hogar, que me brindo un techo y me dio refugio para salir adelante y por todos los bellos momentos que pase a tu lado, gracias UAAAN por ser la madre de mi profesión

Al Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez; por depositar su confianza en mí, por ser un ejemplo a seguir, por dedicarme el tiempo necesario para lograr y sacar adelante este trabajo de investigación, eternamente gracias por su paciencia, apoyo, dedicación, Dios me lo bendiga siempre.

A mis asesores de tesis, Dr. Antonio Flores Naveda, Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, Dr. Josué Israel García López, muchas gracias por su apoyo para la realización de este trabajo.

A mi amigo incondicional Jesús Lázaro Meneses León; a mis amigos y hermanos que mi Alma Terra Mater me regalo, que estuvieron conmigo en las buenas y malas, Rafael Moran Espinosa, Lourdes Guevara Jaime, Diana Elizabeth Moreno Hernández, ustedes mis amigos incondicionales y para toda la vida, amigos Gilberto Cabrera Arreola, Ángel Domínguez Velarde, Mariana Ugalde Landaverde, Octavio Avendaño, gracias infinitas por brindarme su amistad, apoyo incondicional y por todos los bellos momentos que pasamos juntos, de corazón muchas gracias.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Adelina Galindo López y Samuel Vázquez López por haberme dado la vida, por darme todo su apoyo incondicional, emocional y económico, a quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en una persona de provecho. A ustedes padres, que con su esfuerzo, trabajo y dedicación me han otorgado la herencia más valiosa que pudiese existir. Que por verme superar en la vida recibí de ustedes incondicionalmente cariño, comprensión, confianza y amor. Gracias mamá, gracias papá, por convertirme en la profesionista que ahora soy, gracias por sus enseñanzas y por guiarme siempre por el sendero correcto.

A MIS ABUELOS

Nicolás Galindo León, por tus cientos de preguntas, tus pláticas sobre las fases de la luna, porque crees en mí; Rosa López Acosta (+) mi abuela consentida, mi estrella inalcanzable, hasta el cielo y con amor te dedico mis logros, Aristeo Vázquez Sierra (+) y Guadalupe López Salas (+) a quienes la vida se les hizo muy corta para verme lograr esta meta en mi vida y que hasta el cielo les envié esta dedicatoria.

A MIS HERMANOS (AS)

Fátima Vázquez Galindo y Ayde Nicole Vázquez Galindo, ustedes la luz de mis ojos, por quien me esmero y pongo todo mi empeño, por ser su ejemplo a seguir ustedes a quienes les debo tantos momentos de alegría, con quienes he compartido tantas risas y enojos. Emmanuel Vázquez Galindo, mi prieto chulo, gracias por creer en mí siempre y por sentirte orgulloso de mí, en ninguna otra parte encontrare esos momentos de felicidad ni un amor tan grande que se compare con el de ustedes.

A JESUS LAZARO MENESES LEON

Por tu apoyo incondicional, que siempre sin pedir nada a cambio estuviste para mi apoyándome en todo momento, llevándome de aquí para allá, la ayuda que me brindaste fue y ha sido sumamente importante, estuviste conmigo inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso, muchísimas gracias.

A TODOS MIS FAMILIARES

Tíos, tías, gracias a todos los que creyeron en mí y a los que no también, por todos aquellos consejos que de corazón me decían, a mis primos, primas, sobrinos y sobrinas quienes me dan su cariño incondicional, que siempre hacen de mis días los más felices, a todos ustedes les dedico este éxito. Gracias a todos por creer en mí y siempre darme ánimos para continuar.

A MI UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por todos y cada uno de los bellos momentos que dentro de mi honorable institución viví, gracias por regalarme y ponerme en el camino personas increíbles con quienes conté hasta el final de mi carrera, me brindaste cobijo y una infinidad de experiencias.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes e importancia de la alfalfa	4
2.2. Descripción de la especie en estudio	6
2.2.1. Descripción taxonómica.....	6
2.2.2. Descripción morfológica	7
2.2.3. Variedades de alfalfa	8
2.3. Factores que afectan la productividad de una pradera de alfalfa	9
2.3.1. Densidad de plantas	9
2.3.2. Calidad del forraje.....	10
2.3.3. Suelo y salinidad del suelo	10
2.3.4. pH del suelo.....	12
2.3.5. Temperatura	12
2.3.6. Precipitación o disponibilidad de humedad.....	13
2.3.7. Plagas y enfermedades del cultivo de alfalfa.....	14
2.4. Factores que influyen en la capacidad de rebrote	15
2.4.1. Frecuencia e intensidad de cosecha	16
2.4.2. Reserva de carbohidratos.....	18
2.4.3. Índice de área foliar	19

2.4.4.	Meristemas de crecimiento	19
2.4.5.	Radiación solar e interceptación luminosa	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1.	Ubicación geográfica del área de estudio.....	22
3.2.	Diseño experimental y de tratamientos.....	23
3.3.	VARIABLES MEDIDAS	23
3.3.1.	Rendimiento de forraje	23
3.3.2.	Composición botánica y morfológica	24
3.3.3.	Relación hoja:tallo	24
3.3.4.	Altura de la planta.....	25
3.3.5.	Densidad de plantas	25
3.3.6.	Peso de tallo individual	25
3.3.7.	Peso de hoja por tallo	25
3.3.8.	Porcentaje de luz interceptada.	26
3.3.9.	Análisis estadístico	27
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1.	Rendimiento de forraje	28
4.2.	Composición botánica y morfológica	29
4.3.	Altura de planta.....	32
4.4.	Relación hoja:tallo (R:H/T).....	33
4.5.	Densidad de plantas	35
4.6.	Peso de tallo individual	36
4.7.	Peso hoja por tallo	38
4.8.	Interceptación luminosa.....	39

V.	CONCLUSIONES.....	42
VI.	LITERATURA CITADA	43
VII.	ANEXOS.....	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de alfalfa (kg MS ha ⁻¹) a nivel nacional en el 2019, ordenados de mayor a menor superficie sembrada (ha).....	5
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	7
Cuadro 3. Comportamiento de la producción de alfalfa en porcentaje, de acuerdo con la profundidad del suelo.	11
Cuadro 4. Plagas que se encuentran en alfalfares de la Región Lagunera.	15
Cuadro 5. Rendimiento de Materia Seca (RMS), Relación Hoja:Tallo, Altura de planta y Densidad de platas (DP), determinadas en una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.), variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.	54
Cuadro 6. Peso de hoja por tallo (PHT), Peso de tallo individual (PTI), interceptación Luminosa (IL) determinada con Regla y Barra light determinadas en una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.	55
Cuadro 7. Componentes morfológicos expresados en porcentaje (%) de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.	56
Cuadro 8. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en porcentaje (ton MS ha ⁻¹) de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima semanal registradas durante el periodo experimental (03 de agosto – 21 de septiembre del 2019). Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA UNAM) Observatorio Atmosférico.22
- Figura 2.** Rendimiento de forraje (ton de MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. RMS = Rendimiento de Materia Seca. Diferente literal minúscula entre corte son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).29
- Figura 3.** Cambios en la Composición botánica y morfológica (CBM) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferente edad de rebrote. Literales minúsculas diferentes en cada fila y mayúsculas diferentes en cada columna son diferentes estadísticamente.....31
- Figura 4.** Altura de planta (cm) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula entre cortes, indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). AP = Altura de planta.....33
- Figura 5.** Relación hoja: tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. R:H/T= Relación Hoja:Tallo. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).34
- Figura 6.** Número de plantas (m²) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. DP = Densidad de Plantas. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).36
- Figura 7.** Peso de tallo individual (g MS tallo⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. PTI= Peso de Tallo Individual. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).37

Figura 8. Peso hoja individual (g MS hoja⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).....39

Figura 9. Porcentaje de Radiación Interceptada (RI), de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferente edad de rebrote, determinada con el método de la regla (RI_R; Figura a) y de la barra light (RI_B; Figura b). Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). .41

I. INTRODUCCIÓN

La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas, cuyo nombre científico es *Medicago sativa* L. se trata de un cultivo muy extendido en los países de clima templado. Es la leguminosa más utilizada en la alimentación del ganado a nivel mundial, su importancia radica en su rendimiento y valor nutricional (Montes *et al.*, 2010). La alfalfa es el cultivo forrajero más antiguo que se conoce. Existen referencias de que se cultivaba hace al menos 5,000 años (Delgado *et al.*, 2015). La ganadería intensiva es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar al cultivo de la alfalfa, cuya finalidad es abastecer a la industria de piensos (INFOAGRO, 2021).

La alfalfa ocupa 36,000 ha, correspondiente al 57 % de la superficie sembrada en la Comarca Lagunera, la cual es la cuenca lechera más importante de México. Esta región, delimitada por varios municipios de los estados de Coahuila y Durango, cuenta con una población aproximada de 400,000 bovinos. La industria lechera de esta región genera 10,000 empleos directos y mil seiscientos millones de litros leche por año. Esta población de ganado demanda para su alimentación alrededor de 3,000,000 t de forraje verde anualmente, siendo la alfalfa la principal fuente de este insumo (Vázquez *et al.*, 2010).

El rendimiento, crecimiento y persistencia de la pradera, así como calidad del forraje dependen de la frecuencia e intensidad de defoliación por época del año. La frecuencia de corte determina el valor nutritivo y la morfogénesis del forraje, por lo que definir un esquema de manejo con base en la velocidad de acumulación de biomasa de la alfalfa es fundamental (Aparicio, 2004; Montes, 2016). Además, la edad de rebrote o tiempo de descanso de la pradera consecuentemente afecta la rentabilidad en la producción animal, particularmente en los sistemas de producción de leche (Rojas *et al.*, 2016).

Texeira *et al.*, (2007) mencionan que la frecuencia de defoliación modifica la tasa de mortalidad y sobrevivencia del rebrote al permitir el paso de la radiación a nivel de corona, lo que perturba la tasa de aparición y muerte de tallos, así como la fotosíntesis en las primeras hojas emergidas después de la defoliación. Así mismo, la

relación hoja: tallo y por consecuencia la calidad del forraje difiere con la madurez de la planta, el tiempo de recuperación entre cortes sucesivos, momento del rebrote, época del año y las condiciones ambientales (Gaytán *et al.*, 2019).

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Determinar la productividad de alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Cuf-101, evaluando estrategias y herramientas que permita conocer el punto óptimo de cosecha en la estación de verano, en el sureste del estado de Coahuila.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar semanalmente el crecimiento del cultivo de la alfalfa variedad Cuf-101, en base a variables productivas.
- Identificar la semana de mayor volumen de producción en términos de rendimiento de materia seca, con relación a su mejor comportamiento productivo, en función del aporte al rendimiento total de los componentes botánicos –morfológicos en la pradera.

1.2.HIPÓTESIS

- ✓ El rendimiento de biomasa seca aumenta a medida que avanza la madurez fisiológica de la planta de alfalfa y, cuando se aplica corte, esta se regenera e incrementa su rendimiento de forraje.
- ✓ El componente morfológico hoja tiene estrecha relación con la edad de la planta, conforme esta aumenta la hoja incrementa su aportación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes e importancia de la alfalfa

La alfalfa es originaria de Irán y Asia Menor y es una de las especies más utilizadas como forraje en el mundo, con aproximadamente 32 millones de ha cultivadas; Estados Unidos y Argentina, con 16 millones de ha, tienen la mayor superficie sembrada. A principios de la década de 1920, el rendimiento de alfalfa aumento, principalmente en California, incremento equivalente a 500 kg por acre (1.1 Mg ha^{-1}), por década (Putnam *et al.*, 2007). Esta especie fue introducida a América del Sur en el siglo XVI, por los portugueses y españoles y en 1870 a Perú, México y Estados Unidos, por misioneros españoles (Bouton, 2001; Muslera y Ratera, 1991 citados por Cadena, 2009).

Esta especie es cultivada en nuestro país desde el siglo XVI y era ocupada principalmente tanto para alimentar al ganado bovino lechero, como para elaborar alimentos balanceados para otros animales. La alfalfa es una especie forrajera que se introdujo a México por los españoles durante el período de la conquista. Su centro de diversidad primario se localiza en Asia central, en la zona montañosa del Cáucaso, el noroeste de Irán y el noreste de Turquía. Actualmente, esta leguminosa se siembra desde el norte hasta el sureste de México. La producción de forraje de alfalfa es la base para la industria lechera en el Norte de México.

Esta leguminosa presenta varias características que han hecho que su demanda y la superficie sembrada se incrementen año tras año (Lara y Jurado, 2014). Es conocida como la Reyna de los forrajes, porque sus raíces son muy profundas, lo que la hace una planta muy resistente a las sequías y le permite obtener nutrientes que no siempre están disponibles en la superficie del suelo. La historia reciente sugiere que los esfuerzos de investigación para mantener y mejorar la contribución de la alfalfa deben fortalecerse, en respuesta a los nuevos problemas y oportunidades que surgirán con la tendencia anticipada a sistemas de producción agrícola más intensivos (Michaud *et al.*, 1988).

Cuadro 1. Producción de alfalfa (kg MS ha⁻¹) a nivel nacional en el 2019, ordenados de mayor a menor superficie sembrada (ha).

Entidad	Superficie sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton ha ⁻¹)	Valor de la producción (miles de pesos)
Hidalgo	44,240.00	4,581,009.55	103.55	1,464,422.18
Guanajuato	44,234.50	3,699,650.20	83.64	2,537,740.50
Durango	30,950.10	2,754,806.77	89.01	1,766,506.04
Coahuila	20,072.45	1,620,744.54	80.74	1,154,647.07
Puebla	19,009.95	1,565,182.65	82.33	745,477.66
Zacatecas	16,168.50	1,424,824.40	88.12	820,486.02
San Luis Potosí	15,414.50	1,857,772.87	120.52	1,288,424.40
Querétaro	7,019.00	557,863.64	79.48	376,507.17
Jalisco	6,594.95	614,689.12	93.21	341,365.22
México	6,051.02	512,209.32	84.68	162,788.42
Michoacán	5,684.85	375,941.57	66.13	290,626.89
Sinaloa	5,601.59	340,035.32	60.70	188,395.58
Aguascalientes	5,325.57	523,026.93	98.21	361,079.66
Oaxaca	3,060.85	230,998.36	75.47	101,281.93
Tlaxcala	2,605.00	182,347.16	70.00	131,795.17
Nuevo León	2,482.70	155,816.80	62.76	103,347.41
Veracruz	231.00	10,844.00	46.94	7,097.82
Morelos	127.00	11,093.00	87.35	10,466.34
Nayarit	74.00	3,119.00	42.15	2,127.01
Guerrero	13.30	758.36	57.02	692.21
Cd. México	5.00	401.92	80.38	386.59
TOTAL	234,966	21,023,135	79	11,855,661

Fuente: SIACON-SIAP-SAGARPA, 2019.

En México el cultivo de la alfalfa, se concentra en las cuencas lecheras de Durango, Coahuila, Hidalgo, Estado de México, Puebla, entre otras. Comparativamente con otros cultivos perennes, la alfalfa, después de los pastizales y praderas, es la fuente forrajera más importantes como alimento para el ganado lechero, considerando las necesidades de leche que demanda la población nacional (Cadena 2009). A nivel nacional, los cultivos forrajeros con mayor participación son, la avena forrajera con 763 mil has y con un valor económico de \$3, 448, 292 MXN. La alfalfa, prácticamente, participa en un segundo término con 377 mil has con valor económico de \$9, 400, 017 MXN. En el Estado de México, región del Bajío, Hidalgo y Querétaro, se ubica la mayor parte de las unidades de producción lechera que dependen mayormente de la alfalfa (SAGARPA, 2008).

El Estado de Hidalgo es el segundo productor de alfalfa a nivel nacional, aportando más de 4.5 millones de toneladas, y es la región del Valle del Mezquital la de mayor producción, se comercializa como forraje para el alimento del ganado y genera un valor de producción de 1,464 millones de pesos, se cosecharon 44,240 hectáreas en el año 2019, siendo en los meses de junio a septiembre donde se generó la mayor producción (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, 2020). La producción total fue de 21, 023, 135 ton, con un valor de \$11,855,661 MXN. De acuerdo con SIAP, en 2018 las exportaciones nacionales del forraje se comercializaron principalmente con Estados Unidos y Emiratos Árabes Unidos, mismos que adquirieron 89.2 % y 10 % del volumen exportado, respectivamente.

2.2. Descripción de la especie en estudio

2.2.1. Descripción taxonómica

La alfalfa es una especie que se adapta a una gran variedad de climas, encontrándose praderas de este forraje en altitudes comprendidas 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 y Cadena, 2011).

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Reino	Vegetal
División	Magnoliophita
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoidae
Tribu	Trifolieae
Genero	<i>Medicago</i>
Especie	<i>Sativa</i>

Fuente: Delgado (2015).

2.2.2. Descripción morfológica

La alfalfa es una especie herbácea perenne que va de una altura de 50 y 90 cm. La raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5 m. de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos (Espinoza y Ramos *et al.*, 2001). Los tallos son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto, es una planta muy adecuada para la siega. Además, los tallos de la alfalfa son herbáceos, delgados, erectos, muy ramificados, y suelen alcanzar una altura de 60 a 90 cm; puede haber de 5 a 25 o más tallos por planta que nacen de la corona leñosa de donde brotan nuevos tallos cuando los viejos maduran o son segados (Viteri y Vitaliano, 2019).

Sus hojas son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados. Los folíolos adoptan distintas formas más o menos oblongas y anchas. A lo largo del tallo también varían de tamaño y de forma. La flor característica de esta familia es la de la subfamilia *Papilionoidea*, son de color azul o púrpura, con inflorescencias en racimos que nacen en las axilas de las hojas. En cuanto a su conformación, son un gran estandarte con

dos alas mayores que la quilla (Del Pozo, 1983 citado por Callejas, 2007). El fruto es una legumbre indehisciente sin espinas largas, enrollada en espiral que da de 3 a 5 vueltas. Contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm de longitud (500 granos por gramo). La semilla es muy dura y con pocas reservas de nutrientes por lo que sus sistemas de producción de nutrientes tienen que empezar de inmediato desde la siembra o desde el primer riego hasta los quince días después (Domínguez, 2015).

2.2.3. Variedades de alfalfa

La decisión más importante que un productor de forraje tiene que tomar, es la elección de la o las variedades las cuales presenten la mejor adaptación y que reúnan los requerimientos nutricionales del animal. Se han realizado varias pruebas para evaluar su comportamiento en diferentes regiones del mundo, debido a que el rendimiento y calidad de las leguminosas forrajeras son afectados fácilmente por factores ambientales. Es indudable que, para aproximarse al potencial productivo, el productor deberá complementar las buenas características varietales con un adecuado sistema de manejo del cultivo (Rebuffo *et al.*, 2000).

Así mismo, la producción de semilla de alfalfa es inadecuada para satisfacer la demanda en México. Por lo tanto, aunque hay ecotipos locales derivados de alfalfas españolas (Oaxaca, Atlixco, San miguelito), la mayoría de la semilla es importada de Estados Unidos de América. Debido a la importancia de la producción invernal, los cultivares usados no tienen dormancia o tienen semidormancia (la dormancia es de 8 a 10). Moapa 69 y Cuf 101, dos variedades de E.U.A. han sido usadas ampliamente en el pasado. En informes sobre evaluaciones de cultivares, las nuevas introducciones a menudo superan en rendimiento las variedades elegidas como testigos (Cuf-101 y Moapa 69, en la mayoría de los casos).

Algunas variedades de alfalfa recomendadas para la región templada y semiárida de México han sido seleccionadas por su alto rendimiento, longevidad, calidad de forraje, además de ser capaces de producir en el invierno pues tienen un nivel de dormancia entre 8 y 9, por lo que las hacen más redituables el suministro del

agua de riego (Espinosa y Ramos, 1997); Cuf-101, El Camino, SW-14, Excelente, NK 819, Mesa Sirsa, Suprema, Cóndor, Atoyac, San miguelito y Moapa 69, las cuales tienen un potencial de producción entre 100 a 110 toneladas de forraje verde por hectárea al año, que equivalen aproximadamente a 22 toneladas por hectárea de forraje seco de buena calidad, con un promedio de 10 cortes por año (Ayala *et al.*, 2006).

2.3. Factores que afectan la productividad de una pradera de alfalfa

El promedio de vida útil de los alfalfares se registra entre los 7 y 8 años, con buenas prácticas de manejo. En la actualidad su persistencia se ha reducido a la mitad, es decir de 3 a 4 años, lo que ha incrementado el costo de mantenimiento de una hectárea de alfalfa, lo mismos que dan una pérdida económica significativa para quienes cultivan esta especie (Viteri y Vitaliano, 2019).

2.3.1. Densidad de plantas

El incremento en el área foliar en el tiempo depende de la densidad de plantas, del número de tallos por planta, del desarrollo del tallo y de la expansión individual de cada hoja. La densidad de plantas presentes afecta la disponibilidad de luz. Al incrementarse la densidad de plantas, puede haber sombreado entre las mismas afectando la entrada de luz al dosel, lo que afectaría la morfogénesis y expansión del área foliar. El desarrollo de ramas y el número de brotes por planta son los componentes del área foliar más afectados por la disponibilidad de luz. En alfalfa, la competencia lumínica severa afecta el desarrollo del eje primario y la demografía de las plantas de alfalfa bajo alta competición lo que afecta el rendimiento de biomasa foliar (Baldissera *et al.*, 2014).

2.3.2. Calidad del forraje

Los factores ambientales influyen en la calidad y cantidad del forraje de corto y largo alcance, que caracterice a la zona que se utilice. El lugar, manejo, estado de crecimiento, estación, variedad y características de cada planta influyen sobre la interrelación del rendimiento y calidad (Elliot *et al.*, 1972). Los rendimientos elevados casi siempre corresponden al forraje maduro, alto, cuyo contenido de fibra y lignina es generalmente elevado, en tanto que el de proteína es bajo, también con la madurez disminuye la digestibilidad. Una limitación que afecta la capacidad productiva del cultivo es la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio (Figueroa *et al.*, 2002).

En el caso de la alfalfa, destaca por su elevada riqueza en proteínas y minerales, en comparación con otras especies forrajeras, aun cuando su fibra es relativamente abundante, especialmente en los tallos, por lo que la calidad nutritiva se centra en las hojas, con un promedio de proteína entre 10.7 y 24; por ello, en la práctica, es necesario considerar la relación hoja: tallo, ya que varía según la fase de desarrollo en que la planta se encuentre (Callejas, 2007). Las hojas son más abundantes en la fase vegetativa y disminuyen conforme progresa la fase reproductiva. También se ha comprobado hay preferencia o apetencia por el ganado lechero, de la hoja respecto al tallo, aun entre variedades de una misma especie debido, principalmente a la cantidad de carbohidratos solubles y a la digestibilidad del forraje (Smit *et al.*, 2006).

2.3.3. Suelo y salinidad del suelo

Aunque la alfalfa se cultiva en una amplia gama de suelos, esta requiere suelos profundos y bien drenados. Los suelos con menos de 60 cm. de profundidad no son aconsejables para la alfalfa. Requiere espacios suficientes para extender y desarrollar sus abundantes raíces, ya que se ha determinado que la profundidad del suelo tiene un efecto directo sobre el rendimiento de esta especie forrajera (Baguet, 2001).

Cuadro 3. Comportamiento de la producción de alfalfa en porcentaje, de acuerdo con la profundidad del suelo.

Profundidad del suelo (cm)	Producción (%)
Mayor de 60	100
De 40 a 60	80
De 30 a 40	77

Fuente: Espinosa y Ramos (2001).

Los mejores suelos son de textura franco arenosa a franco arcillosa y los peores son de textura arenosa o arcillosa. En terrenos muy pesados o 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 (Espinosa y Ramos, 2001). La alfalfa es muy sensible a la salinidad, cuyos síntomas comienzan con la palidez de algunos tejidos, la disminución del tamaño de las hojas y finalmente detiene su desarrollo vegetativo, con el consiguiente achaparrado.

El incremento de la salinidad induce desequilibrios entre la raíz y la parte aérea. En el noreste de Chihuahua, noreste de Sonora, norte de Coahuila, La Región Lagunera, Aguas Calientes, Jalisco, Hidalgo y Guanajuato, se tienen problemas de salinidad que limitan el potencial productivo de la alfalfa (Santamaría *et al.*, 2004). Es por esto que la salinidad en las plantas limita la absorción de agua, debido a las diferencias en la presión osmótica entre la raíz y en la rizófora de esta. Si se da un aumento en la salinidad del suelo, esto produce en las plantas un desequilibrio entre la raíz la parte aérea, por lo cual las plantas que poseen un mayor desarrollo de raíces tienden a ser más resistentes a la salinidad, ya que las raíces alcanzan diferentes profundidades en los suelos, donde ésta ya no juega un papel importante por lo que resulta más tolerable (Carmona, 2021). Por lo tanto, se considera que la alfalfa tiene tolerancia a la presencia de salinidad en el suelo y en el agua, una excesiva presencia de sales y alcalinidad con pH mayor de 9.5 afecta la germinación y la producción de materia verde (Zhang *et al.*, 2017).

2.3.4. pH del suelo

Uno de los factores más limitante en el cultivo de la alfalfa es la acidez del suelo, excepto en la germinación, pudiendo ser de hasta pH 4. El pH óptimo del cultivo es de 7.2, recurriendo a encalados siempre que el pH baje de 6.8, además los encalados contribuyen a incrementar la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducir la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa (Domínguez, 2015). Existe una relación directa entre la formación de nódulos y el efecto del pH sobre la alfalfa. La bacteria nodulante de la alfalfa es *Rhizobium meliloti*, esta especie es neutrófila y deja de reproducirse por debajo de pH 5. Por tanto, si falla la asimilación de nitrógeno la alfalfa lo acusa (Culto, 1986; citado por Bejar y Valdez, 1998).

2.3.5. Temperatura

En el establecimiento, la semilla de alfalfa germina a temperaturas de 2-3 °C, no obstante, en cuanto mayor sea la temperatura mayor será la germinación. siempre que las demás condiciones ambientales lo permitan, principalmente la humedad. A medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida hasta alcanzar un óptimo a los 28-30 °C. Temperaturas superiores a 38 °C resultan letales para las plántulas (Carulla y Narváez, 1996). Durante el desarrollo productivo del cultivo, las plantas, en invierno detienen su crecimiento y lo reinician al llegar los meses de altas temperaturas en primavera y verano, donde encuentran condiciones más favorables para desarrollarse (Muslera y Ratera, 1991).

No obstante, existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas (-10 °C.). La temperatura media anual para la producción óptima de forraje, está en torno a los 15 °C, siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades, de 18-28 °C. Smith y Marten (1970) mencionan que los mayores rendimientos de alfalfa se obtienen a una temperatura promedio de 21 °C durante el día y 15 °C por la noche, ya que temperaturas mayores o menores a estas, causan una reducción en el crecimiento y producción de forraje.

2.3.6. Precipitación o disponibilidad de humedad

Se le considera a la alfalfa como una planta muy resistente a la sequía; sin embargo, eso no significa que no requiera de importantes cantidades de agua para su adecuado desarrollo y producción. En climas frescos requiere de 450 a 500 milímetros anuales, mientras que en climas cálidos, áridos y desérticos este límite se eleva hasta los 1200 y 1400 milímetros de agua anualmente (Duarte, 2002). El aporte de agua en caso de riego por inundación es de $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En riego por aspersión será de $880 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (INFOAGRO, 2021).

El exceso de agua por lo general se presenta en suelos mal drenados y en época de lluvias, causa anoxia en las raíces de las plantas afectando la respiración aerobia, disminuyendo la asimilación y distribución de carbono, la absorción de minerales y en consecuencia provoca una menor producción de biomasa (Baruch, 1994). Así mismo, el exceso de lluvia y saturación de humedad en el suelo, propicia el desarrollo de plagas y enfermedades de la raíz, que puede provocar una baja producción de alfalfa o incluso la muerte de plantas (Islas, 1972). La cantidad de agua aplicada depende de la capacidad de retención de agua por el suelo, de la eficiencia del sistema de riego y de la profundidad de las raíces. En primavera las demandas de agua son escasas; las pérdidas de agua son sólo excesivas durante los periodos en que las tasas de evaporación son altas y las tasas de crecimiento bajas (INFOAGRO, 2021).

En investigaciones realizadas con respecto a la utilización del agua en la producción de alfalfa, se ha reportado que es necesaria una lámina de riego de 1.4 a 1.5 m por año, con rendimientos entre $14 \text{ y } 16 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con base a peso seco (Godoy *et al.*, 1998). Sin embargo, 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 (Camp *et al.*, 2000).

En los últimos años se ha trabajado para adoptar nuevas tecnologías, como la llamada sistema de riego por goteo subsuperficial (RGS), que se define como la forma de aplicar agua a los cultivos en forma subterránea mediante emisores con gastos

uniformes, que reducen 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. El sistema de riego por goteo, evita la saturación del agua en el suelo y el estrés por déficit de humedad al cultivo antes de la aplicación del siguiente riego. Estas condiciones son comunes cuando los cultivos se riegan con el método de riego por inundación de agua o también llamado riego superficial (Camp, 1998). El déficit de humedad, provoca un cierre estomático, reduciendo por lo tanto la transpiración y asimilación de CO₂, originando como consecuencia, una menor producción de materia seca (Clark y Smajstrla, 1996). Con el riego por goteo subterráneo, se dispone de humedad a profundidades de 0-60 cm, en la que se ha observado que hay una mayor cantidad de raíces a 30 cm. Con este, también se logra disminuir la pérdida de agua por evaporación y es una opción para producir forraje con poca disponibilidad de agua (Wang *et al.*, 2018).

2.3.7. Plagas y enfermedades del cultivo de alfalfa

En el cultivo de alfalfa, las plagas más comunes que la afectan son los áfidos (pulgón verde y pulgón manchado) y el gusano soldado (Baguet y Bavera, 2001). Las enfermedades de la alfalfa causan deterioro y muerte de las plantas y generan pérdidas económicas; sin embargo, su ocurrencia y severidad depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y del manejo que se dé al cultivo. Desde el punto de vista económico existen pocas opciones para el control de enfermedades, por lo tanto, es recomendable seleccionar variedades resistentes a los patógenos (Delgado, 2015).

Las enfermedades de la alfalfa se clasifican en foliares y de la raíz (Del Pozo, 1983); éstas últimas son las más dañinas para la planta y la reducción en el rendimiento al tercer año se le podría atribuir a una infestación por *Phytophthora* de la raíz. Algunas enfermedades de la raíz son causadas por bacterias y hongos que producen marchitez (*Phytophthora megasperma*), pudrición de la corona (*Fusarium oxysporum*) y pudrición de la raíz (*Verticillium alboatrum*) (Espinoza y Ramos, 2001).

Cuadro 4. Plagas que se encuentran en alfalfares de la Región Lagunera.

Nombre común	Nombre científico
Pulgón verde	<i>Acyrtosiphon pisum</i>
Pulgón manchado	<i>Therioaphis maculata</i>
Gusano soldado	<i>Spodoptera exigua</i>
Gusano verde de la alfalfa	<i>Colias philodice</i>
Chicharrita verde de la alfalfa	<i>Empoasca fabae</i>
Trips	<i>Frankliniella occidentalis</i>
Barrenador de la raíz	<i>Epicaerus aurifer</i>
Chinche lygus	<i>Lygus spp.</i>

Fuente: Ramírez y Nava (2000).

Estas causan deterioro y muerte de las plantas y generan pérdidas económicas; sin embargo, su ocurrencia y severidad depende principalmente de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y del manejo que se dé al cultivo. Desde el punto de vista económico existen pocas opciones para el control de enfermedades, por lo tanto, es recomendable seleccionar variedades resistentes a los patógenos. Para el caso de las enfermedades foliares su control químico no es recomendable, ya que al suministrar forraje con insecticidas a los animales estos pueden ser dañados, por lo que una medida práctica para el control de las plagas consiste en realizar cortes prematuros, debido a que así se reduce su proliferación (Espinoza y Ramos, 2001).

2.4. Factores que influyen en la capacidad de rebrote

La importancia de conocer la forma en que se comporta el rebrote de una especie, es para entender el grado de persistencia de la pradera a través de los años. Esto conlleva a conocer la posibilidad de que una pradera presente un máximo en producción de materia seca por unidad de superficie, ya que se obliga a la planta a producir más de una fase lineal. La limitante del rebrote son las primeras fases de la curva de acumulación de forraje, ya que, si la planta o el rebrote no superan estas fases, puede morir y, por tanto, la producción de forrajes disminuye (Lemaire, 2001).

La reducción instantánea de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas son sujetas a defoliación. Sí, además, la cantidad y tipo de tejido removido son afectados, la capacidad de rebrote será también afectada negativamente. Sí las condiciones ambientales son las adecuadas, se puede influir de manera positiva la velocidad de rebrote, definiendo éste como el período de tiempo que requiere la planta para llegar al nivel de biomasa que tuvo antes de la cosecha o remoción del tejido (Briske y Richards, 1993). Así, también, se puede influir en el potencial de rebrote, que determina cuanto tiempo tarda la planta en ser cosechada nuevamente y que varía dependiendo de la especie forrajera. La respuesta de la planta a la defoliación, puede considerarse como metas de restauración y mantenimiento de patrones de crecimiento homeostático, cuando todos los recursos se utilizan en forma balanceada, para lograr el crecimiento óptimo de la planta (Mendoza, 2008).

2.4.1. Frecuencia e intensidad de cosecha

La velocidad del rebrote entre defoliaciones o cortes sucesivos, ayuda a entender el efecto de la frecuencia e intensidad de cosecha, sobre el rendimiento de la biomasa aérea. La frecuencia de cosecha o también llamada severidad de defoliación, determina la cantidad o el porcentaje de biomasa cosechada con respecto a la cantidad total de forraje presente. También, se entiende por frecuencia de corte al intervalo de tiempo que ha pasado entre un corte y otro, o el número de cortes que se efectúan en un tiempo determinado, ya que estos establecen el rendimiento de forraje por unidad de superficie (Mendoza *et al.*, 2010). De acuerdo con Mendoza (2008), al realizar la cosecha con intervalos de corte muy reducidos provoca una disminución en las especies deseables, y una invasión por maleza.

En contraste, a mayor frecuencia de defoliación, alrededor de 84 días, se presenta un incremento del rendimiento de materia seca, sin embargo, se presenta mayor senescencia de hojas, lo que puede corresponder a mayores alturas de planta cercanos a los 65 cm (Ta *et al.*, 2020). Los órganos de la planta que se dañan inicialmente al efectuar un corte son: nódulos> raíces> brotes. Así mismo, un fotoperiodo de 11.4 h, retrasa la floración e incrementa la proporción de hojas de 21.0

a 32.4 %. El follaje obtenido del corte a las seis semanas presenta un alto contenido de nitrógeno de la hoja (3.5-5.3 %) en comparación con el tallo (0.6-1.7 %), lo que proporciona una producción de forraje de buena calidad (Richards, 1993). Diversos estudios en leguminosas indican que una forma de incrementar el rendimiento de biomasa aérea es aplicando cortes sucesivos al follaje para promover el rebrote al eliminar la dominancia apical (Dun *et al.*, 2006). Al respecto, en estudios de crecimiento foliar en gramíneas y leguminosas se ha observado que los cortes sucesivos en una pradera influyen en el rendimiento de la biomasa aérea, el cual se incrementa conforme avanza la edad del rebrote (Birbiesca *et al.*, 2002).

Para el caso de la alfalfa, para efectuar el corte, deberá existir un balance entre calidad, rendimiento y duración de la pradera; por lo que, los cortes varían entre etapas fenológicas relacionando muy estrechamente con las condiciones climáticas que perseveran en cada estación del año (Espinoza y Ramos, 2001). La alfalfa, siendo la leguminosa más conocida en zonas templadas para la alimentación animal, su frecuencia de corte se define estacionalmente, con base en la velocidad de crecimiento de la planta, para lograr los máximos rendimientos anuales de forraje y mantener su persistencia; en primavera – verano los cortes se efectúan cada 28 d, otoño 35 d e invierno cada 42 días entre cortes (Aparicio *et al.*, 2006).

Hernández-Garay y Martínez (1997), consideran importante establecerla frecuencia de corte para las diferentes estaciones del año, debido a que la velocidad de crecimiento de forraje es estacional, por lo que las tasas de crecimiento serán diferentes y por consiguiente afectan directamente el rendimiento de forraje. 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 índice de área foliar remanente, indispensables para iniciar un nuevo rebrote (Ta *et al.*, 2020). En leguminosas como la alfalfa, en la que los meristemas apicales permanecen al alcance del corte o pastoreo, durante una gran parte del período 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 (Del Pozo 1983; Baguet y Bavera, 2001).

2.4.2. Reserva de carbohidratos

Los primeros en definir las reservas de carbohidratos fueron Graber *et al.*, (1927), al mencionar que están constituidos por aquellos carbohidratos y compuestos nitrogenados elaborados, almacenados y utilizados por la planta como alimento para mantenimiento y desarrollo de hojas y raíces. Esos carbohidratos llamados “carbohidratos disponibles totales” son aquellos utilizados para proporcionar energía a la planta (Weinmann, 1947). Inmediatamente después de una defoliación moderada a severa la planta inicia una fase transitoria con variación en sus patrones de disponibilidad y distribución de C y nutrientes, para reestablecer el balance previo existente entre el tallo y la raíz; así la disponibilidad de recursos modifica la prioridad de asignación, pues pueden alterar la relación raíz: parte aérea y la magnitud de los recursos entre estos órganos (Briske *et al.*, 1996).

De acuerdo con Richards (1993) las reservas de carbohidratos, la cantidad y tipo de tejidos removidos (tejido remanente y meristemas de crecimiento), son los factores más importantes, que determinan el impacto de la defoliación en la planta y las características que regulan la posterior recuperación. Los carbohidratos de las plantas se dividen en dos grupos: estructurales y no estructurales. Los primeros forman parte de la pared celular y entre éstos se encuentran la celulosa, la hemicelulosa y pectina. Los segundos como glucosa y fructosa, disacáridos como sacarosa y maltosa y polisacáridos como almidones y fructosanos se almacenan en órganos vegetativos como raíces, rizomas, estolones, coronas y parte inferiores del tallo, también llamados carbohidratos de reserva (Smith, 1972).

El rebrote en las plantas forrajeras se ha atribuido, principalmente, a los carbohidratos no estructurales; sin embargo, se ha observado la movilización específica de componentes de N del tejido residual, después de la defoliación, a zonas de crecimiento en varias especies forrajeras (Volenc *et al.*, 1996). La cantidad de carbohidratos de reserva usados en el 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 (Viteri y Vitalino, 2019).

2.4.3. Índice de área foliar

Al respecto, se ha indicado que conforme se aumenta el índice de área foliar (IAF) se incrementa la cantidad de luz interceptada, y con ello, la tasa de crecimiento (Sage y Kubien, 2007). Se ha demostrado en diversos estudios que la mayor área foliar se registra cuando se cosecha a 6 y 8 semanas, en comparación con la cosecha a 4 semanas. Por tanto, los cortes frecuentes disminuyen la capacidad de rebrote, la altura de la planta, su área foliar y rendimiento de forraje (Mendoza *et al.*, 2010).

Hodgson (1990), define el índice de área foliar (IAF) como la relación entre la superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. Cuando prácticamente toda la luz incidente es interceptada, la tasa de crecimiento es máxima y el IAF es el óptimo. Puede ocurrir que la superficie de hojas sea excesiva. Rojas (2011) menciona que el ambiente afecta el crecimiento y desarrollo de la hojas, a su vez adopta más importancia, si se considera que algunas características de la hoja, se relacionan con su capacidad fotosintética, ya que la fotosíntesis declina con la edad de la hoja, después de su expansión total y el peso de la hoja está influenciado por la intensidad de la luz y ésta cambia según las condiciones ambientales; así mismo, existe una alta correlación entre el peso específico de la hoja y la fotosíntesis y éstas cambian con variaciones en la intensidad de luz, en todos los estados de madurez.

2.4.4. Meristemas de crecimiento

El rebrote rápido se debe a la presencia de regiones meristemáticas activas de los tallos, que permanecen en la planta después de una defoliación, lo cual acelera la expansión foliar (Briske, 1991). Los meristemas son regiones celulares de las plantas, formados por células que, perpetuamente, son embrionarias, pero cuya multiplicación y diferenciación se forma del resto de los tejidos. Se pueden distinguir entre meristemas primarios, de los que depende el crecimiento en longitud y meristemas

secundarios, que producen engrosamiento de los tallos y raíces (Rojas, 1993). Sin embargo, la activación de las zonas meristemáticas está influenciada por el balance entre auxinas y citoquininas y, dependiendo del balance, se va a inducir la formación de hojas jóvenes, que son capaces de producir auxinas, necesarias para promover el desarrollo de nuevo tejido foliar y radicular (Bidwell, 1979).

El meristemo, afirma Bidwell (1979), generalmente, está rodeado de hojas y el meristemo apical contiene un número de células relativamente pequeño que da origen, por división celular, a todas las demás células de la porción aérea de la planta, por lo que la mayoría de estos meristemos apicales contienen dos zonas principales: la túnica que da origen al tejido epidérmico y el cuerpo, que origina la masa de tejido interno de tallos y hojas. La velocidad de rebrote, se considera una característica distintiva de las especies tolerantes a la defoliación; entre las características más importantes se consideran a los meristemos activos de tallos remanentes (Del Pozo, 1983).

Si la cosecha se realiza muy cercana al suelo, las especies rastreras se favorecen en relación a las erectas, pero si la cosecha no es cercana al suelo son las especies erectas las que responden más rápido. Esto se ha atribuido a que, conforme van creciendo las plantas los puntos de crecimiento se alejan del suelo, lo que origina que la recuperación sea más favorecida por las reservas almacenadas, que por el área foliar, lo cual no sucede en pastos rastreros en los que es más difícil efectuar una cosecha, que implique dejar sin área foliar remanente a la pradera (Richards, 1993).

El potencial para rebrotar de las plantas forrajeras es modificado por factores ambientales y el potencial genético (Hernández-Garay, *et al.*, 2012). En particular, la capacidad de rebrote de las gramíneas forrajeras perennes reactiva la reproducción vegetativa a partir del tejido meristemático localizado en la base de los tallos, en tanto que, en las leguminosas, el rebrote depende del tejido meristemático localizado en la base de los entrenudos. En ambos casos, la reactivación de este tejido está influenciado por las fitohormonas, como auxinas y citoquininas (Tomlinson y O'Connor, 2004).

2.4.5. Radiación solar e intercepción luminosa

Varios investigadores (Rojas *et al.*, 2016; Sage y Kubein, 2007) han indicado que según aumenta el índice de área foliar, incrementa la cantidad de luz interceptada y, con esto, la tasa de crecimiento y altura de la planta. Con el aumento en el área foliar se tiene una mayor intercepción de luz; pero, las hojas en los estratos inferiores reciben menor calidad de luz, por lo que provocan reducción en el crecimiento y en la tasa de asimilación neta; por ello, el mayor rendimiento de los forrajes coincide con el mayor índice de área foliar y altura de la planta (Ayala *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2016; Galvis *et al.*, 2001).

Al respecto, algunos autores en especies templadas, y en gramíneas tropicales han observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95 % de intercepción luminosa y está relacionado con la mayor aportación de hojas al rendimiento, y es el punto óptimo de crecimiento donde existe poca acumulación de material muerto (Wilson *et al.*, 2017; Berone, 2016; Silva 2007).

Por otra parte, Teixeira *et al.*, (2008) y Hernández *et al.*, (2012) consignan que la capacidad que posee una pradera para producir forraje depende de las condiciones ambientales como temperatura, principalmente, y el grado de intercepción de la radiación solar por las hojas. Silva y Nascimento (2007) y Grijalva-Contreras *et al.*, (2016) mencionan que después de que se alcanza el índice de área foliar óptimo, las hojas que se encuentran abajo del dosel vegetal reciben poca intercepción de luz, convirtiéndose en hojas amarillentas y senescentes, las cuales llegan a morir y, en tal caso, se puede tener un crecimiento negativo. Por lo anterior, la radiación interceptada puede ser utilizada como indicador para una cosecha adecuada (Berone, 2016; Silva y Nascimento, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del área de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo del 3 de agosto al 21 de septiembre del 2019, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, en el área experimental conocida como “El Bajío”. Las coordenadas del sitio son 25° 23’ de Latitud Norte y 101° 00’ de Longitud Oeste, a una altitud de 1,783 m. El clima es clasificado como templado semi-seco, con una temperatura promedio de 18 °C, con inviernos extremos y con una precipitación media anual de 340 mm (RUOA UNAM, Observatorio Atmosférico Saltillo, UAAAN 2019).

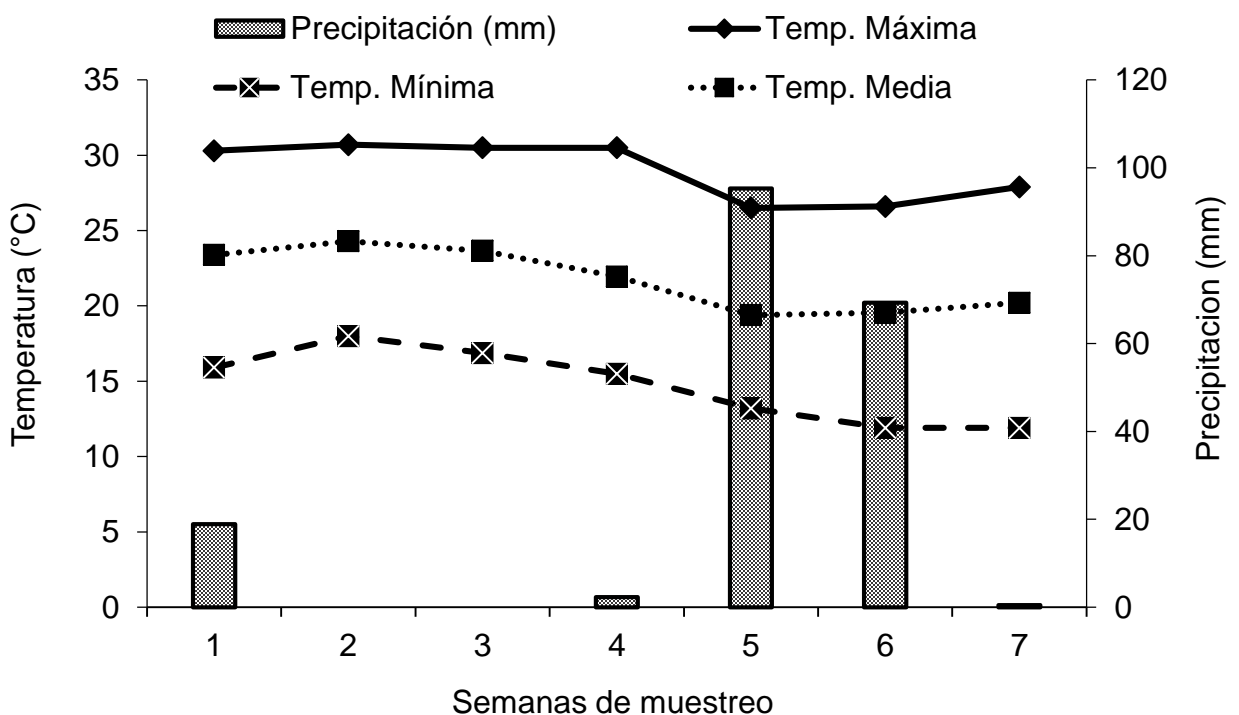


Figura 1. Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima semanal registradas durante el periodo de estudio del 03 de agosto al 21 de septiembre del 2019 (Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos_RUOA UNAM-UAAAN).

3.2. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó una pradera de 378 m² (9 x 42 m) establecida el 05 de febrero de 2019, en la que se realizó una siembra con el método al voleo, y se utilizó un riego por goteo con cintilla superficial, calibre 6000. El área experimental fue dividida en tres bloques (repeticiones) con 14 parcelas cada bloque (42 parcelas totales de 3 x 3 m), generando un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 9 m² (3 x 3 m). Los tratamientos fueron cortes sucesivos semanales durante siete semanas de rebrote, distribuidos en diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Se establecieron dos variedades (Premium y Cuf-101) con tres repeticiones. Para el estudio solo se utilizó la variedad Cuf-101. El día 03 de agosto de 2019 se realizó un corte de uniformización manualmente utilizando una hoz, cortando el forraje a una altura de 5 cm al nivel del suelo. Posteriormente, del 10 de agosto al 21 de septiembre se practicaron cortes con la misma intensidad de defoliación para evaluar productivamente la pradera.

3.3. Variables medidas

3.3.1. Rendimiento de forraje

Para determinar el rendimiento de forraje, se cortó el material vegetal presente dentro de un cuadrante de 0.25 m² (50 x 50 cm) por repetición y se depositó en bolsas de papel previamente identificada con el número de semana, repetición y parcela. Las bolsas se depositaron en una estufa de aire forzado, marca Felisa Modelo FE-243A, para su secado a una temperatura de 55 °C durante 72 h, hasta alcanzar un peso constante y se registró el peso de la materia seca, y su estimación en toneladas de materia seca por hectárea (ton MS ha⁻¹).

3.3.2. Composición botánica y morfológica

La muestra utilizada para determinar rendimiento de forraje, se uniformizó y se tomó una sub-muestra de aproximadamente entre el 10 y 20 %, la cual fue separada en 24 en hojas, tallos, material muerto e inflorescencia y maleza, y cada componente se secó en una estufa de aire forzado modelo FE-243^a, marca Felisa, a una temperatura de 55 °C durante 72 h, hasta alcanzar un peso constante y se registró el peso de la materia seca, y se estimó su aportación al rendimiento total en porcentaje (%) y en ton MS ha⁻¹, mediante las siguientes formulas:

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

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

3.3.3. Relación hoja:tallo

Los datos originados a partir de la composición morfológica (hoja y tallo) fueron utilizados para estimar la relación hoja: tallo mediante la siguiente formula:

$$R: H/T$$

Dónde:

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

H = Peso de la hoja (ton MS ha⁻¹).

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

3.3.4. Altura de la planta

Antes de cada corte se determinó la altura de 10 plantas seleccionadas al azar por repetición, con el uso de una regla de madera graduada a 100 cm, con 1 mm de precisión, donde 0 cm se colocó a ras de suelo y a partir de ahí se tomó la altura hasta el componente morfológico más alto de la planta.

3.3.5. Densidad de plantas

En cada muestreo, se utilizó un cuadrante de 100 x 100 cm (1 m²), por repetición, donde semanalmente se contabilizaron el número de plantas de alfalfa dentro del cuadrante y se registraron los cambios en la densidad poblacional de plantas de alfalfa a través del estudio.

3.3.6. Peso de tallo individual

Semanalmente, se cortaron 10 tallos por repetición, a los que se les separaron las hojas. Posteriormente se sometieron a un secado en una estufa de aire forzado, modelo Felisa FE-243A, por 72 h a 55 °C, hasta peso constante. Posteriormente se registró el peso de los diez tallos y dividió entre diez para obtener el peso por tallo individual en gramos de materia seca por tallo (g MS tallo⁻¹).

3.3.7. Peso de hoja por tallo

La hoja separada de los 10 tallos colectados para estimar peso de tallo individual se colocó en bolsas etiquetadas, y se sometieron a un secado en una estufa de aire forzado (Felisa, Mod. FE-243A), hasta peso constante durante 72 h. Para sacar el peso de hoja por tallo se utilizó la siguiente formula:

$$PH * T = PHT / 10$$

Dónde:

PH*T=Peso de hoja por tallo (g MS hoja tallo⁻¹)

PHT= Peso de hoja total (g MS hoja 10 tallos⁻¹)

3.3.8. Porcentaje de luz interceptada.

La determinación del porcentaje de luz interceptada por la pradera se llevó a cabo mediante el método de la regla y la barra light, tomando 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.

a) Método de la regla:

Se utilizó una regla de madera graduada a 100 cm, a 1 mm de exactitud, la cual fue colocada en la parte basal de las plantas, y contabilizaron los centímetros sombreados. Los 100 cm representaron el 100 % y los centímetros sombreados el porcentaje de luz que interceptó las plantas de alfalfa.

b) Barra light:

Con la barra light o sensor de quantum de 70 cm de longitud, modelo PS-100, Apogee, Inst, Utah, USA, se tomaron lecturas sobre el dosel de la planta y bajo el dosel de esta, nivelando la barra con una burbuja de agua. Las lecturas sobre las plantas representaron el 100 % de la luz recibida y las lecturas bajo el dosel de estas, la luz que no interceptó la planta (luz no aprovechada). 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 ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}\ nm^{-1}$).

3.3.9. Análisis estadístico

Para determinar el efecto de edad de rebrote, se llevó a cabo un análisis de varianza, con un diseño experimental de bloques al azar, con tres repeticiones, con el procedimiento PROC GLM del SAS para Windows versión 9.3 (SAS Institute, 2011) y se hizo una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor de la variable de respuesta en el tratamiento i , repetición j

μ = Media general de la población estudiada

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

β_i = Efecto del i -ésimo bloque

ε_{ij} = Error estándar de la media

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

En la Figura 2, se presenta el rendimiento de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes edades de rebrote. Se presentaron diferencias estadísticas entre semanas de rebrote ($p < 0.05$). Los primeros siete días de rebrote (DDR) con $0.768 \text{ ton MS ha}^{-1}$, fueron menores al resto de los cortes. El mayor rendimiento de forraje se presentó a los 35 DDR con $3.5 \text{ ton MS ha}^{-1}$, siendo estadísticamente similar a los días 28, 42, y 49 días de rebrote. Se obtuvo un promedio general de $2.2 \text{ ton Ms ha}^{-1}$ (Cuadro 1; Anexos). Se observó un incremento del rendimiento a medida que aumentó la edad de rebrote de la planta, representada por una ecuación de ajuste de segundo grado o cuadrática con un $R^2 = 0.91$. De acuerdo con Cruz (2020), reporta un comportamiento similar en la estación de primavera con una $R^2 = 0.98$, con valores que van de $0.164 \text{ ton MS ha}^{-1}$ en la primera semana de rebrote, hasta $4.189 \text{ ton MS ha}^{-1}$ en la semana seis (42 DDR), con un valor promedio de $3.081 \text{ ton MS ha}^{-1}$, superior al encontrado en este estudio, lo que puede ser atribuido a las condiciones del clima (Figura 1). Carmona (2021), por su parte reporta en la estación de primavera valores de rendimiento de forraje superiores, con el valor más bajo en la semana uno, pero comparado con los datos de verano estos tuvieron un crecimiento positivo aumentando acorde a las semanas de corte hasta alcanzar valores máximos a los 42 y 49 días de rebrote con 5.439 y $4.903 \text{ ton MS ha}^{-1}$ respectivamente.

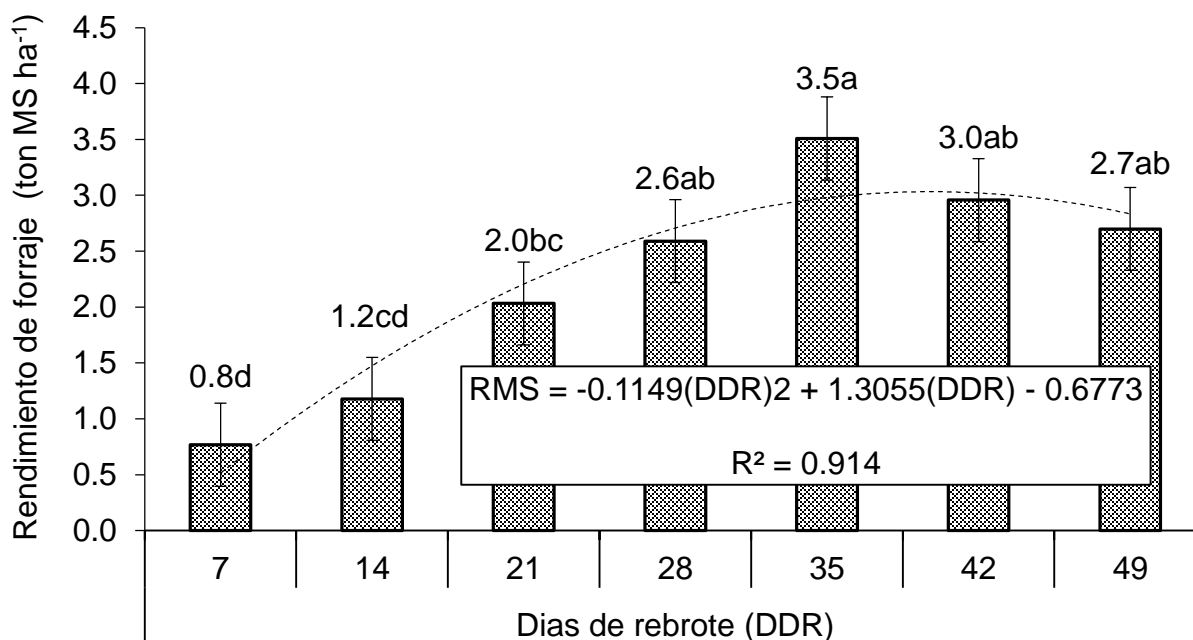
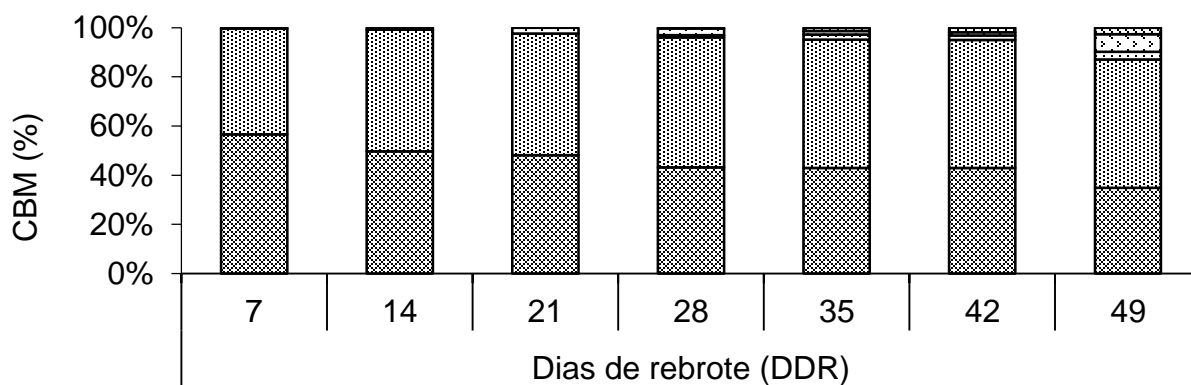


Figura 2. Rendimiento de forraje (Ton de MS ha⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. RMS = Rendimiento de Materia Seca. Prueba de Tukey (P < 0.05). Medias con las mismas letras sobre las columnas, son estadísticamente iguales.

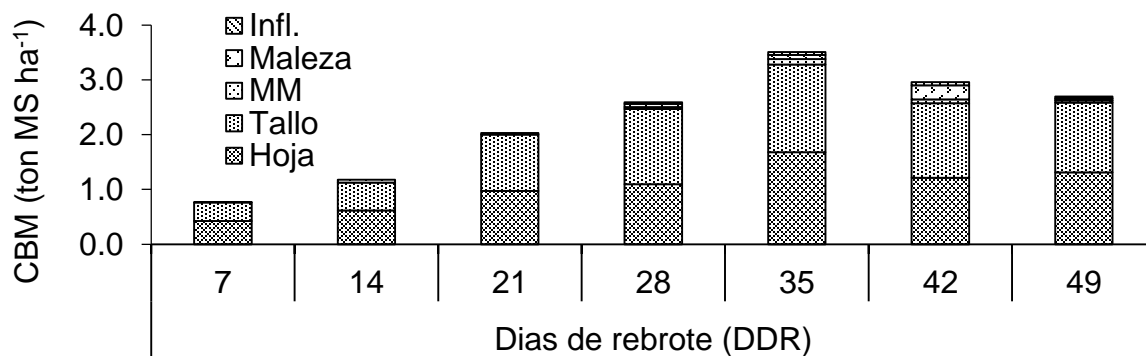
4.2. Composición botánica y morfológica

Los cambios en la composición botánica y morfológica, de alfalfa variedad cuf-101, expresados en ton MS ha⁻¹ y en porcentaje, se muestran en la Figura 3. En el porcentaje de aportación al rendimiento, se observan cambios significativos (p<0.05) en los componentes durante todo el estudio, a excepción del tallo y la maleza (p > 0.05). La hoja tuvo su mayor aportación en la primera semana de rebrote (7 DDR; 57 %), para descender gradualmente hasta los 42 y 49 DDR con 43 y 35 %. Al inicio del estudio, en las primeras tres semanas de muestreo (7, 14, y 21 DDR), no se presentaron material muerto e inflorescencia, hasta los 42 y 49 DDR, con 4.1 y 2.5 % promedio, respectivamente. Aunque en el tallo no se presentaron diferencias estadísticas (p>0.05), en el promedio general (Cuadro 6 de Anexos), fue el que más aportó al rendimiento con 50 %, seguido por la hoja con 44 %, maleza 2.3 %, material muerto e inflorescencia con 1.0 %, ambos. La comparación entre componentes dentro

de cada semana de rebrote, muestra que hasta los 28 DDR la hoja y el tallo aportan en promedio 47.7 y 48.5 %, respectivamente, posteriormente el tallo sobre sale hasta los 49 DDR, con el 52 %. En todo el estudio el menor aporte en porcentaje lo registran el material muerto, la maleza e inflorescencia. La aportación al rendimiento total en ton MS ha⁻¹, por componente botánico morfológico, se observó que a los 35 DDR, todos los componentes a excepción de la maleza, hicieron su mayor aportación, donde fue el tallo el de máximo valor con 1.40 ton MS ha⁻¹, seguido por la hoja (1.16 ton MS ha⁻¹), material muerto (0.057 ton MS ha⁻¹), e inflorescencia (0.03 ton MS ha⁻¹). La anterior tendencia se confirma en los promedios generales (Cuadro 7; Anexos) donde el tallo y la hoja con 1.05 y 0.89 ton MS ha⁻¹, aportan la mayor cantidad al rendimiento seguidos por la maleza, material muerto e inflorescencia con 0.048, 0.030 y 0.023 ton MS ha⁻¹. La comparación entre componentes muestra que hasta los 28 y 42 DDR, la hoja y el tallo hicieron el mayor aporte ($p < 0.05$), a los 35 y 49 DDR, el tallo aportó mayor cantidad al rendimiento. En todo el estudio el menor aporte en porcentaje lo registran el material muerto, la maleza e inflorescencia. Por su parte Castro (2020) reportó en primavera un aporte de 66 % por la hoja en la primera semana de rebrote (7 DDR), que contrasta con el menor rendimiento de 0.156 ton MS ha⁻¹, hasta una máxima producción de hoja de 2.348 ton MS ha⁻¹, a los 42 DDR, con un 43 % de aportación, lo que indicó que la aportación de este componente fue desuniciendo conforme avanzó la edad de la planta. Lo que se relaciona con una disminución en la calidad del forraje (Rojas *et al.*, 2016). Así mismo, Castro (2020) establece que hay un comportamiento inverso del tallo respecto a la hoja, este inicia con un 28 % (0.058 ton MS ha⁻¹) y se incrementa hasta un 48 % (2.330 ton MS ha⁻¹) a los 49 DDR. Mendoza *et al.* (2010) reportaron que el mayor aporte de hoja al rendimiento se presenta a intervalos de corte 21 y 28 DDR, pero por su parte el tallo incrementa su aporte si se aumentan los días de rebrote. Por su parte, Álvarez *et al.* (2018) mencionaron que, al evaluar estacionalmente diez variedades de alfalfa, que las mayores aportaciones de hoja y tallo al rendimiento total de forraje se registran en primavera con 31 y 29 %, en verano 14 y 15 %, y que el material muerto y maleza se presentan mayormente en otoño e invierno con 14 y 63 %, respectivamente.



Hoja	57 ^{Aa}	43 ^{Aab}	48 ^{Aab}	43 ^{Aab}	43 ^{Bab}	43 ^{Bb}	35 ^{Bb}
Tallo	43 ^{Aa}	49 ^{Aa}	49 ^{Aa}	53 ^{Aa}	52 ^{Aa}	52 ^{Aa}	52 ^{Aa}
MM	0.0 ^{Bb}	0.0 ^{Bb}	0.0 ^{Bb}	1.0 ^{Bab}	2.3 ^{Cab}	2.0 ^{Ca}	3.3 ^{Ca}
Maleza	0.3 ^{Ba}	0.6 ^{Ba}	2.3 ^{Ba}	2.6 ^{Ba}	1.3 ^{Ca}	1.3 ^{Ca}	7.0 ^{Ca}
Infl.	0.0 ^{Bb}	0.0 ^{Bb}	0.0 ^{Bb}	0.3 ^{Bab}	1.3 ^{Cab}	2.0 ^{Ca}	3.0 ^{Ca}



Hoja	0.431 ^{Ab}	0.559 ^{Ab}	0.874 ^{Ab}	1.102 ^{Ab}	1.160 ^{Ba}	1.110 ^{Ab}	0.899 ^{Bb}
Tallo	0.334 ^{Ad}	0.564 ^{Accd}	1.028 ^{Abc}	1.340 ^{Abc}	1.409 ^{Aa}	1.335 ^{Abc}	1.342 ^{Ab}
MM	0 ^{Bb}	0 ^{Bb}	0 ^{Bb}	0.022 ^{Bb}	0.057 ^{Ca}	0.050 ^{Bb}	0.082 ^{Cb}
Maleza	0.002 ^{Ba}	0.008 ^{Ba}	0 ^{Ba}	0.067 ^{Ba}	0.038 ^{Ca}	0.033 ^{Ba}	0.182 ^{Ca}
Infl.	0 ^{Bb}	0 ^{Bb}	0 ^{Bb}	0.008 ^{Bb}	0.035 ^{Ca}	0.050 ^{Bab}	0.069 ^{Cab}

Figura 3. Contribución de los componentes botánicos y morfológicos al rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferente edad de rebrote. Literales minúsculas diferentes en cada fila y mayúsculas diferentes en cada columna son diferentes estadísticamente. CBM = Composición Botánica Morfológica.

4.3. Altura de planta

En la Figura 4 se muestran los cambios en la altura de las plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de la variedad Cuf-101, cosechada a diferente edad de rebrote. La gráfica muestra una tendencia positiva de los 7 a los 35 DDR, y descende a los 42 y 49 DDR, lo que se expresa mediante una ecuación cuadrática con $R^2 = 0.98$, lo que indica que la altura de la planta es explicada en un 98 % por la edad de la planta. La mayor altura se observó a los 28 y 35 DDR (76.5 cm promedio), mientras que el menor crecimiento se registró al inicio del rebrote, a los 7 DDR con 19 cm ($p < 0.05$).

Montes (2014) encontró la mayor altura en invierno a las siete semanas de rebrote (61.2 cm), sin guardar diferencias significativas a las cinco y seis semanas. Para la variedad Premium en estación de primavera, Carmona (2020) observó cambios significativos desde los 7 DDR, encontrando un valor mínimo de 10 cm y un valor máximo de 67 cm a los 42 DDR, describiendo con una ecuación polinómica con una R^2 de 0.98, representando siempre una tendencia positiva en el crecimiento de las plantas. En esta misma variedad de alfalfa, Cruz (2020) con el método de la regla reportó 48 cm como altura promedio, la cual es similar a la registrada por Carmona (2020) en su estudio (48.7 cm). De acuerdo con Montes *et al.* (2016), la altura de la pradera es una variable altamente correlacionada con el rendimiento de materia seca, si los coeficientes de correlación son elevados (> 0.80); esta variable puede ser considerada para determinar el rendimiento y definir el momento óptimo de aprovechamiento. Enríquez *et al.* (2006) reportaron que los mayores rendimientos obtenidos en las diferentes variedades de alfalfa coincidieron con los valores superiores de altura de forraje, por lo que existe una correlación directa entre altura de forraje y rendimiento.

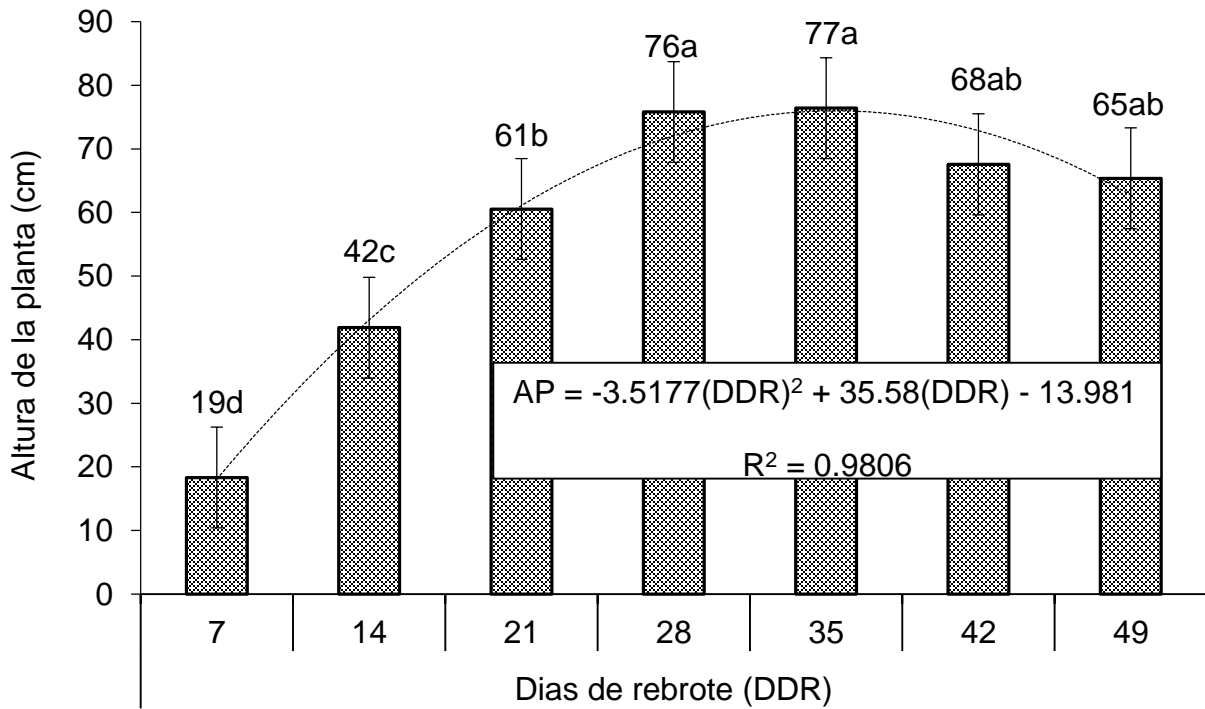


Figura 4. Altura de planta (cm) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. Diferente letra minúscula entre cortes, indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$). AP = Altura de planta.

4.4. Relación hoja:tallo (R:H/T)

La relación hoja: tallo que existe entre la cantidad de hoja respecto al tallo en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, se presenta en la Figura 5. Se observa una disminución de la relación hoja: tallo conforme aumentó la edad de rebrote de la alfalfa, por lo que presenta una ecuación de ajuste cuadrática con un R^2 de 0.87, lo que quiere decir que la relación hoja:tallo es explicada en un 87 % por los días de rebrote de la especie. Un valor de 1.5 fue registrado en la primera semana de rebrote (7 DDR), y fue disminuyendo hasta los 42 y 49 DDR, con valores de 0.7 y 0.6 respectivamente ($p < 0.05$). También podemos observar valores similares estadísticamente ($p > 0.05$) en los días de rebrote 14, 21, 28 y 35.

De acuerdo con Esparza *et al.* (2009) registraron la mayor relación hoja: tallo en la quinta semana de rebrote (35 DDR), en las estaciones de verano, otoño y primavera con 0.8, 0.7 y 0.6 ($p < 0.05$); mientras que en invierno en la sexta semana (42 DDR) con 0.8. Así mismo, reportan que de la sexta a la octava semana de crecimiento (42 a 56 DDR) se redujo la relación hoja: tallo en primavera, verano y otoño y de la séptima a la octava (49 a 56 DDR) en invierno.

Lo anterior concuerda con el momento donde la hoja alcanzó su máxima producción de 1.16 ton MS ha⁻¹ a los 35 DDR (Figura 3) Conforme aumento su edad la planta, el tallo aumento también su aportación al rendimiento, por lo que posterior a los 35 DDR, se produjo más tallo que hoja. Al respecto, se ha estipulado que la edad de la planta es un factor que determina la distribución de materia seca en sus diferentes partes; es decir, conforme aumenta la edad de rebrote hay un incremento en la proporción de tallos y material senescente y disminuye la formación de hojas, lo que puede ocasionar una disminución en la relación hoja: tallo (Cruz *et al.*, 2011).

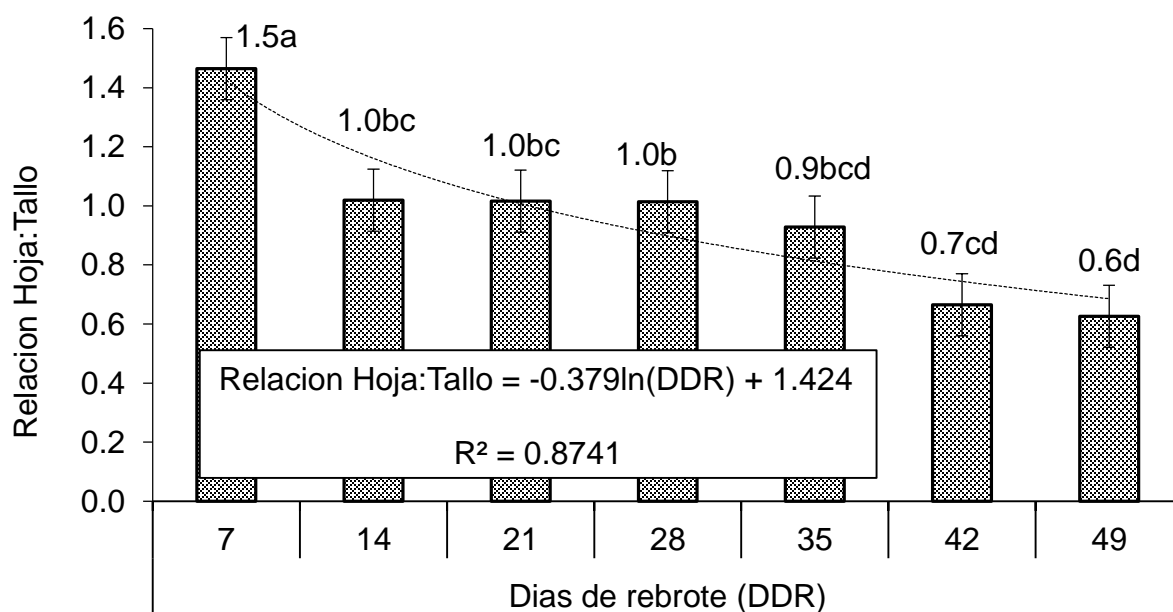


Figura 5. Relación hoja: tallo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. R:H/T= Relación Hoja: Tallo. Misma letra minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

4.5. Densidad de plantas

El número de plantas por metro cuadrado de una pradera de alfalfa variedad Cuf-101, a través de siete semanas de rebrote, se presentan en la Figura 6. Se presentan valores de 77 plantas m^{-2} , en los primeros 7 DDR, hasta un máximo de 99 plantas m^{-2} a los 21 ($p < 0.05$), posterior a un descenso hasta los 49 DDR con 62 plantas m^{-2} ($p < 0.05$), lo cual es representando por una ecuación de ajuste de segundo grado o polinómica con $R^2 = 0.98$, lo que indica que el número de plantas en una pradera de alfalfa variedad Cuf-101, es explicada en un 98 % por los días de rebrote.

Al respecto, Cruz (2020), en su experimento realizado en la estación de primavera, reporta valores máximos de 76 plantas m^{-2} en la primera semana de rebrote (7 DDR), y menores en la segunda semana (14 DDR) de 58 plantas m^{-2} , presentando un coeficiente de regresión (R^2) de 0.78, sin embargo, no obtuvo diferencias estadísticas a lo largo de su estudio. Por su parte Rojas *et al.* (2016), reportaron que el número de plantas m^{-2} disminuyó a medida que trascurrió el establecimiento de la pradera, al evaluar diez variedades de alfalfa y encontrar un promedio de descenso de 22 plantas m^{-2} a lo largo de un año de estudio. Cadena (2009) reportó que la densidad de planta es afectada por el intervalo de corte; cuando la planta es cosechada a las cinco semanas de rebrote (35 DDR) se registran mayor cantidad de plantas m^{-2} , mientras que con periodos menores de reposo se tiene mayor pérdida de plantas.

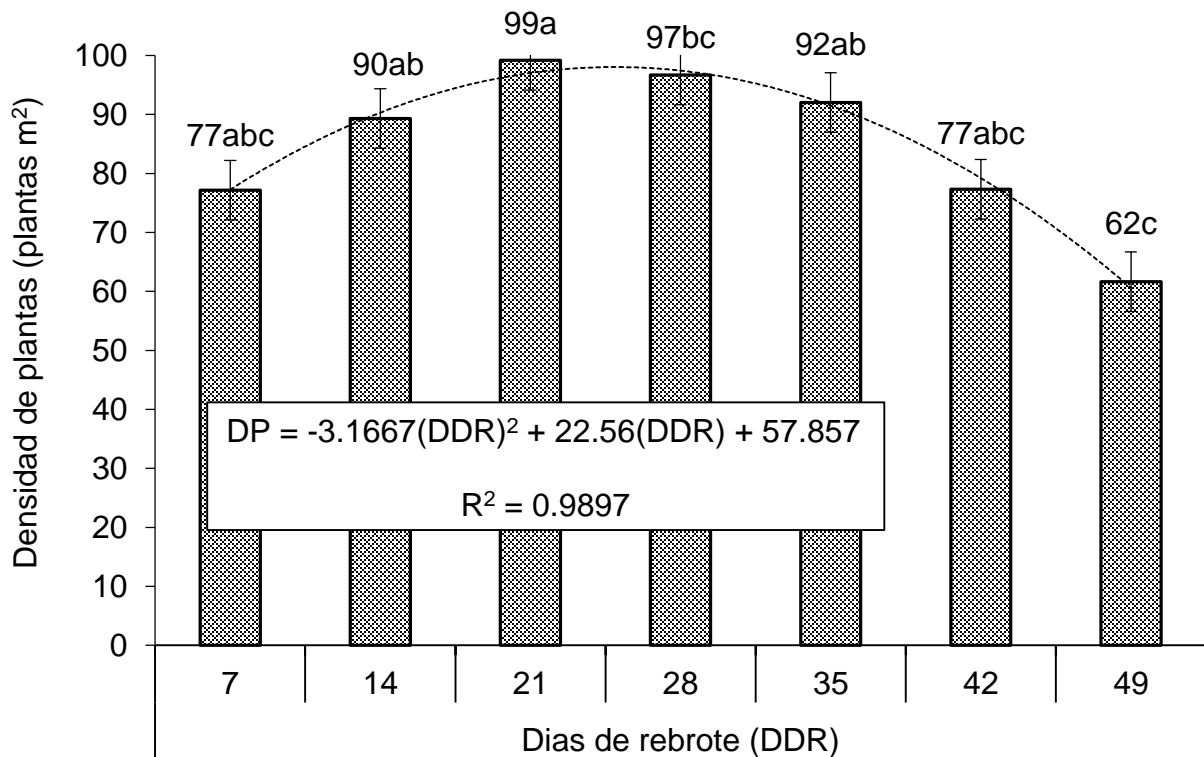


Figura 6. Número de plantas (m²) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. DP = Densidad de Plantas. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente (p<0.05).

4.6. Peso de tallo individual

Los cambios en el peso por tallo individual de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 en la estación de verano, en función de la edad siete edades de rebrote se muestran en la Figura 7. Se registraron diferencias significativas estadísticamente (p<0.05) a través de los días de rebrote. A los 49 días de rebrote se registró el máximo peso por tallo con 1.2 g MS tallo⁻¹, y valores mínimos de los 7 a los 21 DDR con 0.3 g MS tallo⁻¹, promedio. En general se observó un incremento progresivo desde los 7 a los 49 DDR, tendencia representada por una ecuación lineal con un R² = 0.94, lo que explica que conforme la edad de la planta aumenta, esta a su vez incrementa su crecimiento (Figura 4) y aunado a esto el peso por tallo individual.

No obstante, esto no concuerda con la tendencia del rendimiento de forraje ya que este depende de otros componentes botánicos y morfológicos que conforman la pradera (Figura 3) y principalmente de la aportación de la hoja, la cual se reduce al final del estudio (Figura 8).

De acuerdo con Cadena (2009) los valores más bajos se registran cuando la alfalfa se corta a menor días de rebrote (21 DDR) en la estación de primavera, encontrando pesos de 0.26 g MS tallo⁻¹ y a medida que se incrementa el tiempo de descanso de la pradera, el peso del tallo se incrementa hasta alcanzar un peso de 1.07 g MS tallo⁻¹, con seis semanas de rebrote (42 DDR). Similar tendencia reportó Mendoza (2008) en donde el valor más bajo se registró en invierno (0.11 g MS tallo⁻¹) cuando se cosechó cada 4 semanas de rebrote (28 DDR) y el más alto (1.41 g MS tallo⁻¹) en verano con intervalo entre cortes de 6 semanas de rebrote (42 DDR).

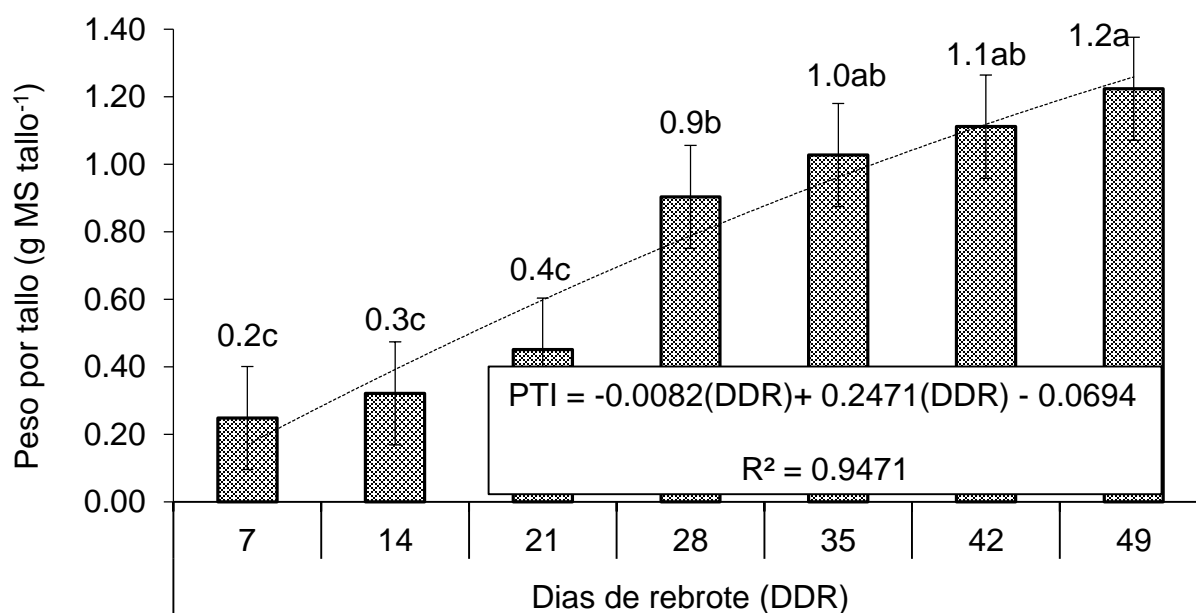


Figura 7. Peso de tallo individual (g MS tallo⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. PTI= Peso de Tallo Individual. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).

No obstante, Rojas *et al.* (2017), no encontraron diferencias en el peso por tallo (g) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 diez variedades de alfalfa ($p < 0.05$),

pero si entre estaciones del año; en verano, con un valor promedio de 0.78 g MS tallo⁻¹, teniendo una tendencia para el promedio de los tratamientos: primavera (0.9), verano (0.8), otoño (0.7) e invierno (0.4) g MS tallo⁻¹. De acuerdo con Chen *et al.*, (2012), reportaron efecto de la frecuencia de corte; determinaron peso por tallo menor y mayor de 0.27 y 0.45 g MS tallo⁻¹, para la menor y mayor frecuencia.

4.7. Peso de hoja por tallo

Los cambios en la producción de hoja, de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, en siete semanas de rebrote se muestran en la Figura 8. El análisis de varianza y comparación de medias, registraron que los valores más altos de producción de hoja (g MS hoja⁻¹) se obtuvieron a los 28, 35 y 42 DDR con 0.7 g MS hoja tallo⁻¹, promedio, guardando diferencias estadísticas con los menores valores a los 7 y 14 DDR con valores de 0.2 y 0.3 kg MS hoja tallo⁻¹, respectivamente. Al final del estudio (49 DDR) se registró un valor similar ($p > 0.05$) a los 21 DDR con un peso de hojas por tallo de 0.5 g MS. El peso de la hoja por tallo mostro una curva de ajuste de tipo cuadrática con un $R^2 = 0.94$, lo que muestra una alta correlación entre esta variable y los días de rebrote de alfalfa Cuf-101, además de una tendencia similar al rendimiento total de forraje (Figura 2) y densidad de plantas (Figura 6).

Las hojas representan la biomasa fotosintéticamente activa, la cual es responsable del crecimiento y potencial productivo de las especies forrajeras. En un estudio realizado por Aparicio *et al.*, (2004), en dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.), se muestra un comportamiento similar al obtenido en nuestros resultados, durante ocho semanas de rebrote, donde los máximos valores del ciclo de verano se obtuvieron de la quinta a la sexta semana respecto a cada variedad, después de esto en ambos casos descendieron. Un incremento en la producción de hoja corresponde a una mayor tasa de acumulación neta de forraje y por ende se alcanza un máximo índice de área foliar (Chapman y Robson, 1992). Así mismo, Difante *et al.*, (2009) encontraron que un incremento en la producción de hoja conforme aumenta la edad de rebrote, es el resultado de un acelerado ritmo de crecimiento tanto de hoja como

de tallo, los cuales son favorecidos por las condiciones ambientales como; fotoperiodo, temperatura y humedad (Figura 1).

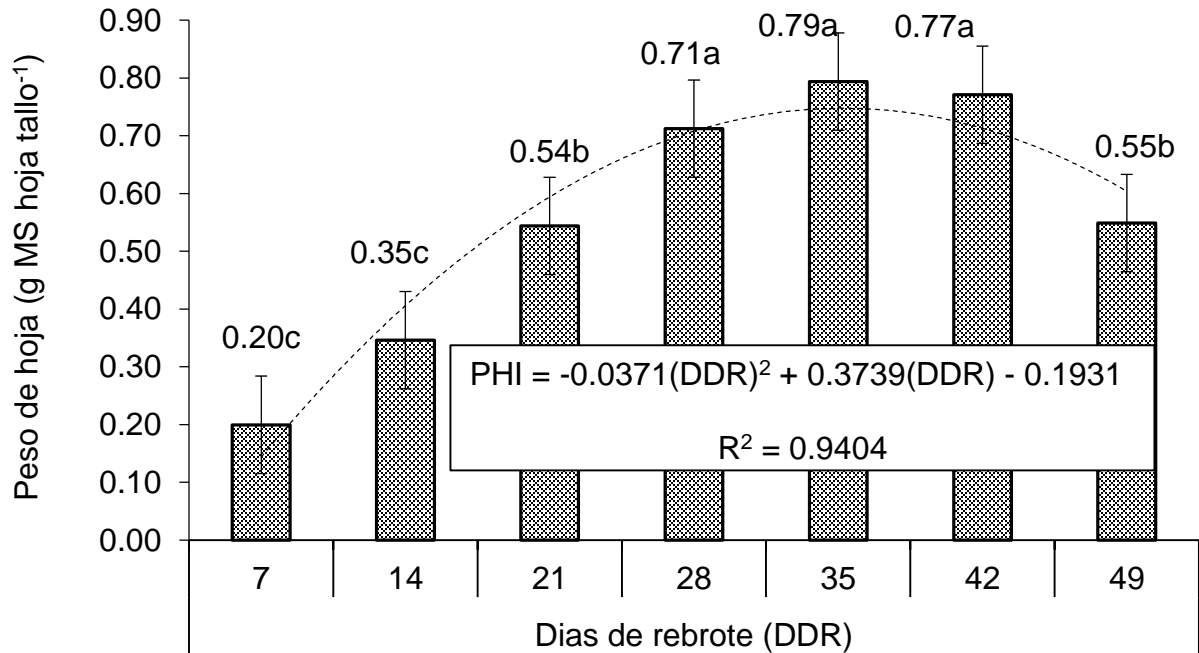


Figura 8. Peso hoja por tallo (g MS Hoja⁻¹) de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101 cosechada a diferente edad de rebrote. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).

4.8. Intercepción luminosa

Los porcentajes de la cantidad de luz que es interceptada por una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Cuf-101, cosechada a diferentes edades de rebrote, obtenida con mediante dos métodos; de la regla y la barra light, se presenta en la Figura 9a y 9b, respectivamente. En ambos métodos se presentaron diferencias estadísticas entre los días de rebrote ($p < 0.05$). El porcentaje de radiación interceptada muestra un valor más bajo a los 7 DDR, con 60 y 61 % de radiación interceptada con el método de la regla y de la barra light, respectivamente.

A partir de los 14 DDR, hasta los 49 DDR, no se presentan diferencias estadísticas ($p > 0.05$), sin embargo, se obtuvo una menor cantidad de luz interceptada con la regla a los 35 DDR (96 %) respecto al mayor valor registrado con la barra light (98 %) a los 21 DDR. Así mismo, las ecuaciones de ajuste, para ambos métodos fue del polinómica, mostrando un R^2 de 0.83 y 0.76, para el método de la regla y la barra light, respectivamente, mostrando que el método de la regla tiene mayor correlación con la semana de rebrote.

Al respecto, se ha establecido que en un periodo de rebrote se reduce la cantidad y calidad de luz a nivel de la pradera, por lo que está se ha tomado como criterio de cosecha, donde en un 95 % luz interceptada se considera un punto óptimo, donde se obtiene buena calidad de forraje (Montagner *et al.*, 2012). De acuerdo con Cruz (2020), en la estación de primavera, encontró que con el método de la regla se observa un incremento progresivo que va desde 29 a 92 % de la semana uno de rebrote (7 DDR) hasta la séptima semana (49 DDR), respectivamente.

Pérez *et al.* (2002) señalan que, para maximizar la acumulación de forraje en el tiempo, la energía solar debe de ser interceptada por las hojas que se encuentran fotosintéticamente activas, a través de los periodos de crecimiento activo. Mendoza *et al.* (2010) señalaron que conforme se aumenta el IAF se incrementa la tasa de crecimiento, que concuerda cuando casi toda la luz es interceptada, a lo cual se le denomina "IAF óptimo". Después de que se alcanza el IAF óptimo, las hojas basales no reciben suficiente luz, convirtiéndose en hojas amarillentas y senescentes, las cuales llegan a morir, y en tal caso, se puede tener un crecimiento neto negativo.

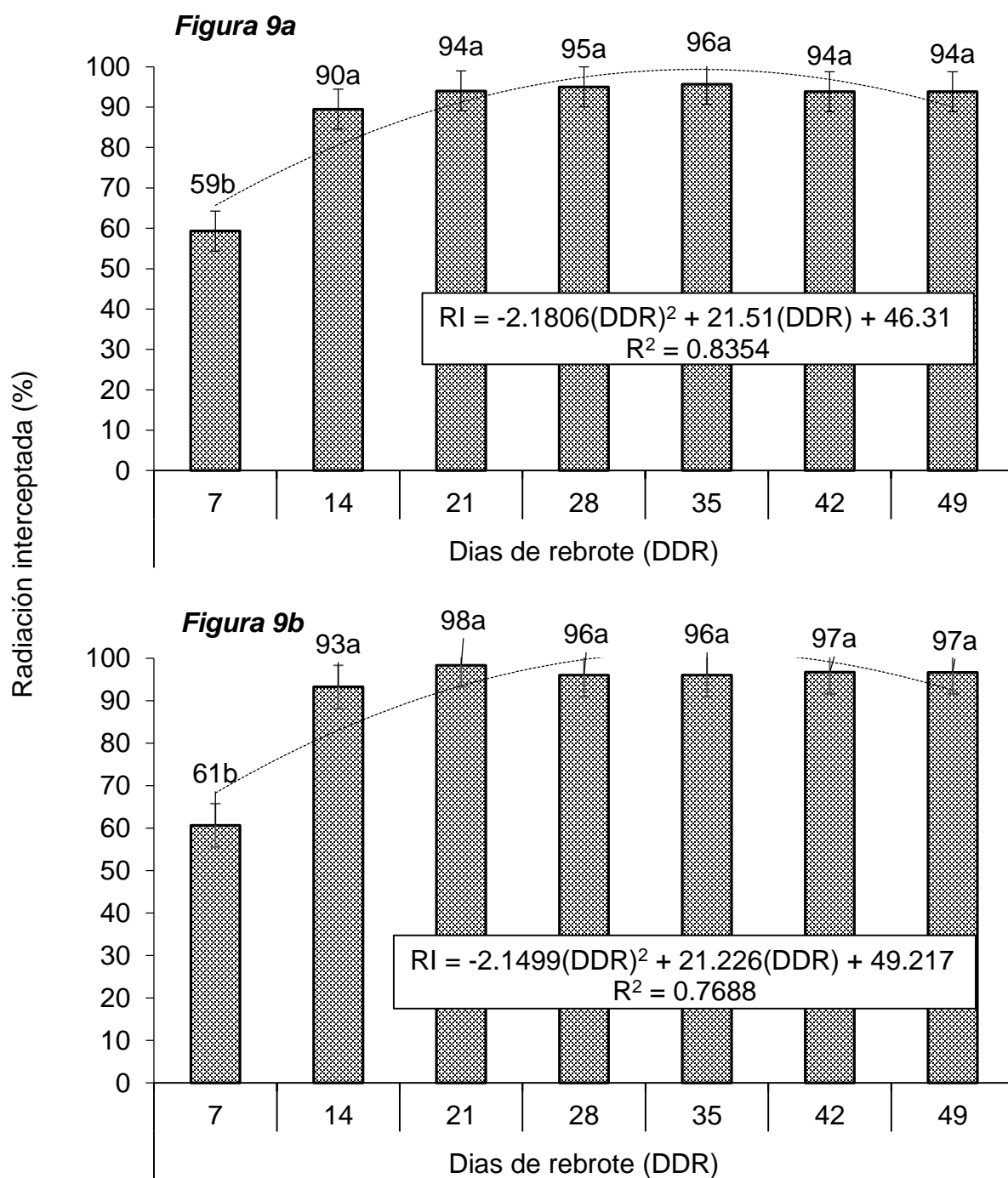


Figura 9. Porcentaje de Radiación Interceptada (RI), de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferente edad de rebrote, determinada con el método de la regla (RI_R; Figura a) y de la barra light (RI_B; Figura b). Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$).

V. CONCLUSIONES

- Con el aumento de la edad de rebrote el rendimiento de forraje se incrementa, alcanzando el máximo rendimiento a los 35 días de crecimiento, con la mayor producción de hoja, por lo que se considera el momento óptimo para cosechar.
- El rendimiento de forraje, altura de planta, peso de hoja por tallo, intercepción luminosa, y los componentes morfológicos y botánicos, que conforman el rendimiento, tuvieron tendencias similares, se incrementaron aproximadamente hasta los 35 días de rebrote y posteriormente disminuyeron, excepto el material muerto y la inflorescencia que se presentaron al final del estudio.
- La relación hoja: tallo fue contrastante al resto de las variables, similar a la densidad de plantas y al porcentaje de aportación al rendimiento por parte de la hoja.
- La producción de tallos se incrementó hasta el final del estudio.
- El componente tallo fue el que mayor aporte hizo al rendimiento de materia seca total, seguida por la hoja, material muerto, inflorescencia y maleza.

VI.LITERATURA CITADA

- Álvarez, V. P., Encina D. J. A., Ventura R. J., Flores N. A., Hernández P. A., y Maldonado P. R. 2020.** Productive Performance of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) at Different Age of Resprout in the Spring Season. *AGROProductividad*, 13(12). <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1898>
- Álvarez, V. P., Hernández G. A., García de los S. G., Guerrero R. J. D., Mendoza P. S. I., Ortega C. M. E. y Wilson G. C. Y. 2018.** Potencial forrajero de *Lotus corniculatus* L. con diferentes estrategias de manejo. *AGROProductividad*, 11(5): 24-29.
- Aparicio, Y. V., Garay, A. H., Hernández, P. A. M., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., y Castañeda, C. L. 2006.** Rendimiento de forraje de variedades de alfalfa en dos calendarios de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29: 369-372.
- Aparicio, Y. V., Garay A. H., Pérez J. P., Castañeda C. L., Harob J. G. H., Quiroz J. F. E., y 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.
- Ayala, J. M., Victoria J. L. J., Velasco V. A. V., Aparicio Y. V., del Valle J. R. E., y Garay A. H. 2006.** Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 44(3): 277-288.
- Baguet, H. A., y Bavera, G. A. 2001.** Fisiología de la planta pastoreada. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional del Río Cuarto. Provincia de Córdoba, Argentina. www.produccion-animal.com.ar (14, marzo, 2021).
- Baldissera, T. C., Frak, E., Carvalho, P. C. D. F., y Louarn, G. 2014.** Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of botany*, 113: 145-157. <https://doi.org/10.1093/aob/mct251>
- Baruch, Z. 1994.** Response to droughth and flooding in tropical forafe grass. I. production and allocation of biomass leaf growth and mineral nutrients. *Plant and Soil* 164: 87-96.

- Bejar H., M., y Valdez O. A. 1998.** Rendimiento y calidad de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra. Agraria Vol 16, Numeri 1; Enero-Junio 2000, 59.
- Berone, G. D. 2016.** Leaf expansion and leaf turnover of perennial C4 grasses growing at moderately low temperatures. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, 48(2): 69-82.
- Bidwell, R. G. 1979.** Fisiología Vegetal. 2a edición. Primera en español. Traductor Guadalupe G. Cano y Cano. México, D. F. AGT. editor. 784 p. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf> (14, marzo, 2021).
- Bouton, J. H., Gates, R. N., & Hill, G. M. 2001.** Combining the grazing tolerance trait with forage production in non-dormant alfalfa. Lloveras J.(ed.). Quality in lucerne and medics for animal production. Zaragoza: CIHEAM. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 45:177-182.
- Bribiesca, M. T. P., Garay, A. H., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., y Gama, R. B. 2002.** Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 40: 251-263.
- Briske, D. D. 1991.** Developmental morphology and physiology of grasses. Grazing management: an ecological perspective, 85, and 108. <https://cnrit.tamu.edu/rlem/textbook/Chapter4.htm>(25, enero, 2021).
- Briske, D. D., y Richards, J. H. 1993.** Physiology of plants recovering from defoliation. In Proceedings of the XVII international grassland congress (p. 85). <http://agrilifecdn.tamu.edu/briske/files/2014/03/Briske-Richards-SRM-CHAPTER95.pdf> (11, marzo, 2021).
- Briske, D. D., Boutton, T. W., y Wang, Z. 1996.** Contribution of flexible allocation priorities to herbivory tolerance in C 4 perennial grasses: an evaluation with 13 C labeling. Oecologia, 105: 151-159.

- Cadena, S. 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. Texcoco, México: 78 p.
- Callejas, R. E. A. 2007.** Efecto de la variedad y estación de corte sobre el rendimiento y calidad nutritiva de forraje de alfalfa, en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 66 pg.
- Camp, C. R., Lamm, F. R., Evans, R. G., y Phene, C. J. 2000.** Subsurface drip irrigation—Past, present and future. In Proc. Fourth Decennial Nat'l Irrigation Symp. Nov (pp. 14-16).
- Camp, C. R. 1998.** Subsurface drip irrigation: A review. Trans. of the Am. Soc. Agric. Eng. 41: 1353-1367.
- Carmona, C. B. 2021.** Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de rebrote, en el sureste de Coahuila, México. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 56 p.
- Castro, M. A. 2020.** Comportamiento productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferente edad de cosecha en la estación de primavera. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 58 p.
- Chapman, D. F., y Robson, M. J. 1992.** The physiological role of old stolon material in white clover (*Trifolium repens* L.). New Phytologist, 122(1): 53-62. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/j.1469-8137.1992.tb00052.x> (27, enero, 2021).
- Carulla, J. E., y Narváez Vásquez, N. 1996.** Gramíneas y leguminosas en la alimentación de bovinos. Durán C., Carlos Vicente; Ararat, José Enrique (eds.). Curso Internacional Investigación y Desarrollo de Sistemas de Producción Forrajera en el Trópico (1996, Palmira, Valle del Cauca, Colombia). Memoria.

- Chen, J. S., Tang, F. L., Zhu, R. F., Gao, C., Di, G. L., y Zhang, Y. X. 2012.** Effects of cutting frequency on alfalfa yield and yield components in Songnen Plain, Northeast China. *African Journal of Biotechnology*, 11(21):4782.
- Clark, G. A., y Smajstrla, A. G. 1996.** Design considerations for vegetable crop drip irrigation systems. *HortTechnology*, 6(3):155-159.
- Clavijo, V. E. y Cadena, C. P. 2011.** Producción y calidad nutricional de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechadas en distintos estados fenológicos. Universidad de la Salle, (PDF). <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1119&context=zootecnia> (28, febrero, 2021).
- Cruz, H. A., Hernández, G. A., Enríquez, Q. J. F., Gómez, V. A., Ortega, J. E., y Maldonado, G. N. M. 2011.** Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4): 429-443. http://www.colpos.mx/wb_pdf/Veracruz/2011/20_11_8.pdf(10, marzo, 2021).
- Cruz, G. D. 2020.** Evaluación productiva de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el sureste del estado de Coahuila, México. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 65 p.
- Del Pozo, M. 1983.** La Alfalfa. Su Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 380 p.
- Delgado, D. F. F. 2015.** LA Alfalfa (*Medicago sativa* L.): Origen, Manejo y Producción. *Conexión Agropecuaria JDC*, 5(1): 27-43. <https://jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/download/520/540> (29, enero, 2021).
- Difante, G. D. S., Nascimento Jr., D. D., Euclides, V. P. B., Silva, S. C. D., Barbosa, R. A., y Gonçalves, W. V. 2009.** Sward structure and nutritive value of tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(1): 9-19. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000100002>

- Domínguez, P. R. 2015.** El cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su calidad como forraje. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 114 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1342/T15838%20DOMINGUEZ%20PLIEGO,%20RICARDO%20%20MONOGRAFIA.pdf?sequence=1> (10, marzo, 2021)
- Duarte, 2002.** Como implantar bien una pastura de alfalfa. www.viarural.com.ar (03, febrero, 2021).
- Dun, E. A., Ferguson, B. J., y Beveridge, C. A. 2006.** Apical dominance and shoot branching. Divergent opinions or divergent mechanisms. *Plant physiology*, 142: 812-819. <https://doi.org/10.1104/pp.106.086868>
- Elliott, F. C., Johnson, I. J., y Schonhorst, M. H. 1972.** Breeding for forage yield and quality. *Alfalfa science and technology*, 15:319-333.
- Enríquez del Valle, J. R., Hernández Garay, A., Jiménez Victoria, J. L., Morales Ayala, J., Velasco, V. A., y Villegas Aparicio, Y. 2006.** Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*.
- Esparza, J. Z., Garay, A. H., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., Gallardo, F. O., Hernández, P. A. M., y Carrillo, A. R. Q. 2009.** Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(2): 173-178.
- Espinoza, C., y Ramos, G. 2001.** El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Folleto para productores, (22):11. <https://fliphtml5.com/gbfd/yrbl/basic> (2, febrero, 2021).
- Espinoza, C. J.M. y Ramos, G. 1997.** El cultivo de alfalfa y su tecnología de manejo. Fundación Produce Aguas Calientes, A.C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto Técnico para productores No. 22.
- Figuroa, U. Medina, M.E., Chávez, J. F. 2002.** Manejo del suelo En: Tecnología de Producción en Nogal Pecanero. Libro Técnico No. 3. CELALA, CIRNOC, INIFAP. México:77-99.

<http://viverosacramento.com.mx/Tecnologia%20de%20produccion%20de%20nogal%20pecanero.pdf> (11, marzo, 2021).

- Galvis Spinola, A., González Hernández, V. A., Hernández Garay, A., Pérez, J., Vaquera Huerta, H., y Velasco Zebadúa, M. 2001.** Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México.
- Gaytán, V. J. A., Castro, R. R., Villegas, A. Y., Aguilar B. G., Solís O. M. M., Carrillo R. J. C., y Negrete S. L. O. 2019.** Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 10(2): 353-366. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4319>
- Godoy A., C., H. Garza S. y Ma. V. Huitrón R. 1998.** Crecimiento y acumulación de azúcares en el fruto de la vid bajo diferentes condiciones Hídricas. Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 94: 129-137.
- Graber, L. F. 1927.** Improvement of Permanent Bluegrass Pastures with Sweet Clover
1. Agronomy Journal, 19(11):994-1006.
doi.org/10.2134/agronj1927.00021962001900110005x
- Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., Macías-Duarte, R., Santillano-Cázares, J., y Núñez-Ramírez, F. 2016.** Nitrógeno en trigo y su efecto en el rendimiento y en la concentración de nitratos y potasio en el extracto celular de tallo (ECT). Acta universitaria, 26(5), 48-54. <https://doi.org/10.15174/au.2016.963>
- Hernández, G. A., Martínez H. P. A., Zaragoza E. J., Vaquera H. H., Osnaya G. F., Joaquín T. B. M., y Velazco Z. M. 2012.** Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad del pastoreo. Revista fitotecnia mexicana, 35(3): 259-266.
- Hernández-Garay, A., y Martínez, H. P. A. 1997.** Utilización de pasturas tropicales. Producción de ovinos en zonas tropicales. Fundación Produce-Inifap, 8-24.

- Hodgson, J. 1990.** Grazing management. Science into Practice. Longman Scientific and Technical. Harlow, England. 204 p.
- INFOAGRO. 2021.** El cultivo de alfalfa (2a parte). <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa2.htm>(28, febrero, 2021).
- INFOAGRO. 2021.** El cultivo de alfalfa. <https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>(25, enero, 2021).
- Islas, S.M. 1972.** Ensayo de 13 variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.), en condiciones de temporal en el Valle de Toluca, México. Toluca. México. 41 p.
- Lara, M. C. R., y Jurado, G. P. 2014.** Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua. Sitio Experimental La Campana-INIFAP. Folleto Técnico, (52). <https://www.producechihuahua.org/paqs/PT-0010Alfalfa.pdf>(24, enero, 2021).
- Lemaire, G. 2001.** Ecophysiology of grasslands. Aspects of forage plant population in grazed swards. In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Pedro, Sao Paulo, Brazil; 39-40 p.
- Mendoza, P. S. I. y Hernández G. A., Pérez P. J., Quero C. A. R., Escalante E. J. A. S., Zaragoza R. J. L. y Ramírez R. O. 2010.** Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 1(3):287-296. <https://www.redalyc.org/pdf/2656/265620271008.pdf> (10, marzo. 2021).
- Mendoza, S. I. 2008.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, Ganadería. Texcoco, México: 123 p.
- Michaud, R., Lehman, W. F., y Rumbaugh, M. D. 1988.** World distribution and historical development. Alfalfa and alfalfa improvement, 29: 25-91.
- Montagner, D., B., D. Nascimento Jr., H. H. Vilela, B. M. Sousa, de L. V. P. B. Euclides, S. C. Da Silva, and M. N. Carloto. 2012.** Tillering dynamics in pastures of guinea

grass subjected to grazing severities under intermittent stocking. Rev. Bras. Zootec. 41: 544-549.

Montes, C. F. J. 2014. Análisis del proceso de producción y dinámicas de crecimiento para incrementar la productividad en dos leguminosas forrajeras. IPN, Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca: 96 p. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/211/Montes%20Cruz,%20F..pdf?sequence=1 (10, marzo, 2021).

Montes, C. F. J., Castro R. R., Aguilar B. G., Sandoval T. S., y Solís O. M. M. 2016. Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). Revista mexicana de ciencias pecuarias, 7(4): 539-552.

Muslera, P. E., Ratera, G. C. 1991. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. Editorial mundi prensa. Madrid. España. 674 p.

Pérez B.M., Hernández G.A., Pérez P.J., Herrera H.J., Bárcena G.R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. Técnica Pecuaria en México. 40: 251-263.

Putnam D.H., C. G. Summers, S. B. Orloff. 2007. Alfalfa Production Systems in California. In: D. H. Putnam, C. G. Summers (eds). Irrigated Alfalfa Management for Mediterranean and Desert Zones. ANR Publication, California. Pp: 1-19.

Ramírez D. M., y U. Nava C. 2000. Plagas de la alfalfa. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Libro técnico n° 2. SAGAR. INIFAP. CIRNOC. CELALA.

Rebuffo, M. I., Restaino, E. y Risso, D. F. 2000. Tecnología en alfalfa. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807160703.pdf> (10, marzo,2021).

Richards, J. H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia. pp. 85-94.

- 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. M. 1993.** *Fisiología Vegetal Aplicada*. 4ª Edición. Editorial Interamericana McGraw-Hill. México. 275 p.
- Rojas, G. A. R., Torres S., N., Joaquín C. S., Hernández G. A., Maldonado P. M. D. L. Á., y Sánchez S. P. 2017.** Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7): 697-708.
- Rojas, G. A. R. 2011.** Dinámica de crecimiento y rendimiento de forraje de diez variedades de alfalfa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 70 p.
- RUOA, UNAM.** <https://www.ruoa.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=10> (28 febrero 2021)
- SAGARPA. 2008.** Producción Agrícola en México. Centro de Estadística Agropecuaria. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> (25, enero, 2021).
- Sage, R. F., y Kubien, D. S. 2007.** The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant, cell & environment*, 30(9): 1086-1106.
- Santamaría, C. J., Figueroa V. U., y Consuelo M. M. M. 2004.** Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el distrito de riego 017, Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 22(3): 343-349.
- SIAP, 2018.** Alfalfa verde, Producción y Comercio Exterior. <https://www.google.com/url?client=internal-element-cse&cx=001009928181730403690:azhagrifyx8s&q=https://www.gob.mx/siap/articulos/alfalfa-verde-produccion-y-comercio->

[exterior&sa=U&ved=2ahUKEwj5odCR04XvAhVERK0KHZb_Cf8QFjACegQICBAC&u sg=AOvVaw2Qx7j4JN3XowUrG54fHvbm](#) (1, febrero, 2021).

SIAP, 2020. Alfalfa principal alimento para el Ganado Hidalguense. <https://www.gob.mx/agricultura/hidalgo/articulos/alfalfa-principal-alimento-para-el-ganado-hidalguense?idiom=es> (18, febrero, 2021).

Silva, S. C. D., y Nascimento Jr. D. D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36: 122-138.

Smit, H. J., Tamminga, S., y Elgersma, A. 2006. Dairy cattle grazing preference among six cultivars of perennial ryegrass. *Agronomy Journal*, 98(5): 1213-1220. https://www.researchgate.net/profile/Anjo_Elgersma/publication/40113676_Dairy_Cattle_Grazing_Preference_among_Six_Cultivars_of_Perennial_Ryegrass/links/55241d970cf2b123c51734e2.pdf (11, marzo, 2021).

Smith, L. H., y Marten, G. C. 1970. Foliar Regrowth of Alfalfa Utilizing ¹⁴C-Labeled Carbohydrates Stored in Roots 1. *Crop Science*, 10(2):146-150.

Smith, A. E. 1972. Quantifying carbohydrate fractions in forage plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20(2), 238-240. doi.org/10.1021/jf60180a009

Ta, H. T., Teixeira, E. I., Brown, H. E., y Moot, D. J. 2020. Yield and quality changes in lucerne of different fall dormancy ratings under three defoliation regimes. *European Journal of Agronomy*, 115: 12601. <https://www.academia.edu/download/62326174/FDyieldandquality20200310-109748-frovg3.pdf> (1, marzo, 2021).

Teixeira, E. I., Moot, D. J., y Brown, H. E. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *European Journal of Agronomy*, 28(2): 103-111. https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/4327/defoliation_frequency.pdf?sequence=1 (1, marzo, 2021).

- Tomlinson, K. W., y O'connor, T. G. 2004.** Control of tiller recruitment in bunchgrasses: uniting physiology and ecology. *Functional Ecology*, 18(4): 489-496. <https://doi.org/10.1111/j.0269-8463.2004.00873.x>
- Vázquez, V. C., García H. J. L., Salazar S. E., Murillo A. B., Orona C. I., Zúñiga T. R., Preciado R. P. 2010.** Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(4): 363-372.
- Viteri, O., y Vitaliano, W. 2019.** Fenología, composición química y manejo de las variedades de alfalfa en el Cantón Riobamba. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Posgrado. Lima, Peru: 216 p. <http://190.119.243.88/bitstream/handle/UNALM/4085/o%c3%b1ate-viteri-wilson-vitaliano.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (28, febrero, 2021).
- Volenc, J. J., A. Ourry and B. C. Joern. 1996.** A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. *Plant Physiology*. 97:185-193.
- Wang, S., Jiao, X., Guo, W., Lu, J., Bai, Y., and Wang, L. 2018.** Adaptability of shallow subsurface drip irrigation of alfalfa in an arid desert area of Northern Xinjiang. *PloS one*, 13(4): e0195965.
- Weinmann, H. 1947.** Determination of total available carbohydrates in plants. *Plant physiology*, 22: 279. <https://doi.org/10.1104/pp.22.3.279>
- Wilson García, C. Y., Hernández Garay, A., Ortega Cerrilla, M. E., Bárcena Gama, R., Zaragoza Ramírez, J. L., y Aranda Osorio, G. 2017.** Análisis del crecimiento de tres líneas de cebada para producción de forraje. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2).
- Zhang, H., Li, X., Xu, N., Sun, M. L., Cai, D. J., Sun, G. Y., and Gu, S. 2017.** Alkalinity and salinity tolerance during seed germination and early seedling stages of three alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Legume Res*, 40(5): 853-858.

VII. ANEXOS

Cuadro 5. Rendimiento de Materia Seca (RMS), Relación Hoja:Tallo, Altura de planta y Densidad de plantas (DP), determinadas en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.), variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.

DDR	Variables			
	RMS (Ton MS ha ⁻¹)	R:H/T	Altura de planta (cm)	Densidad de Plantas (plantas m ⁻²)
7	0.7 ^d	1.5 ^a	19 ^d	77 ^{abc}
14	1.1 ^{cd}	1.0 ^{bc}	42 ^c	90 ^{ab}
21	2.0 ^{bc}	1.0 ^{bc}	61 ^b	99 ^a
28	2.5 ^{ab}	1.03 ^b	76 ^a	76 ^{bc}
35	3.5 ^a	0.9 ^{bcd}	77 ^a	92 ^{ab}
42	2.9 ^{ab}	0.6 ^{cd}	68 ^{ab}	78 ^{abc}
49	2.6 ^{ab}	0.6 ^d	65 ^{ab}	62 ^c
\bar{x}	2.24	0.96	58	82
Pr > F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0031
EEM	432	0.12	5.09	8.06
DMS	1234	0.3	14.5	23

Misma letra minúscula en una misma columna no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). Sig= Significancia, EEM= Error Estándar de Media, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 6. Peso de hoja por tallo (PHT), Peso de tallo individual (PTI), intercepción Luminosa (IL) determinada con Regla y Barra light determinadas en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.

DDR	Variables			
	PHT (g MS hoja tallo ⁻¹)	PTI (g MS tallo ⁻¹)	IL_Regla (%)	IL_Barra (%)
7	0.2 ^c	0.2 ^c	60 ^b	61 ^b
14	0.3 ^c	0.3 ^c	90 ^a	93 ^a
21	0.5 ^b	0.4 ^c	94 ^a	98 ^a
28	0.7 ^a	0.9 ^b	95 ^a	96 ^a
35	0.8 ^a	1.0 ^{ab}	96 ^a	96 ^a
42	0.8 ^a	1.1 ^{ab}	94 ^a	97 ^a
49	0.5 ^b	1.2 ^a	94 ^a	97 ^a
\bar{x}	0.5	0.7	89	91
Pr > F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
EEM	0.05	0.09	2.8	5.4
DMS	0.1	0.2	8.1	15.5

Misma letra minúscula en una misma columna no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). Sig= Significancia, EEM= Error Estándar de Media, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 7. Componentes morfológicos expresados en porcentaje (%) de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Cuf-101, cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.

DDR	Variables					\bar{x}	Pr > F	EEM	DMS
	Hoja	Tallo	MM	Maleza	Infl.				
7	57 ^{Aa}	43 ^{Aa}	0.0 ^{Bb}	0.3 ^{Ba}	0.0 ^{Bb}	20	<.0001	6.0	17
14	43 ^{Aab}	49 ^{Aa}	0.0 ^{Bb}	0.6 ^{Ba}	0.0 ^{Bb}	19	<.0001	4.2	11
21	48 ^{Aab}	49 ^{Aa}	0.0 ^{Bb}	2.3 ^{Ba}	0.0 ^{Bb}	20	<.0001	3.1	8
28	43 ^{Aab}	53 ^{Aa}	1.0 ^{Bab}	2.6 ^{Ba}	0.3 ^{Bab}	20	<.0001	3.6	10
35	43 ^{Bab}	52 ^{Aa}	2.3 ^{Cab}	1.3 ^{Ca}	1.3 ^{Cab}	20	<.0001	1.7	4
42	43 ^{Bb}	52 ^{Aa}	2.0 ^{Ca}	1.3 ^{Ca}	2.0 ^{Ca}	20	<.0001	2.1	6
49	35 ^{Bab}	52 ^{Aa}	3.3 ^{Ca}	7.0 ^{Ca}	3.0 ^{Cab}	20	<.0001	1.9	5
\bar{x}	44 ^B	50 ^A	1.0 ^D	2.3 ^C	1.0 ^D	20	<.0001	0.4	1
Pr > F	0.06	0.08	0.008	0.7	0.02				
EEM	5.3	4.8	0.8	5.4	0.8				
DMS	15	13	2.6	15	2.3				

Misma literal minúscula en la misma fila y misma literal mayúscula en la misma columna, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). EEM= Error Estándar de Media, DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 8. Análisis de varianza de los componentes morfológicos, expresados en ton MS ha⁻¹ de aportación al rendimiento total de forraje de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cosechada a diferentes días de rebrote (DDR), en el sureste de Coahuila, México.

DDR	Variables					\bar{x}	Pr > F	EEM	DMS
	Hoja	Tallo	MM	Maleza	Infl.				
7	0.43 ^{Ab}	0.33 ^{Ad}	0 ^{Bb}	0 ^{Ba}	0 ^{Bb}	154	<.0001	51	145
14	0.55 ^{Ab}	0.56 ^{AcD}	0 ^{Bb}	0 ^{Ba}	0 ^{Bb}	226	<.0001	59	167
21	0.87 ^{Ab}	1.02 ^{Abc}	0 ^{Bb}	0 ^{Ba}	0 ^{Bb}	400	<.0001	219	618
28	1.10 ^{Ab}	1.34 ^{Abc}	0.02 ^{Bb}	0.06 ^{Ba}	0.00 ^{Bb}	508	<.0001	112	317
35	1.16 ^{Ba}	1.40 ^{Aa}	0.05 ^{Ca}	0.03 ^{Ca}	0.03 ^{Ca}	540	<.0001	64	181
42	1.11 ^{Ab}	1.33 ^{Abc}	0.05 ^{Bb}	0.03 ^{Ba}	0.05 ^{Bab}	516	<.0001	99	279
49	0.89 ^{Bb}	1.34 ^{Ab}	0.08 ^{Cb}	0.18 ^{Ca}	0.06 ^{Cab}	515	<.0001	52	148
\bar{x}	0.89 ^B	1.05 ^A	0.03 ^C	0.04 ^C	0.02 ^C	409	<.0001	39	111
Pr > F	0.0001	0.0001	0.004	0.063	0.024				
EEM	138	68	19	21	11				
DMS	394	194	54	60	32				

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