

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



**Evaluación productiva de avena (*Avena sativa* L.) a diferentes
edades de la planta**

Por:

JESÚS LÁZARO MENESES LEÓN

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para
Obtener El Título De:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Evaluación productiva de avena (*Avena sativa* L.) a diferentes edades de la
planta

POR:

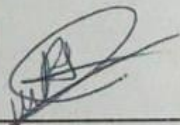
Jesús Lázaro Meneses León

TESIS PROFESIONAL

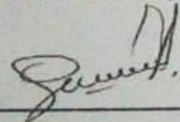
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA


Aprobada por:



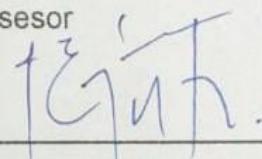
Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez
Asesor Principal



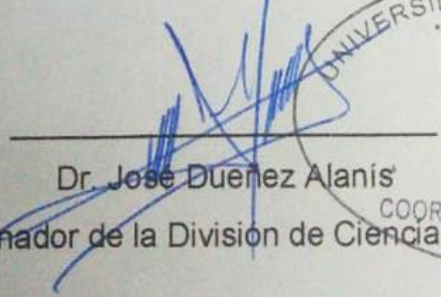
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval
Coasesor



Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Coasesor



Dr. José Eduardo García Martínez
Coasesor



Dr. José Duñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



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

DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Saltillo, Coahuila, diciembre de 2021.

DECLARO QUE:

El trabajo de investigación titulado "Evaluación productiva de avena (*Avena sativa* L.) a diferentes edades de la planta" 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.

Jesús Lázaro Meneses León

Nombre



Firma

RESUMEN

La avena (*Avena sativa* L.) en México, es una fuente importante de alimento para la industria pecuaria y una parte de la producción se destina para consumo de forraje en base húmeda, henificado y grano. El objetivo fue evaluar el comportamiento productivo de avena var. Cuauhtémoc, a diferentes días después de la siembra (DDS), para encontrar el punto óptimo de cosecha, en la estación de otoño. Se utilizó un diseño bloques completamente al azar, con tres repeticiones. Los datos se analizaron mediante el procedimiento PROC GLM de SAS con una comparación de medias con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo a los 97 DDS con 6,198 kg MS ha⁻¹ y el menor a los 41 DDS, con 657 kg MS ha⁻¹. En la composición morfológica, la aportación promedio del tallo fue de 23 %, seguida por la hoja, inflorescencia y material muerto con 15, 8 y 2 %, respectivamente. Similarmente, la aportación en kg MS ha⁻¹ fue de 1,937, 609, 787 y 247, para el tallo, hoja, material muerto e inflorescencia respectivamente. La relación hoja:tallo mostró diferencias del 41 a los 104 DDS, con un valor de 5.4 hasta un 0.06, respectivamente. Así mismo, la altura se incrementó conforme aumento la edad de rebrote, el menor valor se presentó a los 41 DDS con 37 cm, incrementándose hasta una mayor altura a los 90 DDS con 139 cm. El peso por tallo se incrementó desde los 41, 48 y 55 DDS (0.25 g MS tallo⁻¹, promedio) hasta su máximo peso a los 104 DDS (2.1 g MS tallo⁻¹). La hoja tuvo un menor peso a los 41 DDS con 0.06 g MS hoja tallo⁻¹, hasta su máximo a los 76 y 83 DDS con 0.47 g MS hoja tallo⁻¹, promedio. La especie interceptó un máximo de radiación a los 55 y 62 DDS (99 %), respectivamente. En conclusión, el rendimiento, la altura, el peso de hoja y tallo, fueron afectados por la edad de la planta, siendo inverso el comportamiento de área foliar y relación hoja:tallo, así mismo, la fecha óptima de cosecha para *Avena sativa* var. Cuauhtémoc en la estación de otoño es a los 97 DDS.

Palabras clave: *Avena sativa*, productividad y punto óptimo de cosecha, composición morfológica.

ABSTRACT

Oats (*Avena sativa* L.) in Mexico is an important source of food for the livestock industry and part of the production is intended for consumption of forage on a wet basis, hay and grain. The objective was to evaluate the productive performance of oats var. Cuauhtémoc, at different days after sowing (DDS), to find the optimum harvest point, in the autumn season. A completely randomized blocks design was used, with three repetitions. The data were analyzed using the PROC GLM procedure of SAS with a comparison of means with the Tukey test ($P \leq 0.05$). The highest dry matter yield was obtained at 97 DDS with 6.198 kg DM ha⁻¹ and the lowest at 41 DDS, with 657 kg DM ha⁻¹. In the morphological composition, the average contribution of the stem was 23%, followed by the leaf, inflorescence and dead material with 15, 8 and 2%, respectively. Similarly, the contribution in kg DM ha⁻¹ was 1,937, 609, 787 and 247, for the stem, leaf, dead material and inflorescence respectively. The leaf: stem ratio showed differences from 41 to 104 DDS, with a value of 5.4 to 0.06, respectively. Likewise, the height increased as the regrowth age increased, the lowest value was presented at 41 DDS with 37 cm, increasing to a greater height at 90 DDS with 139 cm. The weight per stem increased from 41, 48 and 55 DDS (0.25 g DM stem⁻¹, average) to its maximum weight at 104 DDS (2.1 g DM stem⁻¹). The leaf had a lower weight at 41 DDS with 0.06 g MS leaf stem⁻¹, up to its maximum at 76 and 83 DDS with 0.47 g MS leaf stem⁻¹, average. The species intercepted a maximum of radiation at 55 and 62 DDS (99%), respectively. In conclusion, the yield, height, weight of the leaf and stem were affected by the age of the plant, the behavior of leaf area and leaf: stem ratio being inverse, as well as the optimal harvest date for *Avena sativa* var. Cuauhtémoc in the fall season is at 97 DDS.

Keywords: *Avena sativa*, productivity and optimum harvest point, morphological composition.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, las personas que más amo en este mundo, quienes son mi motor; esas personas maravillosas que siempre han creído en mí a pesar de los tropiezos y que gracias a su esfuerzo constante jamás han dejado que este barco se hunda. Por su apoyo tanto moral como económico, por no dudar ni un solo instante que podría lograrlo, por estar siempre pendiente de mí en todo momento, les amo.

A Dios, por permitirme llegar lleno de salud y rodeado de mis seres queridos hasta este momento y ver cumplidas mis metas, agradecerle porque en los momentos más débiles, me dio la fuerza y tenacidad para salir de ellos y ahora verme realizado profesionalmente.

A mi familia, quiero agradecerles por todo su apoyo y toda su fe depositada en mí, nunca podre agradecerles tanto apoyo y tanto esfuerzo que hicieron por mí, por darme la oportunidad de estudiar, ya que muchas personas no tienen la oportunidad ni los recursos para hacerlo; a toda mi familia sin acepción de nadie, a todos los amos con el corazón.

A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, quien me vio crecer a lo largo de estos largos años y me dio la dicha de cumplir un logro más en mi vida, porque mi “Alma Terra Mater” me ha hecho Buitre por siempre.

A mis amigos, porque ellos me enseñaron que los verdaderos amigos están en las buenas, pero sobre todo en las malas, por ser leales en cada momento y por cada experiencia, agradezco todo lo que me han enseñado, sé que las buenas amistades llegan lejos, saben que los llevare en mi corazón sin importar lo que nos depare el destino. Y a todas aquellas personas que creyeron en mí fielmente gracias.

Muchas gracias.....

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por estar presente durante todo este camino, por ayudarme a crecer como persona, por todas las bendiciones y oportunidades que me ha brindado y principalmente por permitirme concluir esta etapa tan importante en mi vida.

Con todo cariño a mis padres Isaura León Vera y Artemio Meneses Meneses, un pequeño tributo dedicado a ustedes principalmente y a todos sus esfuerzos por haberme dado la oportunidad de formarme como profesionista, sin importar los sacrificios que tuvieron que hacer para lograr de mí lo que ahora soy. Depositando toda su confianza en mí, brindarme su apoyo, sus consejos y guiarme por el camino correcto en mi vida. A mis hermanas, Victoria y Yoselin, porque a pesar de lo diferente que somos siempre me apoyaron y creyeron en todo lo que me propuse. Mi ejemplo a seguir.

A mi papá, Nereo León Vazquez (+) quien, con sus consejos, sabiduría, pero sobre todo su cariño me enseñó a ser responsable, compartiendo lo poco o mucho que tenía sin esperar nada a cambio, nuestro gran roble. Gracias.

A mi Alma Terra Mater y a mis asesores de tesis, por abrirme las puertas y darme de los mejores años de mi vida, en donde conocí gente increíble y me dio las herramientas para ejercer como profesional.

A Rosa Guadalupe Vázquez Galindo, quien fue la persona que me motivo y me apoyo fiel, constante e incondicionalmente para poder concluir con este gran proyecto.

Gracias por creer en mí. Gracias por todo.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-------------|---|-----------|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. | OBJETIVOS | 3 |
| 1.2. | Objetivo general | 3 |
| 1.3. | Objetivos específicos | 3 |
| 1.4. | HIPÓTESIS | 3 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. | Antecedentes de la avena forrajera | 4 |
| 2.2. | Usos e importancia de la avena forrajera | 5 |
| 2.3. | Descripción de la especie en estudio | 7 |
| 2.3.1. | Descripción taxonómica | 7 |
| 2.3.2. | Descripción morfológica | 7 |
| 2.4. | Variedades de avena forrajera y su mejoramiento genético | 10 |
| 2.5. | Requerimientos climáticos y edafológicos del cultivo de avena | 11 |
| 2.6. | Producción de forraje | 13 |
| 2.7. | Calidad del forraje de cereales de grano pequeño | 14 |
| 2.8. | Factores que afectan el rebrote de las plantas | 15 |
| 2.8.1. | Reservas de carbohidratos | 15 |
| 2.8.2. | Índice de área foliar | 16 |
| 2.8.3. | Radiación solar e intercepción luminosa | 17 |
| 2.9. | Plagas y enfermedades en cereales | 18 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| 3.1. | Sitio experimental | 20 |

| | | |
|-------------|------------------------------------|-----------|
| 3.2. | Diseño experimental y tratamientos | 21 |
| 3.3. | Variables medidas | 21 |
| 3.3.1. | Rendimiento de forraje | 21 |
| 3.3.2. | Composición morfológica (CM) | 21 |
| 3.3.3. | Altura de la planta | 22 |
| 3.3.4. | Relación hoja tallo | 22 |
| 3.3.5. | Peso de tallo individual | 23 |
| 3.3.6. | Peso de hoja por tallo | 23 |
| 3.3.7. | Porcentaje de luz interceptada | 23 |
| 3.3.8. | Área foliar por tallo | 24 |
| 3.4. | Análisis estadístico | 24 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| 4.1. | Rendimiento de forraje | 25 |
| 4.2. | Composición morfológica | 26 |
| 4.3. | Altura de planta | 28 |
| 4.4. | Relación hoja:tallo | 30 |
| 4.5. | Peso de tallo individual | 31 |
| 4.6. | Peso de hoja por tallo | 33 |
| 4.7. | Porcentaje de luz interceptada | 34 |
| 4.8. | Área foliar por tallo | 36 |
| V. | CONCLUSIONES | 38 |
| VI. | LITERATURA CITADA | 39 |
| VII. | ANEXOS | 48 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Descripción taxonómica de avena (<i>Avena sativa</i> L.). | 7 |
| Cuadro 2. Principales variedades de avena en México. | 11 |
| Cuadro 3. Plagas que se encuentran en la avena. | 19 |
| Cuadro 4. Análisis de varianza de variables evaluadas en una pradera de avena. | 48 |
| Cuadro 5. Análisis de varianza de variables evaluadas en una pradera de avena. | 49 |
| Cuadro 6. Porcentaje de aportación al rendimiento total de los Componentes morfológicos (%) de avena (<i>Avena sativa</i> L.) cosechada a diferentes días después de la siembra (DDS), en el sureste de Coahuila, México. | 50 |
| Cuadro 7. Aportación (kg MS ha ⁻¹) al rendimiento total de los Componentes morfológicos de avena (<i>Avena sativa</i> L.) cosechada a diferentes días después de la siembra (DDS), en el sureste de Coahuila, México, en la estación de otoño. | 51 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima semanal registradas durante el periodo de estudio del 21 de septiembre al 21 de noviembre del 2019. (Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos_RUOA UNAM-UAAAN). 20
- Figura 2.** Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. RMS= Rendimiento de Materia Seca. Prueba de Tukey (P ≤ 0.05). Medias con las mismas letras sobre las columnas, son estadísticamente iguales. 26
- Figura 3.** Cambios en la composición morfológica de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. Literales minúsculas diferentes en cada fila y mayúsculas diferentes en cada columna son diferentes estadísticamente. Inflor: Inflorescencia. 28
- Figura 4.** Altura de planta (AP; cm) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. Diferente letra minúscula entre DDS (Días después de la siembra), indican diferencias estadísticas (p<0.05). AP = Altura de planta. 29
- Figura 5.** Relación hoja: tallo de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. R: H/T= Relación Hoja:Tallo. Misma literal minúscula entre barras no son diferentes estadísticamente (p>0.05). 31
- Figura 6.** Peso de tallo individual (g MS tallo⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. PTI= Peso de Tallo Individual. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente (p<0.05). 32

Figura 7. Peso hoja por tallo (g MS Hoja⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. Diferente literal minúscula en la misma fila son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$). 34

Figura 8. Porcentaje de luz interceptada (LI), de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra, determinada con el método de la barra light. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). 35

Figura 9. Área foliar por tallo (cm² tallo⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. AF Int = Área Foliar Integrador. Misma literal minúscula en la misma fila no son diferentes estadísticamente ($p > 0.05$). 37

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería de las zonas templadas, áridas y semiáridas del norte de México enfrenta diversos problemas que afectan su productividad, entre ellos, la falta de forraje durante la época invernal, lo cual representa el mayor reto para los ganaderos de esta región. La utilización de cultivos forrajeros anuales invernales es una de las alternativas para enfrentar ese déficit de forraje. En estas regiones, la avena (*Avena sativa* L.) es una de las especies con mayor uso para solventar esta problemática. Este cultivo es un insumo clave para la producción de alimento balanceado de uso pecuario, lo que, aunado a su amplio rango de adaptación en diferentes zonas productoras, lo coloca como cultivo estratégico (De la Garza y Garza, 2013).

La producción de avena forrajera en 2018 fue 763.8 mil toneladas, mayor que lo obtenido al cierre 2017 (SIAP, 2019). El cultivo de avena (*Avena sativa* L.), tiene gran importancia en México, ya que es un insumo clave para la producción de alimento balanceado de uso pecuario, lo que, aunado a su amplio rango de adaptación, tanto en zonas altas, frías y lluviosas, como en ambientes semiáridos; lo coloca como cultivo estratégico. La superficie sembrada de avena forrajera en México es de 124 741 ha, con una producción de 3103 472 ton, con un rendimiento promedio de 24.9 t ha⁻¹ en MV (SIAP, 2018).

La avena forrajera se siembra en casi toda la república. Entre los principales estados productores se encuentra México, Coahuila, Chihuahua, Durango y Zacatecas, los cuales en conjunto producen el 67 % en promedio del total nacional. De éstos, el Estado de México es el único que ha mostrado un crecimiento constante. No obstante, en el periodo 2003-2016 la producción decreció 5.89 % (SIAP, 2017). Durante la última década, su rendimiento ha tenido caídas importantes, especialmente en el periodo 2009-2011, para ubicarse en 9.9 ton-ha⁻¹, muy por debajo del máximo de las 15.5 ton ha⁻¹ que se obtuvieron en 2008, lo cual repercutió directamente en la población y en la disponibilidad de requerimientos; no obstante, en la actualidad

satisface la totalidad de la demanda nacional y se alcanzó un rendimiento de 15.26 ton ha⁻¹(SIAP, 2018).

En el contexto productivo, de las 713,765 hectáreas sembradas en el 2019, el 94% se encuentra mecanizado, 44 % cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que 44 % del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica. Por otro lado, 6.32 % de la producción se encuentra bajo la modalidad de riego por bombeo, 0.07% de riego de gravedad, 0.01% de riesgo por aspersión y el resto temporal (ASERCA, 2021). La avena forrajera ocupa el tercer lugar en la producción de 24 cultivos forrajeros de México, con aproximadamente el 9.8 % de la producción total; los primeros lugares son ocupados por los pastos y la alfalfa verde que se encuentra con el 41.9 y 27.2 % de la producción. La avena forrajera es un cultivo que también se siembra en el ciclo primavera- verano bajo temporal y presenta proporciones muy parecidas a las mencionadas para la avena en grano (SAGARPA, 2017).

1.1. OBJETIVOS

1.2. Objetivo general

Determinar la curva de producción de avena (*Avena sativa* L.), variedad Cuauhtémoc, como estrategias que permita conocer el punto óptimo de cosecha, en la estación de otoño, en el sureste del estado de Coahuila, México.

1.3. Objetivos específicos

- Evaluar semanalmente el crecimiento del cultivo de la avena variedad Cuauhtémoc, en base a variables productivas.
- Identificar la semana de mayor volumen de producción en términos de rendimiento de materia seca total, componentes morfológicos, altura, área foliar, peso de tallo, peso de hoja y radiación interceptada de avena sativa.

1.4. HIPÓTESIS

- El rendimiento de materia seca aumenta a medida que avanza la madurez fisiológica de la planta.
- A mayor madurez fisiológica de la planta de avena se presentaran mejores características productivas de las diferente variables medidas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la avena forrajera

La avena (*Avena sativa* L.) fue introducida a México a finales de los años veintes por un grupo de menonitas, a partir de entonces cobró una singular importancia principalmente en los estados de: México, Coahuila, Zacatecas y Chihuahua entre otros (ASERCA, 2021). La avena es una planta de crecimiento anual, ampliamente cultivada en países con climas templados y subtropicales. El origen de las avenas cultivadas es Asia Central. La historia de su cultivo es desconocida. Los primeros restos arqueológicos se hallaron en Egipto. Debido a que fue considerada como una mala hierba en cereales como cebada y trigo, no llegó a tener mucha importancia como estos cultivos (López-Castañeda, 2011).

Generalmente se cultiva en invierno en los lugares de climas fríos del hemisferio norte. Los principales países productores de avena son Rusia, Canadá, Estados Unidos y Finlandia (INFOAGRO, 2010). Los cultivares de avena común (*Avena sativa* L.) son los más difundidos. La *Avena bizantina* se adapta mejor a condiciones subtropicales más cálidas, la avena aristada (*Avena strigosa*) se adapta a suelos pobres y temperaturas bajas de verano, por lo que se cultiva extensivamente para grano y paja en las partes montañosas del norte de Europa y en algunos lugares de Europa central y oriental donde las condiciones no son favorables para la *avena sativa*. No obstante, los ganaderos grandes y pequeños enfrentan una temporada de menor disponibilidad de forraje de praderas cultivadas y tierras de pastizal, por lo que se ven obligados a buscar alternativas para alimentar apropiadamente a su ganado (Suttie, 2003). Los cereales como la avena, cebada, trigo y triticale pueden ser la alternativa para producir heno y suministrarlo al ganado en la temporada de menor rendimiento de las praderas o de sequía (Keles *et al.*, 2013).

En otras partes del mundo los cereales de grano pequeño se cultivan para forraje en varios tipos de suelo y forman parte del sistema alimenticio de ganado para carne y leche, debido a que se pueden cultivar en condiciones de regadío y temporal y producen rendimientos de materia seca aceptables, por unidad de superficie (Saucedo *et al.*, 2004). La avena forrajera (*Avena sativa* L.) es un cultivo de gran importancia para la alimentación del ganado en México como forraje en verde o henificado. La siembra para forraje se realiza en alrededor de 713 mil ha de temporal, con rendimiento desde 7.5 Mg ha⁻¹ en temporales malos hasta 13.7 Mg ha⁻¹ y en buenos temporales a nivel nacional. Bajo condiciones de riego, la avena forrajera se siembra en aproximadamente 176 mil hectáreas, con rendimiento promedio de 23 Mg ha⁻¹ (Maloney *et al.*, 1999).

2.2. Usos e importancia de la avena forrajera

Se emplea principalmente en la alimentación del ganado, como planta forrajera, en pastoreo, como heno o ensilado; se usa sola o en combinación con leguminosas forrajeras. La paja de avena está considerada como un excelente alimento para el ganado. Este grano es un magnífico forraje en particular para caballos y mulas, así como para el ganado vacuno y ovino. Este cultivo es un insumo clave para la producción de alimento balanceado de uso pecuario y su amplio rango de adaptación en diferentes zonas productoras, lo coloca en el rango de estratégico (Montaño *et al.*, 2017).

El grano de avena se destina al consumo humano, en forma de hojuelas para sopas, atoles o guisos. La planta (hojas, tallos e inflorescencia) se usan como forraje verde o henificado, y el grano se emplea complemento energético o en alimentos balanceados. En la producción mundial de cereales la avena ocupa el quinto lugar, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte (INFOAGRO, 2010). En México, es un importante cultivo forrajero en los Valles Altos y región semiárida del centro y Norte-Centro de México. Se cultiva en condiciones

de temporal y puede ser sembrado cuando las lluvias se retrasan o existe riesgo de heladas cuya intensidad afecta a los cultivos de maíz y frijol (Villaseñor *et al.*, 2003).

La estrategia establecida para avena forrajera dentro de la Planeación Agrícola Nacional es mantener la producción que satisface el abasto nacional al mismo tiempo que se desarrollan proyectos dirigidos a la reconversión hacia cultivos de mayor valor como frutas y hortalizas. La estimación de producción para 2030 es que aumentará de 10.4 a 25.2 mil millones de toneladas (mmt), lo que generaría un superávit de la producción forrajera, sin embargo, se sugiere una producción deseable de 12.6 mmt para que se mantenga equiparable al consumo. La estrategia de mercado de exportación considera la consolidación de la relación comercial con los Estados Unidos, fomentar el uso de los tratados existentes con Japón y Perú, solicitar la reducción de aranceles para exportación y expandir los mercados hacia Suiza, Alemania, España, Bélgica, Italia y Reino Unido (INFOASERCA, 2021).

Asimismo, se sugiere diseñar una estrategia de desarrollo de exportación hacia el mercado de China. Respecto al desarrollo productivo nacional, la táctica está prevista para implementar buenas prácticas para una óptima preparación de suelo, alternativas para captación de agua, implementar una campaña para uso de semilla certificada y mejorada, análisis de suelos que permitan determinar el tipo de fertilización y densidades de siembra acordes a las condiciones de las regiones potenciales y optimizar prácticas para control de maleza y pulgón (SAGARPA, 2017).

2.3. Descripción de la especie en estudio

2.3.1. Descripción taxonómica

La avena es una especie anual de la familia de las monocotiledóneas con la siguiente clasificación:

Cuadro 1. Descripción taxonómica de avena (*Avena sativa* L.).

| | |
|-------------|-----------------|
| Reino | Plantae |
| División | Tracheophyta |
| Subdivisión | Pteropsida |
| Clase | Angiosperma |
| Subclase | Monocotiledónea |
| Orden | Graminales |
| Familia | Gramíneas |
| Tribu | Aveneae |
| Genero | <i>Avena</i> |
| Especie | <i>Sativa</i> |

Fuente: Robles (1983).

2.3.2. Descripción morfológica

Con base en lo reportado por Parson (1989), la *avena sativa* se caracteriza por la aparición de la radícula, seguida casi inmediatamente por las raíces, corresponde a la primera etapa de la germinación. Estas raíces embrionarias presentan pocas ramificaciones y crecen sólo hasta que las plantas alcanzan un estado promedio de tres hojas. A continuación, se describen sus componentes morfológicos y desarrollo de avena sativa.

- a) Raíz principal: La raíz principal es de tipo adventicio, muy ramificada. Este sistema de raíces se origina inicialmente a partir del subnudo que se ubica en

el punto de unión del mesocótilo con el coleoptilo; poco después comienza a expandirse, desarrollándose también raíces principales desde los subnodos siguientes.

- b) Coleoptilo y mesocotilo: El coleoptilo, que es la estructura que emerge inicialmente desde la semilla hacia arriba, se aproxima a la superficie del suelo a través de la elongación del mesocotilo; este último, al llegar a una distancia de 1.0 a 2.5 cm de la superficie, deja de crecer para dar paso a la elongación del coleoptilo, el cual continúa con el crecimiento de la plántula hasta lograr la emergencia y la formación del tallo.

- c) Tallo principal: El tallo principal es erguido, alcanza una altura que fluctúa de 0.5 m hasta más de 1.5 m; el primer subnodo corresponde a la unión del escutelo con el embrión; el segundo subnodo, en tanto, corresponde al punto de unión del mesocotilo con el coleoptilo, siendo este el lugar en que se ubica el punto de crecimiento. Los tallos, que son huecos a nivel de los internodos y macizos a nivel de los nudos, pueden ser desde bastante gruesos, hasta finos y flexibles, cada tallo presenta en promedio seis nudos aéreos, desde los cuales, a su vez, surgen hojas en forma alternativa.

- d) Hojas: Las hojas son de un color verde intenso, de nervadura paralela y en el caso de la *Avena sativa* L., alcanza hasta 2 cm de ancho, superando a las hojas de trigo y cebada.

- e) Etapa de macollo: A partir del estado de segunda hoja, comienza el crecimiento de macollos desde yemas ubicadas en los subnodos del eje principal. Los macollos corresponden a brotes laterales y su desarrollo sigue el mismo modelo del tallo principal; así, un macollo va emitiendo hojas y produciendo raíces adventicias durante su desarrollo vegetativo.

- f) Etapa de encañado: La planta, además de producir en promedio tres internudos subterráneos que no se elongan, produce seis a siete internudos aéreos que si los hacen; el nudo apical del primer internudos que se elonga es el que porta la panícula, siendo ese mismo nudo el que se detecta subterráneamente al comenzar la etapa de encañado.
- g) Inflorescencias: Las inflorescencias de la planta de avena es una panícula o panoja más bien abierta, suelta y de tipo compuesta; presenta un eje principal o raquis central frágil, y ejes o raquis secundarios que corresponden a ramas provenientes del eje principal. Los ejes o raquis secundarios, por su parte, que son largos y delgados, pueden tener una disposición unilateral, es decir, todos a un solo lado del eje principal o equilateral; en este último caso, que es el más común, los ejes secundarios aparecen distribuidos en un número similar a cada lado del eje principal de la panícula.
- h) Espiguilla: Las espiguillas, que son colgantes, se producen en los ejes secundarios, presentándose unidas a éstos por medio de un pedicelo. El número de espiguillas por panícula es muy variable y depende principalmente del cultivar, pudiendo encontrar entre 20 y 150 espiguillas por panícula. Las espiguillas de los cultivares modernos producen dos granos, uno primario y uno secundario, los cuales provienen de dos antecios fértiles no aristados; en los cultivares antiguos, en cambio, se aprecian espiguillas que contiene hasta tres granos, los cuales provienen de antecios con aristas. Las espiguillas de avena son de auto polinización, presentando un porcentaje de polinización cruzada que en promedio alcanza solo a 0.5 %.
- i) Semilla: Cada semilla está contenida en un fruto llamado cariósipide, el cual exteriormente presenta una estructura denominada pericarpio; éste corresponde a la fusión de las paredes del ovario y se presenta unida la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endospermo y el embrión, el cual a su vez está constituido por la coleoriza, la radícula, la plúmula

u hojas embrionarias, el coleoptilo y el escutelo o cotiledón. Las semillas, que son alargadas y acanaladas, pueden ser dependiendo del cultivar, oblongas o cilíndricas. Su color varío comúnmente del blanco al amarillo, aunque también hay cuyas semillas presentan colores que varían del violáceo al negro. En la avena los granos conservan el lema y la pálea después de la trilla, lo que determina que sean cubiertos.

2.4. Variedades de avena forrajera y su mejoramiento genético

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha liberado variedades para siembras de temporal con mayor rendimiento de forraje y grano, calidad, tolerantes a sequías, así como a plagas y enfermedades, entre estas destacan: Karma, Obsidiana, Cevamex, Menonita Saia, para las regiones del centro-sur del país y Teporaca, Turquesa, Menonita, Papigochi, Cuauhtémoc, Pampas y Tulancingo para el norte del territorio mexicano (INIFAP, 2013). Dentro de este género se integran tres grupos de especies con 7, 14 y 21 pares de cromosomas. Entre las de 7 cromosomas se incluyen *Avena brevis* avena corta, de panoja unilateral y grano pequeño. *Avena nudibrevis*, también de grano pequeño y desnudo. Las del grupo de 14 cromosomas son *Avena barbata* y *Avena abyssinca*. El grupo de 21 cromosomas reúne las especies de mayor interés agrícola, y las de mayor cultivo: avena blanca y avena roja.

La avena blanca o *Avena sativa* se derivó de la avena silvestre o *Avena fatua*. La avena roja o *Avena byzantina* se cultiva principalmente en regiones muy calientes y es un derivado de la avena roja silvestre denominada *Avena sterilis* (Espitia *et al.*, 2012). Las especies de los diversos grupos pueden cruzarse entre sí produciendo híbridos, sin embargo, los híbridos entre las de siete y veintiún cromosomas son difíciles de conseguir. La avena está clasificada comercialmente como Blanca, Roja, Gris, Negra y Mixta. Se han catalogado más de 6 mil variedades, existiendo grandes diferencias en cuanto a la época de maduración, aunque todas ellas tienen rasgos comunes (Squella y Ormeño, 2007). La variedad de avena forrajera con mejor

comportamiento agronómico en el altiplano de Tamaulipas es Cuauhtémoc, la cual fue generada por el INIFAP. Estas variedades de uso forrajero, presentan un ciclo tardío, en temporal florece entre los 55 y 66 días y alcanza su madurez fisiológica entre los 99 y 111 días (Santoyo y Quiroz, 2010).

Cuadro 2. Principales variedades de avena en México.

| Variedad | Granos kg ⁻¹ | kg grano ha ⁻¹ | Forraje (kg ha ⁻¹) |
|-------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Cuauhtémoc | 31,250 | 1,820 | 6,480 |
| Chihuahua | 38,460 | 1,920 | 6,350 |
| Diamante | 38.460 | 2,080 | 3,860 |
| Tarahumara | 50.000 | 1,900 | 4,900 |
| Paramo | 26,737 | 2,140 | 5,850 |
| Tulancingo | 35,000 | 2,400 | 5,500 |
| Papigochi | 25,000 | 2,850 | 7,000 |
| Pampas | 26,300 | 2,540 | 4,413 |
| Babicora | 31,250 | 2,565 | 5,680 |
| Raramuri | 31,250 | 2,040 | 5,500 |
| Cusihuiachi | 47,600 | 2,380 | 5,730 |
| Juchitepec | 33,000 | 2,880 | 5,809 |

Fuente: INFOASERCA (2021).

2.5. Requerimientos climáticos y edafológicos del cultivo de avena

Este cultivo se adapta mejor a las regiones húmedas y frías, sensible a altas temperaturas, especialmente en las etapas de floración y formación de grano. Para mejor desarrollo requiere mayor humedad que cualquiera de los demás granos pequeño, aunque tiene baja tolerancia al exceso de ella. Cuando el grano se está desarrollando, el tiempo caliente y seco, a menudo ocasiona un llenado deficiente y bajo rendimiento. El tiempo caliente y húmedo, por otro lado, favorece el desarrollo de los organismos patógenos a los cuales es particularmente susceptible. Es un cultivo rústico, prefiere suelos profundos y de textura media, aunque es poco exigente en las

características del suelo y se desarrolla bien en suelos ligeramente ácidos a neutros (Montoya, 2017).

Se puede cultivar en una gran variedad de condiciones y tipos de suelos, pero los mejores resultados se obtienen con suelos que tengan como características una estructura granular que permita la aireación y el movimiento del agua en el suelo; un perfil de tierra cultivable de más de 30 cm. Para un enraizamiento adecuado, se necesita suficiente materia orgánica y un pH menor a siete (FAO, 2004). La naturaleza del suelo que requiere la avena forrajera es arcilloso o franco-arcilloso con retención de agua, por lo que las regiones centro y sur del país presentan la mayor cantidad con potencial productivo (SADER, 2018).

Lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica que resulta de la acumulación de los grados días. La integral térmica en los cereales es muy variable según la variedad que se cultive, comprende de los 1,850 °C y 2,375 °C (Santoyo y Quiroz, 2010). Al igual que el trigo, requiere de un periodo de vernalización en las primeras etapas de desarrollo para lograr una buena floración. Es durante el periodo de vernalización cuando se comporta como una especie tolerante al frío, condición que desaparece en las etapas posteriores. La vernalización a 2-5 °C por 1 a 7 semanas acelera la emergencia de panículas y produce un mayor número de panículas por planta (Da Silva, 2019).

Existen cultivares indiferentes a la duración del día, pero de manera natural la avena se considera una especie de día largo. La avena prefiere suelos arcillo-limosos y franco-arcillosos, no calcáreos, con una textura limosa como la óptima para su crecimiento y desarrollo. Se adapta mejor a suelos profundos de entre 40 y 60 cm y con pH de 4.5 a 7.5, con un óptimo entre 5 y 6. Además, se desarrolla en suelos planos con baja pendiente hasta un máximo de 8 %, requiere de 400 a 1300 mm por ciclo y tolera sequías no prolongadas. En temporal, se requiere que se acumulen de 250 a 770 mm durante el ciclo de desarrollo, siendo el óptimo 500 mm (FAO, 1994). En

general, los cereales de invierno necesitan entre 300 y 400 mm de agua por año. Una alta humedad del aire y altas temperaturas limitan el cultivo de los cereales pues estas condiciones propician el desarrollo de enfermedades. Se desarrolla en altitudes por arriba de 1,500 msnm en zonas tropicales y de 1,000 a 3,000 msnm en zonas templadas. Los requerimientos de precipitación son de 250 a 800 mm ciclo⁻¹, con un óptimo de 500 mm (Berlinjin, 1984).

2.6. Producción de forraje

El uso de los cereales de grano pequeño, como forraje para alimentar ganado lechero o par carne, es una alternativa para solucionar la falta de materia seca y nutrimentos en la época de sequía; o para reducir la siembra de cultivos con mayor demanda de agua para riego (Lozano *et al.*, 2000). A pesar de esto, pocas investigaciones sobre rendimiento de materia seca y calidad de forraje se han realizado en algunos cereales de grano pequeño con él con el objetivo de identificar el punto óptimo conveniente para ser cosechados. Algunos resultados para rendimiento de materia seca de avena, cebada, trigo y triticale revelan variabilidad debida al clima, suelo, fertilización, densidad de siembra y las respectivas interacciones (Colin-Rico *et al.*, 2009). Se reporta mayor cosecha de materia seca al cortar el cultivo de cereales en estado de desarrollo de inflorescencia con grano; sin embargo, con el avance de la madurez de las plantas disminuye la proteína cruda y materia seca más digestible (Colin-Rico *et al.*, 2009).

La producción de materia seca según datos publicados por Cherney y Marten (1982), y Brignall *et al.* (1988), registraron que hay un incremento de la biomasa conforme avanza la madurez fisiológica del cultivo. Así mismo, se ha demostrado que las altas temperaturas inducen a un proceso rápido del crecimiento y en consecuencia una acumulación más rápida de materia seca, lo que acelera también la biosíntesis de la lignina y la conversión de productos fotosintéticos, dando por resultado la reducción de los metabolitos (aminoácidos, nitratos, carbohidratos) en las células (Van Soest, 1994). La paja es blanda, se recomienda cortar cuando el grano se encuentra en

estado lechoso masoso, dado que es cuando posee mayor riqueza de sustancias nutritivas, generalmente se obtienen rendimientos entre 2,000 y 4,000 kg MS ha⁻¹ de grano y de hasta 40 ton MV ha⁻¹ (Márquez, 1985).

2.7. Calidad del forraje de cereales de grano pequeño

La calidad de forraje en los cereales de grano pequeño cambia marcadamente conforme se avanza hacia su madurez fisiológica. La optimización en la producción y uso de cereales forrajeros de grano pequeño implican la interacción de la variedad, fecha de siembra, fecha de corte y el tipo de forraje deseado. Los cereales pueden cultivarse con dos propósitos, como fuente de forraje o para la obtención y aprovechamiento del grano. Como forraje, los cereales son ricos en carbohidratos y pobres en proteínas y su valor nutricional depende del grado de crecimiento en el momento de la cosecha. El contenido de proteína de la materia seca de los cereales forrajeros generalmente va del 8 al 12%. En el momento de la formación de la espiga, el porcentaje de fibra bruta se incrementa como consecuencia al gran aumento de los carbohidratos solubles (McDonald *et al.*, 1979).

Las semillas de cereal presentan altas concentraciones de carbohidratos, el principal es el almidón, la proteína varía del 8 al 12%. Carecen de aminoácidos esenciales como la lisina y metionina. Los aceites de cereales son no saturados, siendo los principales el ácido linoleico y el oleico. El contenido de fibra bruta es más alto en los granos cubiertos por la gluma como la avena, y más bajo en los llamados granos desnudos como el trigo. Todos los cereales son deficientes en calcio con menos de 0.1%, de fósforo varía entre 0.3 y 0.5%, son deficientes en vitamina D y vitamina A, son buenas fuentes de vitamina E y tiamina (McDonald *et al.*, 1979).

La composición química de la materia seca de las plantas, de cereales con potencial forrajero, depende del estado de desarrollo de las plantas al momento de la cosecha y la proporción de los componentes morfológicos de las plantas. Plantas de cereal en estado de desarrollo en llenado de grano son menos digestibles que en

estado de desarrollo de embuche, debido a que con la madurez disminuye la digestibilidad (Cherney y Marten, 1982). La lámina de las hojas de las plantas de cereales es más digestible que las vainas o los tallos, por tener menor contenido de pared celular y lignina (Baron y Kibite, 1987).

2.8. Factores que afectan el rebrote de las plantas

La defoliación tiene efectos inmediatos como: Reducción instantánea de la fotosíntesis, decae la actividad radical y la absorción de nutrientes, se reducen los niveles de azúcares (carbono) presentes en los tejidos. Posteriormente ocurre la recuperación del área foliar, entonces pueden observarse en las plantas; movilización y utilización de reservas, fotosíntesis compensatoria, partición preferencial a nuevos tejidos aéreos, movilización de las reservas de nitrógeno a partir de las partes aéreas más viejas y de la raíz (Basingalup *et al.*, 2007).

2.8.1. Reservas de carbohidratos

Para lograr que una pradera exprese su máximo potencial comerciales, la cosecha debe realizarse cuando la planta ha restituido sus reservas de carbohidratos y producido las yemas para el próximo crecimiento. A este nuevo crecimiento se le llama rebrote, un nuevo ciclo de crecimiento o acumulación de materia seca con el tiempo (Silva y Nascimento, 2007). Aunado a lo anterior, además de la “histórica” removilización de reservas (que inicialmente también tiene un costo energético para la planta), es la presencia de tejidos “activos” en términos de captación de recursos que permitan recomponer rápidamente las partes aéreas (restos de hojas o macollos jóvenes, presencia de raíces activas que permitan el flujo de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo), (Basingalup *et al.*, 2007).

2.8.2. Índice de área foliar

El concepto de índice de área foliar, es un concepto propuesto por Watson, citado por Silva y Nascimento Jr (2007), como una manera de medir y comparar la capacidad productiva de una planta o praderas. El índice de área foliar es la cantidad de superficie de las hojas presentes por unidad de área de suelo. Conforme aumenta el índice de área foliar, aumenta la cantidad de radiación solar fotosintéticamente activa interceptada por las plantas hasta alcanzar un máximo (Hodgson, 1990). Cuando ocurre lo anterior, la tasa de crecimiento es máxima y al índice de área foliar correspondiente se le llama índice de área foliar óptimo. Cuando se presentan índices de área foliar superiores al óptimo, la cantidad de hojas inferiores sombreadas será mayor y gradualmente se volverán de color amarillento y morirán (Hodgson, 1990; Baguet y Bavera, 2001). Así mismo, el índice de área foliar se ha relacionado con la interceptación de la radiación solar y la acumulación de materia seca, en cada rebrote. El índice de área foliar es producto de la cantidad de hojas, elongación del tallo y la distribución de las hojas en el tallo (Chapman y Lemaire, 1993). La relación entre la superficie cubierta por las hojas y la superficie del suelo (IAF) es un parámetro muy importante también en especies forrajeras, ya que es la parte aérea la que capta la radiación solar y condiciona a la fotosíntesis (Ugarte, 2014). El IAF depende de distintos factores como:

- El tamaño individual de las hojas.
- El número de macollos o ramificaciones.
- El número de hojas presentes en cada macollo o ramificación.
- La disponibilidad de nitrógeno y agua.
- La longevidad de los órganos foliares.

Teóricamente las máximas tasas de crecimiento y rendimientos ocurren cuando la pastura se mantiene con el IAF óptimo. Sin embargo, las hojas disminuyen en eficiencia con la edad por lo que la pastura debe necesariamente ser cosechada

periódicamente para prevenir pérdidas por senescencia. Asimismo, el valor nutritivo también disminuye con el aumento de la edad (Watson, 1958).

2.8.3. Radiación solar e interceptación luminosa

El ambiente lumínico de una cubierta vegetal es normalmente muy heterogéneo. La parte superior del mismo recibe la totalidad de la luz incidente, disminuyendo esta exponencialmente con la profundidad dentro de los estratos foliares. La intensidad de la luz en una localidad determinada depende de la latitud, de la estación del año y de las variaciones diarias; la capacidad de una planta o cultivo para interceptarla depende del hábito de crecimiento, del ángulo de incidencia de la luz, así como de la transmisión de la luz a través de la trama de vegetación (Carámbula, 2003). La producción de materia seca de una pastura en activo crecimiento está limitada por la utilización de la luz, dado que el efecto más importante de la intensidad de la luz está relacionado a la tasa fotosintética (Ludlow, 1976).

La competencia por la interceptación de la luz es importante e intensa durante el crecimiento de la pastura y por lo tanto la luz incidente, la capacidad de respuesta de la misma son uno de los factores más importantes para la producción y estabilidad de la pastura. El manejo del factor lumínico es de vital importancia para el rendimiento y persistencia de la pastura. Un determinado manejo de la defoliación estará entonces fijando un valor de luminosidad interceptada y consecuentemente determinará condiciones favorables o adversas para expresión del rendimiento, y a largo plazo su estabilidad y persistencia (Leconte, 1986). En una pastura luego de una defoliación el sombreado entre hojas es mínimo y la fotosíntesis por unidad de área de hoja es máxima pero el crecimiento es bajo. Algo de la luz solar puede estar incidiendo en el suelo sin ser utilizada (Dotta y Quintero, 2018).

A medida que empieza el crecimiento, aumenta el índice de área foliar y aunque la fotosíntesis por unidad de área de hoja disminuya producto de un mayor sombreado entre ellas, la eficiencia de utilización de luz y la tasa de crecimiento aumentan.

Teóricamente las máximas tasas de crecimiento y rendimientos ocurren cuando la pastura se mantiene con el IAF óptimo. Sin embargo, las hojas disminuyen en eficiencia con la edad por lo que la pastura debe necesariamente ser cosechada periódicamente para prevenir pérdidas por senescencia. Asimismo, el valor nutritivo también disminuye con el aumento de la edad (Williams, 1980).

2.9. Plagas y enfermedades en cereales

Las larvas de numerosos insectos que viven en el suelo parasitan las semillas o las plántulas jóvenes, durante el proceso de germinación y emergencia (López 1991). Entre las especies de insectos de suelo más importantes se encuentran: Gallinas ciegas (*Phyllophaga spp.*), pueden cortar parcial o totalmente las raíces de las plantas provocando su marchitez o muerte. Cuando no destruyen completamente las raíces, las plantas sufren enanismo y no producen espigas (Santoyo y Quiroz, 2010). Gusanos de alambre (*Agriotes spp.*), se encuentran como los insectos más nocivos que infestan el suelo por que la larva puede permanecer de 1 a 6 años sin importar las labores de labranza, en las plantas adultas provoca debilitamiento generalizado, marchitez y retraso en el crecimiento (Robles, 1990). Pulgones o piojillos (*Aphis spp.*, *Sitobion spp.*), provocan amarillamiento de las hojas, granos arrugados, poco desarrollo, espigas cubiertas de fluido blanco (Santoyo y Quiroz, 2010). Otra es la roya del tallo causada por *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *Avenae*, es considerada el factor biótico que más afecta al cultivo de avena (*Avena sativa* L.), disminuyendo el rendimiento y peso de grano en variedades susceptibles, en 75% y 60%, respectivamente. La estrategia que más ha apoyado al control de esta enfermedad es el uso de variedades resistentes, requiriéndose constantemente de fuentes de resistencia (Beltrán Aso *et al.*, 2017).

Cuadro 3. Plagas que se encuentran en la avena.

| | |
|-------------------|---|
| Fusariosis | <i>Fusarium spp.</i> |
| Pie negro | <i>Gaeumannomyces graminis</i> |
| Mancha oval | <i>Pseudocercospora herpotrichoides</i> |
| Rizoctonia | <i>Rhizoctonia spp.</i> |
| Helminthosporosis | <i>Helminthosporium spp.</i> |
| Rincosporosis | <i>Rhynchosporium secalis</i> |
| Oidio | <i>Erysiphe graminis</i> |
| Roya amarilla | <i>Puccinia striiformis</i> |

Fuente: Beltrán Aso *et al.* (2017).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo del 21 de septiembre del 2019 al 21 de noviembre 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 experimental 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).

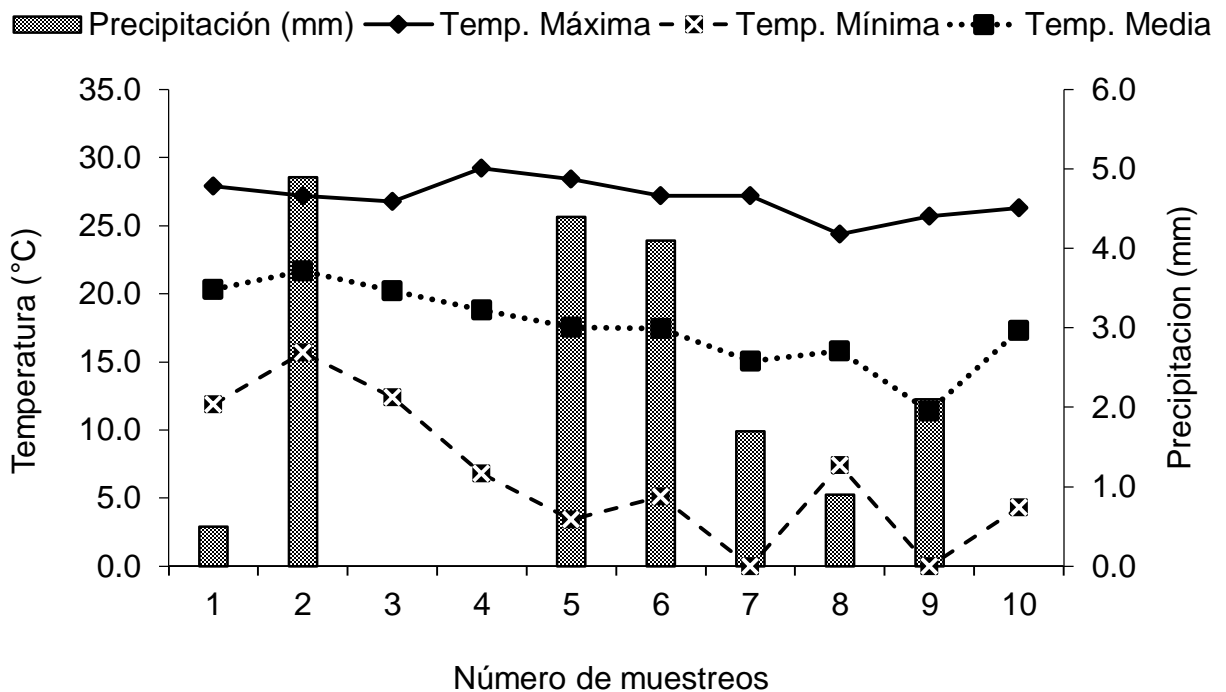


Figura 1. Distribución de la precipitación y temperatura promedio, máxima y mínima semanal registradas durante el periodo de estudio del 21 de septiembre al 21 de noviembre del 2019 (Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos_RUOA UNAM-UAAAN).

3.2. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizaron tres camas de 12 m² (1 x 12 m) establecida el 19 de agosto de 2019, en las que se realizó una siembra con avena (*Avena sativa* L.) var. Cuauhtémoc, con el método por chorrillo y se utilizó un riego por goteo con cintilla subterránea calibre 6000. Las camas fueron divididas en 10 parcelas de 1.5 * 1.5 m, con tres repeticiones (unidad experimental). Los tratamientos fueron cortes sucesivos semanales durante 10 semanas de rebrote, iniciando a los 41 días después de la siembra (DDS), distribuidos en bloques al azar, con tres repeticiones continuos en las tres repeticiones. El día 21 de septiembre de 2019 se realizó el primer muestreo o corteo, utilizando una hoz, cortando el forraje a una altura de 12 cm al nivel del suelo. Posteriormente se practicaron cortes hasta el 21 de noviembre, con la misma intensidad de defoliación.

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 kg de materia seca por hectárea (kg MS ha⁻¹).

3.3.2. Composición morfológica (CM)

De la muestra de forraje cosechado en 0.25 m², se obtuvo una sub-muestra del 10% aproximadamente, la cual se separó en: hoja, tallo, material muerto e inflorescencia. Cada uno de los componentes separados se colocó en bolsas de papel con su identificación, donde fueron secados en una estufa por 72 horas. Finalmente

se pesaron en una báscula analítica, para su posterior estimación en porcentajes y kg de MS ha⁻¹ de aportación al rendimiento total de forraje de cada componente, utilizando las siguientes formulas:

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

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

3.3.3. 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.

3.3.4. Relación hoja tallo

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

$$R: H/T$$

Dónde:

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

H = Peso de la hoja (kg MS ha⁻¹).

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

3.3.5. 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).

3.3.6. 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)

3.3.7. Porcentaje de luz interceptada

La determinación del porcentaje de luz interceptada por la pradera se utilizó una barra light o sensor de quantum de 70 cm de longitud, modelo PS-100, Apogee, Inst, Utah, USA. Se tomaron tres lecturas por repetición, entre las 11:30 am. y 12:30 pm, horario en el cual los rayos del sol inciden perpendicularmente sobre la superficie de la pradera. Las lecturas fueron sobre el dosel de la planta que representaron el 100 % de la luz recibida y bajo el dosel de esta, nivelando la barra con una burbuja de agua que representó 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 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$).

3.3.8. Área foliar por tallo

Se seleccionaron al azar 10 tallos dentro de la parcela, donde se colectaron en bolsas de papel y se separaron en hojas se acomodaron en una hoja de papel y se pasaron en equipo integrador de área foliar modelo CI-202 marca CID, y se registraron los datos en cm^2 de área foliar.

3.4. Análisis estadístico

Para determinar el efecto de edad de rebrote, se llevó a cabo un análisis de varianza 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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de forraje

En la Figura 2 se muestran los rendimientos de forraje de avena variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes edades después de la siembra, en la estación de otoño 2019. Se presentaron diferencias estadísticas entre los rendimientos de las diferentes edades de la planta ($p < 0.05$). El mayor valor se presentó a los 97 DDS con 6,198 kg MS ha⁻¹, siendo similar estadísticamente desde los 69 a los 104 DDS ($p < 0.05$). La menor producción se presentó en las primeras dos fechas de muestreo con rendimiento de 657 y 916 kg MS ha⁻¹, respectivamente, con similitudes ($p < 0.05$) del 41 a los 69 DDS. Conforme la planta aumento su edad, el rendimiento de forraje se incrementó, manifestado en una ecuación de ajuste de tipo exponencial con un $R^2 = 0.93$. De acuerdo con Wilson *et al.* (2018), reportaron un incremento progresivo en la acumulación de forraje de avena hasta una máxima producción a los 84 DDS. Estos autores encontraron rendimientos de 3287, 3139, 3686 y 2746 kg MS ha⁻¹, en las variedades Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia, respectivamente.

Jiménez (2012), reporto que los mayores rendimientos de materia seca a los 90 y 75 días después de la siembra se debieron a la mayor tasa de crecimiento (TC) que presentaron en forma numérica y general. Montes *et al.* (2020) presentaron entre los días 30, 45, 60 y 75 diferencias estadísticas ($p < 0.05$) con 772, 1 921, 2 042 y 3 649 kg MS ha⁻¹ respectivamente; sin embargo, a partir del día 90 las diferencias no fueron significativas ($p > 0.05$), donde el máximo rendimiento de forraje (5,355 kg MS ha⁻¹) se obtuvo a la edad de 120 días después de la siembra. Comparado con este experimento el máximo rendimiento se obtuvo a la edad de 97 días con 6,198 kg MS ha⁻¹. Wilson *et al.* (2018) demostraron que el mayor rendimiento para avena variedad Turquesa se obtuvo a los 112 días después de la siembra con 6,702 kg ha⁻¹ en estado lechoso-masoso. Zartash *et al.* (2018), reportaron aproximadamente 5,000 kg MS ha⁻¹ a los 160 días después de la siembra. Así mismo se reportaron 6,074 kg MS ha⁻¹ de

rendimiento en grano de avena Chihuahua a los 164 días después de la emergencia en el ciclo verano-otoño (Hernández *et al.*, 2018).

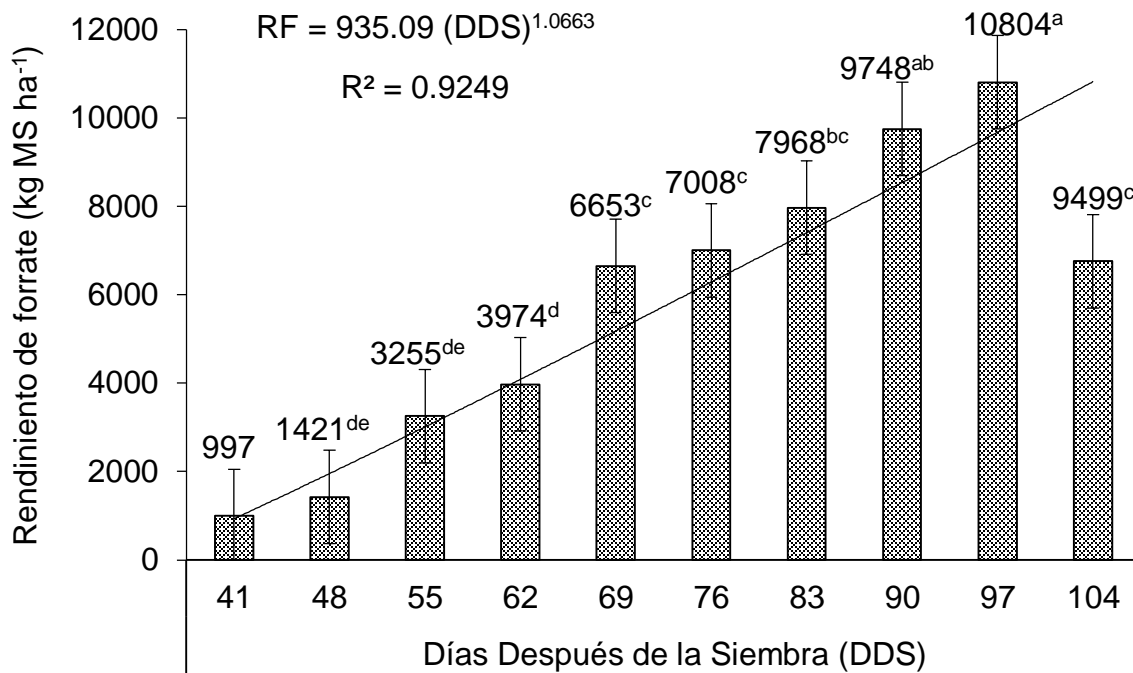


Figura 2. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. RMS= Rendimiento de Materia Seca. Medias con las mismas letras minúscula sobre las columnas, no son estadísticamente iguales (Tukey; P > 0.05).

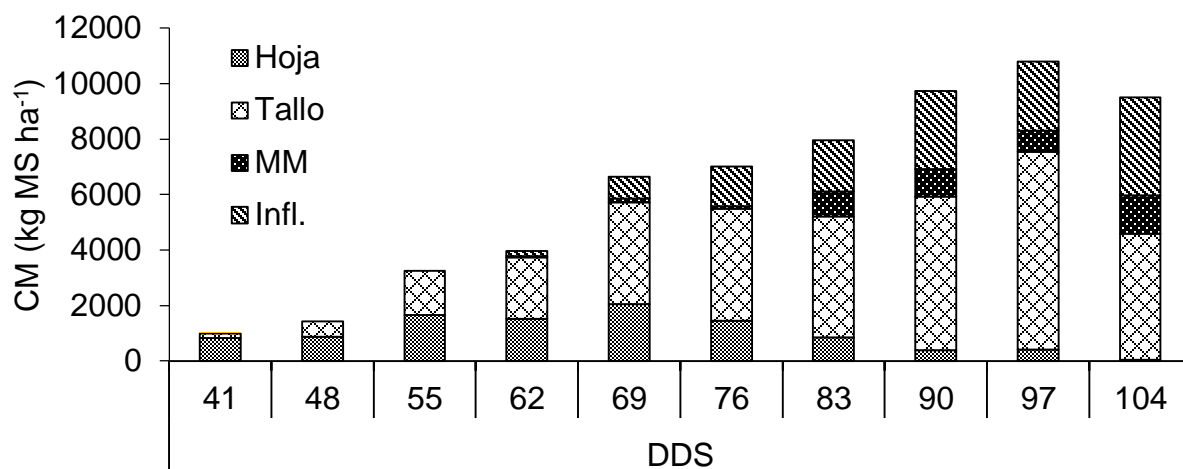
4.2. Composición morfológica

El componente hoja sobresalía por arriba del 80% a los 41 días después de la siembra, sin embargo, conforme aumento la edad de la planta el rendimiento de esta fue descendiendo hasta llegar por debajo del 10% a partir del día 90 después de la siembra. Por lo contrario, el tallo inicio con un valor superior al 10% a los 41 DDS, incrementando el porcentaje de aportación al rendimiento conforme a pasaron los días del experimento presentando valores superiores al 50% a partir del día 69 DDS (Figura 3). Por otra parte el material muerto inicio su presencia a partir del día 62 DDS, esto puede ser debido a que las muestras contenían material muerto que son desechadas

fisiológicamente por la planta de acuerdo a su edad sumado a esto el incremento de este componente a partir de los 83 DDS fue causado por la aparición de roya (*Puccinia graminis*) la cual es una enfermedad que se presenta en días soleados y templados (20-25°C) y temperaturas nocturnas entre 15 y 20°C con presencia de rocío y viento para que las esporas puedan diseminarse para infectar nuevas plantas de avena (Campos y Giménez, 2011). En contraste, el componente flor se manifestó a partir del día 62 debido a la edad de la planta, incrementando su aportación de manera proporcional con un valor superior al 35% en el día 104 después de la siembra.

En cuanto a la aportación total al rendimiento en kg MS ha⁻¹, el componente morfológico que mayor aporte presento fue el tallo con 7,136 kg MS ha⁻¹ a los 97 DDS seguido por la inflorescencia (2,826 kg MS ha⁻¹ a los 90 DDS) y el tallo (2,054 kg MS ha⁻¹ a los 69 DDS). Todos los componentes hicieron aportación al rendimiento excepto la maleza ya que esta fue controlada desde el principio del estudio. La anterior tendencia se confirma en los promedios generales (Cuadro 7; Anexos) donde el tallo y la inflorescencia con 3,370 y 1,313 kg MS ha⁻¹, aportan la mayor cantidad al rendimiento seguidos por la hoja y el material muerto con 1,007 y 430 kg MS ha⁻¹. La comparación entre componentes muestra que hasta los 90 y 77 DDS, el tallo y la inflorescencia hicieron mayor aporte ($p < 0.05$), a los 69 DDS la hoja aportó la mayor cantidad al rendimiento.

En todo el estudio el menor aporte en kg MS ha⁻¹ lo registran el material muerto. Es evidente que a una etapa temprana de crecimiento la avena mostrara una mayor cantidad o proporción de hoja que de tallo, ya que se encuentran en crecimiento vegetativo y el tallo no ha elongado en toda su plenitud, Jiménez (2012). Sin embargo, Wilson (2015), observó que a partir de los 84 DDS, la cantidad de tallos y material muerto se incrementó; el peso de la hoja fue inferior al tallo ya que la relación entre los componentes tallo y material muerto están correlacionados de manera positiva respecto a la edad de las plantas.



| | | | | | | | | | | |
|-----------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hoja (%) | 83 ^{Aa} | 64 ^{Ba} | 51 ^{Ca} | 39 ^{CDb} | 31 ^{DEb} | 21 ^{EFb} | 10 ^{FGc} | 4 ^{Gc} | 4 ^{Gbc} | 0.6 ^{Gd} |
| Tallo (%) | 17 ^{Db} | 36 ^{Cb} | 49 ^{ABCa} | 56 ^{ABa} | 55 ^{ABa} | 58 ^{ABa} | 55 ^{ABa} | 57 ^{ABa} | 66 ^{Aa} | 48 ^{BCa} |
| MM (%) | 0 ^{Cc} | 0 ^{Cc} | 0 ^{Cb} | 1.3 ^{Cc} | 2 ^{Cd} | 1.3 ^{Cc} | 11 ^{ABc} | 10 ^{ABc} | 7 ^{BCbc} | 14 ^{Ac} |
| Infl. (%) | 0 ^{Ec} | 0 ^{Ec} | 0 ^{Eb} | 5 ^{DEc} | 13 ^{CDc} | 19 ^{BCb} | 24 ^{BCb} | 29 ^{ABb} | 23 ^{BCb} | 37 ^{Ab} |

Figura 3. Cambios en la composición morfológica de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. Misma literal minúscula en la misma columna y misma literal mayúscula en la misma fila, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $P > 0.05$). MM: Material muerto, Infl: Inflorescencia.

4.3. Altura de planta

En la Figura 4 se puede apreciar el comportamiento de la altura de las plantas de avena Cuauhtémoc, se registraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre los días 41 a 76 después de la siembra. Se observa una tendencia positiva en el crecimiento, lo cual se describe con una ecuación polinómica, con $R^2 = 0.99$. Por el contrario del día 83 al 97 después de la siembra no hubo diferencias significativas estadísticamente ($p > 0.05$) donde se presentaron los mayores valores con 138, 139 y 138 cm, respectivamente, mientras la menor altura de planta se presentó a los 41 DDS con 38 cm. De acuerdo con Baron *et al.* (1987), la altura está relacionada con la edad de la planta, en tanto que la planta aumenta su edad, su altura aumenta proporcionalmente hasta alcanzar su pico de producción. Sin embargo, no siempre las variedades más altas son las de mayor rendimiento.

Wilson *et al.* (2018) reportaron que la altura se incrementa conforme avanza la edad de la planta, a los 84 DDS registró alturas de 61, 54, 53 y 50 cm, encontrando los más altos rendimientos en los días 63 y 77 en sus variedades estudiadas, lo anterior lo relaciona a que esos datos se realizaron en el mes de febrero donde se presentan mayor incidencia de heladas. Por su parte González *et al.* (2010) registraron al momento de la cosecha para la variedad Cuauhtémoc 69.84 cm, representando la mayor altura a los 110 días, siendo estadísticamente superior al resto de las variedades estudiadas. Por lo cual Wilson *et al.* (2018) afirman que de manera práctica se ha relacionado la RI y el IAF con la altura, permitiendo definir fechas óptimas para el corte del forraje, con buena calidad nutricional, además de permitir un óptimo rebrote.

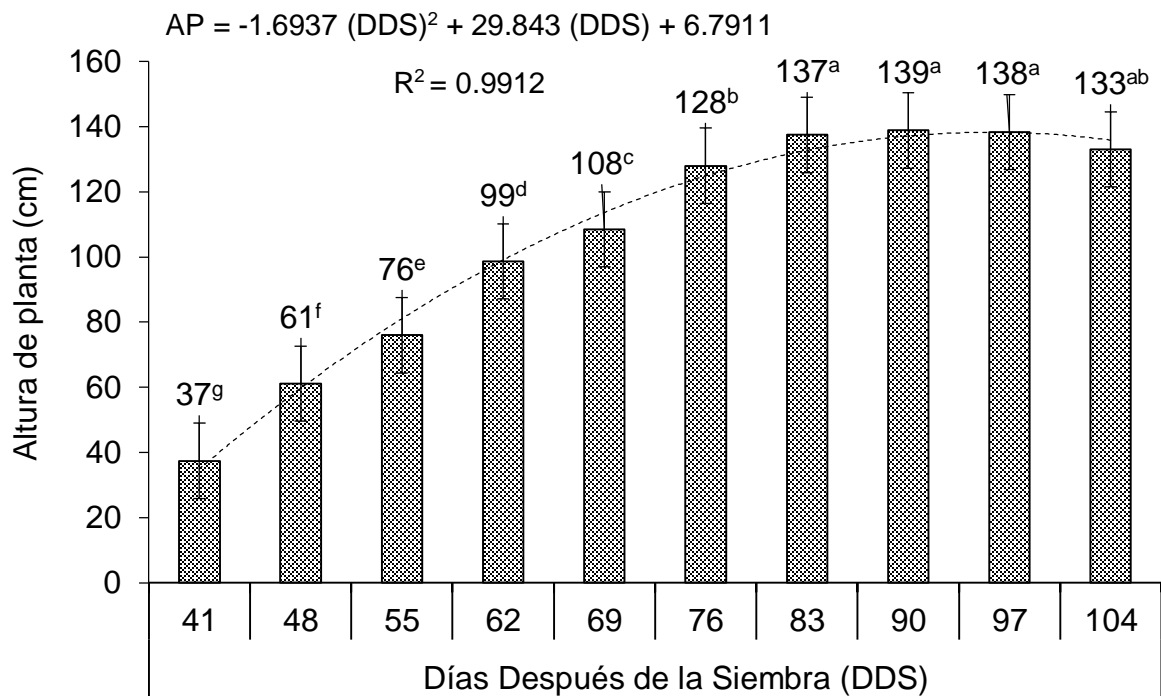


Figura 4. Altura de planta (AP; cm) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.4. Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo que existe entre la cantidad de hoja respecto al tallo en una pradera de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, se presenta en la Figura 5. Se observó una disminución de la relación hoja:tallo conforme aumentó la edad de rebrote de la planta, por lo que presenta una ecuación de ajuste exponencial con un R^2 de 0.96, lo que quiere decir que la relación hoja: tallo es explicada en un 96 % por los días después de la siembra de la especie. Un valor de 5.4 fue registrado a los 41 DDS, y fue disminuyendo hasta los 97 y 104 DDS, con valores de 0.1 y 0.0 respectivamente ($p \leq 0.05$). Se observaron valores similares estadísticamente ($p > 0.05$) a partir de los 48 a los 104 DDS.

De acuerdo con Liendo *et al.* (2019) registro una aparente pérdida de la calidad en el forraje de avena fertilizada con abono orgánico 100 días después de la siembra (DDS), debido al incremento en la proporción de tallos en relación con las hojas. Lo anterior, se debió principalmente a la translocación de fotoasimilados a la semilla, lo que redujo el peso de las hojas y se incrementó en tallos y granos en formación. Sin embargo, Montoya (2017), al comparar las medias de los estadios fenológicos de avena, la relación hoja:tallo es superior estadísticamente en el estadio de inicio de floración (0.71) en relación a grano lechoso y grano pastoso (0.33) y (0.31) respectivamente; esto indica que en el estadio de inicio de floración hay una mayor proporción de hojas con respecto al tallo. Esto revela que la relación hoja:tallo es estadísticamente similar para todos los cultivos de avena sin considerar el estadio fenológico en el cual este el cultivo. Este resultado es similar a lo mencionado por Betral *et al.* (2017) quien indica que cuando los pastos pasan del estado vegetativo al de floración y producción de semillas, disminuye la proporción de hojas y de manera similar aumenta la proporción de tallos.

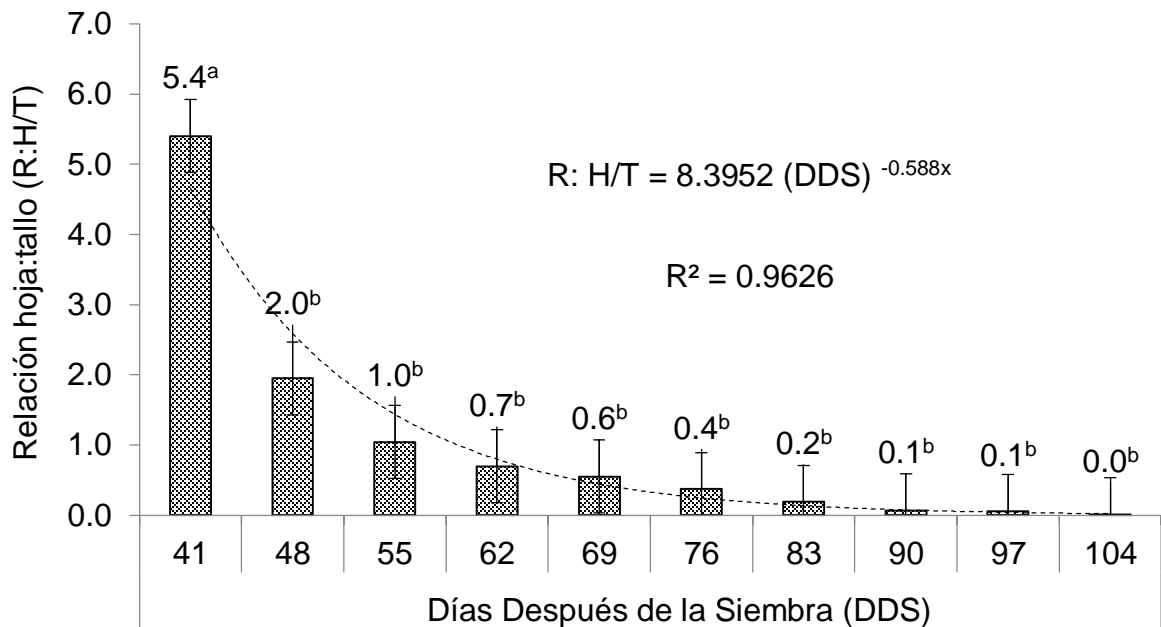


Figura 5. Relación hoja: tallo de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra. R: H/T= Relación Hoja:Tallo. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tkey; $p > 0.05$).

4.5. Peso de tallo individual

La Figura 7, muestra el peso de tallo individual (g tallo^{-1}) durante las 10 edades de evaluación en avena (*Avena sativa* L.), variedad Cuauhtémoc en la estación de otoño. Se muestran valores que van de $0.12 \text{ g tallo}^{-1}$ a los 41 DDS a un máximo de $2.13 \text{ g tallo}^{-1}$ en los 104 DDS. Los valores más bajos se presentaron en la semana uno y dos (41 y 48 DDS) con un promedio de 3.7 g de tallo⁻¹, siendo diferente estadísticamente al resto de las semanas de muestreo ($p < 0.05$). En contraste los máximos pesos de tallos se registraron a los 104 DDS con $2.13 \text{ g tallo}^{-1}$ sin diferencia desde el 76 al 97 DDS. En el transcurso de los primeros DDS se observó un incremento progresivo, el cual se mantuvo durante el resto del crecimiento de la planta las, alcanzando el valor más alto a los 104 DDS, esto se debe a que conforme aumenta la edad de la planta mayor será el crecimiento y pes del tallo. De acuerdo con Rojas *et*

al. (2017), los valores varían de acuerdo con cada estación por los efectos de competencia tanto intra como interespecificas provocan que el tamaño y principalmente el peso de los tallos disminuya con forme aumenta el número de plantas, reduciendo el rendimiento. Chávez (2009) en un estudio realizado en cuatro especies de cereales con diferentes tratamientos, para el peso de tallo, mostro los siguiente resultados; Narro-221-02, AN-239-99 obtuvieron los promedios más altos con 4.93, 4.77 t ha⁻¹ de tallos, pero son estadísticamente iguales a los promedios de los genotipos Triticale Eronga 83, Narro 95 y Avena Cuauhtémoc (4.75, 4.61 y 4.35, ton tallos ha⁻¹ respectivamente).

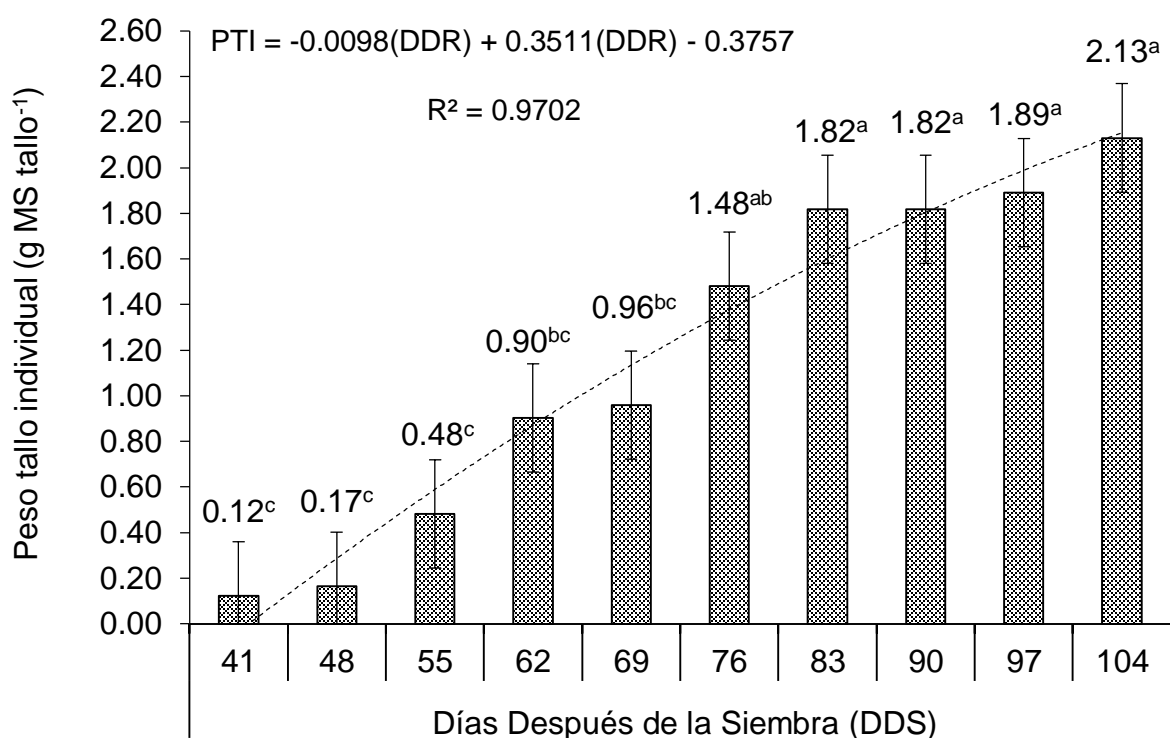


Figura 6. Peso de tallo individual (g MS tallo⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. PTI= Peso de Tallo Individual. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.6. Peso de hoja por tallo

Los cambios en la producción de hoja, de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, en diez semanas de rebrote se muestran en la Figura 8. Se reportan datos del análisis de varianza en la producción de hoja (g MS hoja⁻¹ ha⁻¹), donde se obtuvo los valores superiores a los 55, 62, 69, 76 y 83 DDS con 0.4 g MS hoja tallo⁻¹, promedio, guardando diferencias estadísticas con los menores valores a los 41 y 48 DDS con valores de 0.06 y 0.2 kg MS hoja tallo⁻¹, respectivamente. El peso de la hoja por tallo mostro una curva de ajuste de tipo polinómica con un R²= 0.94, lo que muestra una alta correlación entre esta variable y la cosecha días después de la siembra de avena Cuauhtémoc. Lo anterior explica que a medida que la planta avanza en su desarrollo fenológico presenta mayor altura, mayor cantidad de espigas y por consecuencia menor peso de hoja, por lo contrario es proporcionalmente mayor cuando la planta es más joven (Juskiw *et al.*, 2000).

Chávez (2009) mostró que para esta variable, destacan los tratamientos Avena Cuauhtémoc, AN-239-99 y Narro-95-02 con 3.20, 2.84 y 2.81 toneladas de hojas por hectárea los que conforman el primer grupo de significancia estadística. Mientras que los cultivares Narro-221-02, AN-264-99 obtuvieron promedios más bajos, con 2.40 y 2.11 toneladas de hojas por hectárea, los cuales forman un segundo grupo, siendo Triticale Eronga-83 la que registró los valores más bajos. La característica peso de hoja, es de gran importancia ya que se sabe que es justamente en las hojas donde se encuentran la mayoría de los principales nutrientes de los forrajes de tal manera que una alta producción de hoja aumenta la calidad forrajera (Arnold y Morley, 1981).

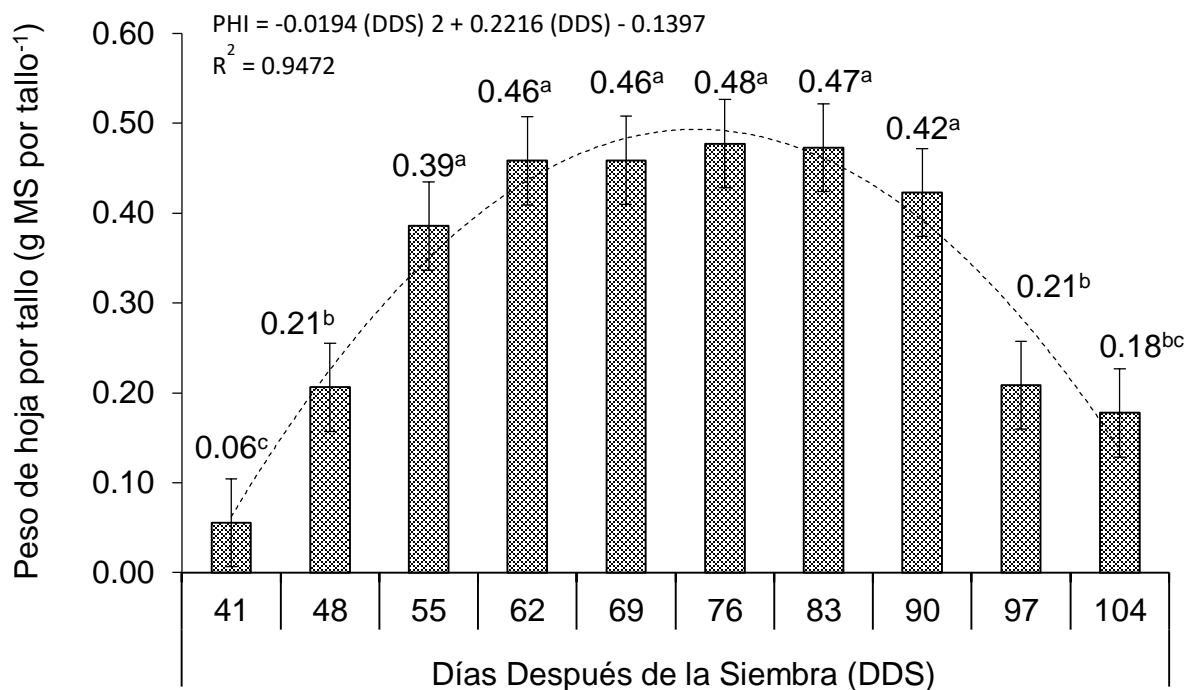


Figura 7. Peso hoja por tallo (g MS Hoja⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.7. Porcentaje de luz interceptada

El porcentaje de radiación interceptada muestra un valor más bajo a los 104 DDS con 93 % de radiación interceptada con el método de la barra light, correspondientemente. Se presentan diferencias estadísticas ($p > 0.05$) a través de los días después de la siembra, así mismo, la ecuación de ajuste, para este método fue polinómica, mostrando un R^2 de 0.80, mostrando así, una correlación baja entre el porcentaje de luz interceptada y los días transcurridos después de la siembra y la etapa fenológica de las plantas de avena (Figura 9).

Wilson (2015), de acuerdo con las radiaciones interceptadas que se presentaron durante su estudio, reporto a los 84 DDS las máximas radiaciones que fueron 80, 75, 81 y 84 % en las variedades Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia. De acuerdo con estos datos y otros estudios similares, considera que la radiación interceptada puede

ser uno de los criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte. En trabajos realizados en pastos tropicales y templados (Hodgson, 1990; Da Silva y Hernández, 2010) se ha observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95% de intercepción luminosa y está relacionado con el mayor aporte de hojas al rendimiento. La validez y el uso potencial del criterio de intercepción de la luz como una estrategia de defoliación fueron ratificados por Parsons y Penning (1988), quienes mencionan que el IAF crítico es cuando el 95% de luz incidente es interceptada por el dosel y la tasa de acumulación de forraje alcanza su máximo; es decir, el equilibrio entre los procesos de máximo crecimiento y menor senescencia permite la mayor tasa de acumulación neta de forraje.

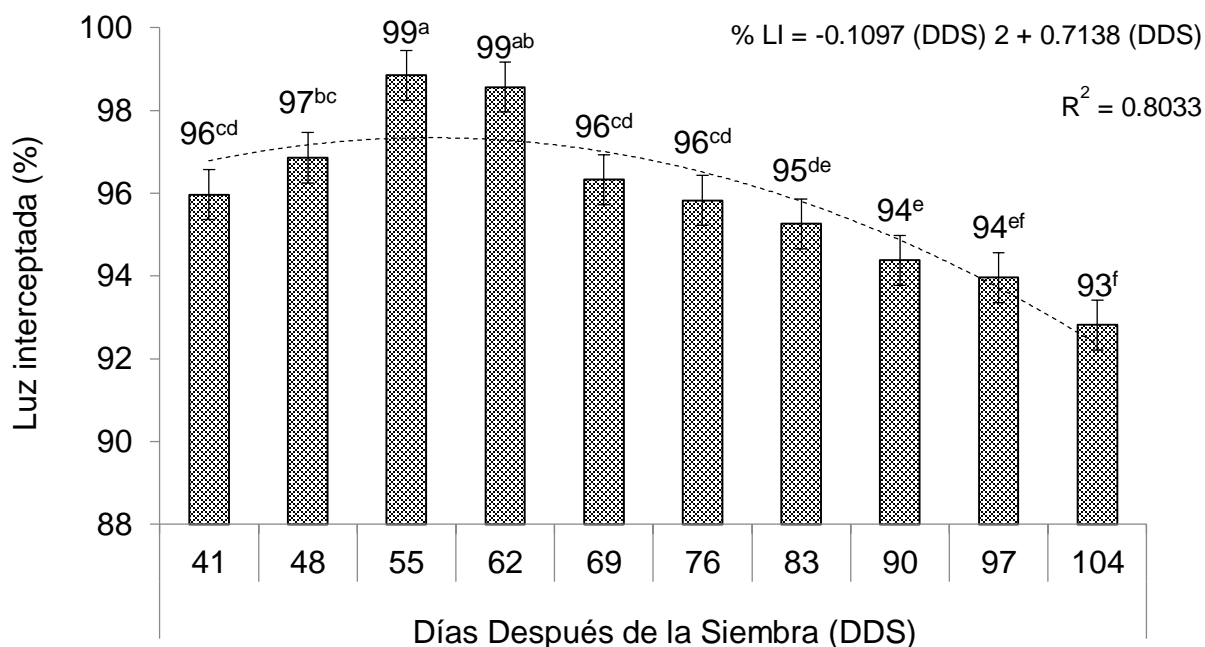


Figura 8. Porcentaje de luz interceptada (LI), de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc, cosechada a diferentes días después de la siembra, determinada con el método de la barra light. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$).

4.8. Área foliar por tallo

Se observó el mayor valor de AF por tallo en el día 62 de rebrote con $1369 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$ medidos con el integrador. Los valores más bajos se obtuvieron en los días 97 y 104 de rebrote con 367 y $344 \text{ cm}^2 \text{ tallo}^{-1}$ coincidiendo con el patrón obtenido en RMS, altura. Se obtuvo una R^2 de 0.86, respectivamente, con una ecuación polinómica, explicándose un 86 % el incremento de AF por tallo por la edad de rebote (Figura 10). Por otro lado, vemos que a medida que pasa de un estadio fenológico a otro el área foliar disminuye, esto se atribuye a las pérdidas de las hojas basales por senescencia y descomposición, a partir del sombreado en las capas inferiores de la planta a medida que aumenta la edad del pasto (Amaro *et al.*, 2004).

El área foliar es una característica confiable para determinar la semana óptima de corte. Wilson *et al.* (2018) descubrieron para las variedades estudiadas que a los 84 DDS se encontraron los máximos IAF con 2,8 para Turquesa y 3,9 para Saia, coincidiendo con las máximas RI que fueron de 75 y 84% y con alturas de 54 y 50cm. Sin embargo, se encontró que, para este ciclo, los mayores rendimientos de hoja y las mejores relaciones hoja/tallo se observaron entre el día 63 y 77 DDS para las variedades estudiadas, y no concuerdan con los máximos índices de área foliar como se reporta para el ciclo. Por lo tanto, se puede observar que las fechas con IAF máximos son cercanas a las fechas con las máximas radiaciones interceptadas.

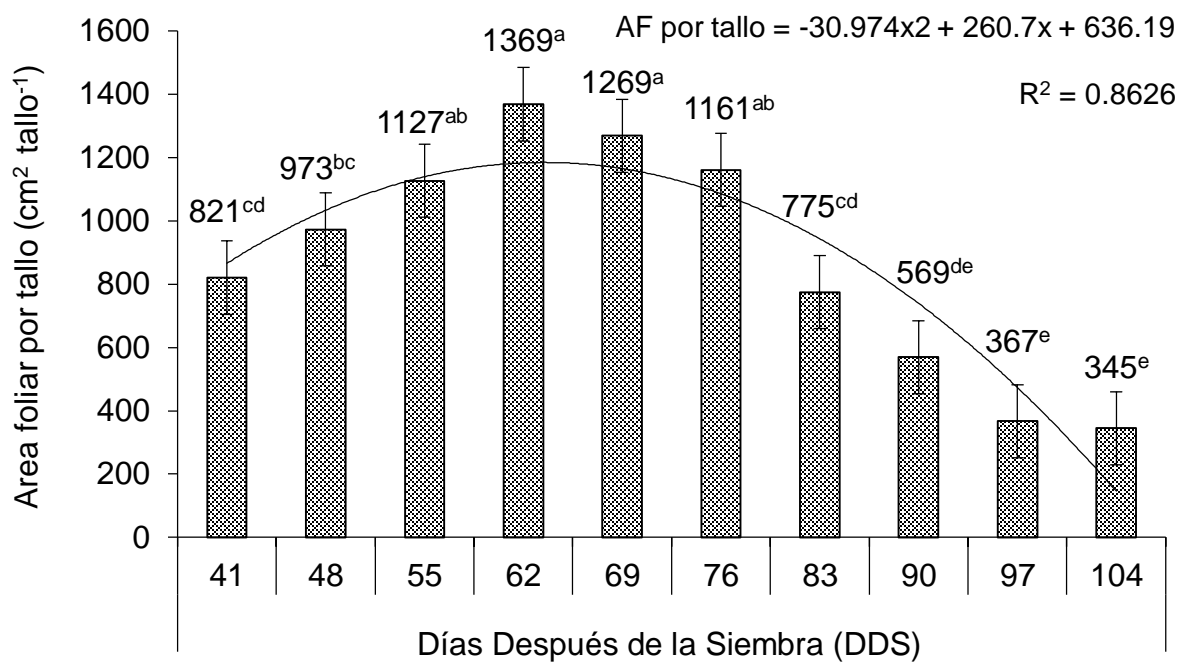


Figura 9. Área foliar por tallo (cm² tallo⁻¹) de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc cosechada a diferentes días después de la siembra. Misma literal minúscula entre columnas, no son diferentes estadísticamente (Tukey; p>0.05).

IV.CONCLUSIONES

- La productividad en cuanto al rendimiento de forraje de la avena variedad Cuauhtémoc en la estación de otoño, aumentó conforme avanzaron los días después de la siembra, alcanzando el máximo rendimiento y mayor producción de hoja a los 97 DDS.
- El tallo fue el componente morfológico que más aportó al rendimiento total seguido por la hoja, material muerto e inflorescencia.
- Existe una estrecha relación entre la intercepción luminosa, con la altura de la planta, rendimiento de materia seca, y área foliar, ya que todas se incrementaron conforme aumentó la edad de la planta.

V. LITERATURA CITADA

- Amaro, J. A. P., Moya, E. G., Quiroz, J. F. E., Carrillo, A. R. Q., Pérez, J. P., y Garay, A. H. 2004.** Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido*). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 42(3):447-458.
- Arnold, G. W., y Morley, F. H. W. 1981.** Grazing behaviour Grazing animals (No. 636.084 M864 c. 3). Elsevier. 101-104 p.
- 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, abril, 2021).
- Baron, V. S., y KIBITE, S. 1987.** Relationships of maturity, height and morphological traits with whole-plant yield and digestibility of barley cultivars. Canadian Journal of Plant Science, 67(4):1009-1017. <https://doi.org/10.4141/cjps87-137>
- Basigalup, D. H., Rossanigo, R. O., Rodríguez, N. E., Spada, M. D. C., Collino, D. J., Dardanelli, J. L., y Moreno, M. V. 2007.** El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA, 479 p.
- Becerra, L. 1985.** Avena como forraje invernal. Factores a considerar en el establecimiento y utilización. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/39194> (12, abril, 2021).
- Berlijn, D.J. 1984.** Trigo, Cebada, Avena. Manuales para la educación agropecuaria. Editorial trillas. México. 58 p.
- Betrán, J., Mingote Ballestín, P., Pérez Vives, J. M., Aguado Martínez, A. M., Perdiguier Brun, A., López Olmeda, A., y González García, V. 2017.** Enfermedades de los cereales de invierno. Centro de Canidad y Certificación Vegetal, Informaciones Técnicas, 12 p. <http://hdl.handle.net/10532/3804>

- Brignall, D. M., Ward, M. R., y Whittington, W. J. 1988.** Yield and quality of triticale cultivars at progressive stages of maturity. *The Journal of Agricultural Science*, 111(1):75-84.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600082836>
- 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.
- Campos P. y F. Giménez. 2011.** Caracterización de la población patógena de *Puccinia coronata*, agente causal de roya de la hoja de avena en Argentina en los años 2007-2008 y 2009. 2do Congreso Argentino de Fitopatología. Libro de Resúmenes. 1, 2 y 3 de junio de 2011. Mar del Plata, Buenos Aires. 197 p.
- Carámbula, M. 2003.** Pasturas y forrajes. Potenciales y alternativas para producir forraje. Insumos, implantación y manejo de pasturas, 1(2):372 p.
- Chapman, D. F., Lemaire, G. 1993.** Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand and Australia, pp. 95-104.
- Cherney, J. H., y Marten, G. C. 1982.** Small Grain Crop Forage Potential: I. Biological and Chemical Determinants of Quality, and Yield 1. *Crop Science*, 22(2):227-231.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200020007x>
- Da Silva SC, Hernández GA 2010.** Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En Velasco-Zebadúa ME (Ed.) Los Forrajes y su Impacto en el Trópico. UNACH. Chiapas, México. pp. 63-95.
- Da Silva, L. V. 2019.** Determinación de requerimientos de vernalización y fotoperiodo en genotipos argentinos de avena, Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. 43 p.

- De la Garza C. M., y Garza C. R. D. 2013.** Tecnología para la producción de avena forrajera en el altiplano de Tamaulipas. INIFAP. Campo experimental Rio Bravo. Folleto 2 p. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/956.pdf> (12, abril, 2021).
- Dotta S, S., & Quintero Z, M. J. 2018.** Determinación de la curva de crecimiento de intercepción de luz de diferentes pasturas sembradas. Tesis de licenciatura, Universidad de la República, 100 p.
- Dumont, J. C., Anrique, R., y Alomar, D. 2005.** Efecto de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. Agricultura Técnica, 65(4):388-396. [DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000400005](http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072005000400005)
- Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Huerta Espino, J., Salmerón Zamora, J. J., González Iñiguez, R. M., y Osorio Alcalá, L. 2007.** Obsidiana, variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. Agricultura técnica en México, 33(1):95-98.
- Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Tovar Gómez, R., de la O Olán, M., y Limón Ortega, A. 2012.** Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(4): 771-783.
- FAO. 2004.** Fodder Oats; a World Overview. Agriculture Department. Plant Production and Protection, Series No. 33. Suttle, J.M, Reynolds, S.G. (eds.). <http://www.fao.org/3/y5765e/y5765e00.htm> (15, febrero, 2021).
- Garay, A. H., Matthew, C., y Hodgson, J. 1997.** Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures: 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. New Zealand Journal of Agricultural Research, 40(1):37-50. [DOI: https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513228](https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513228)

- García, C. Y. W., Zerón, N. E. L., Cerrilla, M. E. O., Ríos, J. V., Mir, H. E. V., y Garay, A. H. 2018.** Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en dos variedades de avena. *Interciencia*, 43(9):630-636.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33957801005>
- Gonzalez, A. R., Arellano, J. J. E., Espino, G. G., Lopez, F. P., Contreras, R. F., y Hernandez, M. F. 2010.** Evaluación de variedades de avena forrajera bajo condiciones de humedad residual en la comarca lagunera. *producción pecuaria – agrofaz* volumen 10 número 2.
https://www.researchgate.net/publication/292996652_Evaluacion_de_variedades_de_avena_forrajera_bajo_condiciones_de_humedad_residual_en_la_Comarca_Lagunera (3, febrero, 2021).
- Hernández-Campuzano, A. V.; Martínez-Rueda, C. G.; Estrada-Campuzano, G. y DomínguezLópez, A. 2018.** Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y β -glucanos en el grano de la avena (*Avena sativa* L.). *Rev. Investig. Agropec. (RIA)*. 44(2):88-95.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86457304007>
- Hodgson, J. 1990.** *Grazing management. Science into practice.* Longman Scientific and Technical, Harlow, Engand. 204 pp.
- INFOAGRO. 2021.** El cultivo de la avena. Información del Sistema Agropecuario. Información agronómica. <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm> (15, marzo, 2021).
- INFOASERCA. 2021.** Abriendo surcos. Claridades agropecuarias. Un horizonte ASERCA del mercado agropecuario. *Revista* 14. 32 p.
<http://info.aserca.gob.mx/claridades/revistas> (24 de noviembre 2021)
- INIFAP, 2013.** Tecnología para la producción de avena forrajera en el altiplano de Tamaulipas.

- Jiménez, A., y Sherenie, T. 2012.** Comportamiento productivo y crecimiento de cereales de invierno con fines forrajeros en zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UASLP. Soledad de Graciano Sanchez, S.L.P.: 64 p.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3450>
- Juskiw, P. E., Helm, J. H., y Salmon, D. F. 2000.** Forage yield and quality for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Science*, 40(1):138-147.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401138x>
- Keles, G., Ates, S., Coskun, B., Koc, S. 2013.** Re-growth yield and nutritive value of winter cereals, in: *Proceedings of the 22nd International Grassland Congress*. pp. 15–19.
- Leconte, D. 1986.** Comportement du triple blanc associé à graminées en basse. *Fourrages* (Normandie). 108: 103-128.
- Liendo, M. E., A. A. González C., L. E. Olea; A. Alegre, L. Suárez, M. Guerineau, G. O. Martín, J. R. Toll Vera. 2019.** Relación Hoja-Tallo en el estado fenológico de floración en gramíneas naturales y cultivadas del Chaco Occidental Semiárido del departamento de Trancas, Tucumán, Argentina. *Revista Agronómica Noroeste Argentino* (39)51-451.
- López B.L. 1991.** Cultivos herbáceos: Cereales. Ediciones Mundi-Prensa. España. 539 p.
- Lozano del R. A. J. 2000.** Competencia interespecifica e intergenerica en mezclas de especies forrajeras anuales. Tesis doctoral. UAAAN. Saltillo, Coahuila: 194 p.
- Ludlow, M. M. 1976.** Ecophysiology of C 4 grasses. In *Water and plant life* (pp. 364-386). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Maloney, T. S., Oplinger, E. S., y Albrecht, K. A. 1999.** Small grains for fall and spring forage. *Journal of production agriculture*, 12(3):488-494.
<https://doi.org/10.2134/jpa1999.0488>

- Márquez, C. L.A. 1985.** Efectos de la densidad de siembra sobre el índice de cosecha de diez variedades de avena. Tesis Ing. Agrónomo UNAM, Facultad de estudios profesionales Cuautitlán I. México, pp.:3-11 <http://hdl.handle.net/20.500.11799/58711>
- McDonald, P., Edwards, R.A. y Greenhalgh, J.F. 1979.** Animal nutrition. Editorial Oliver and Boyd. Edinburgh. 458 p.
- Montaño-Carrasco, M., Hernández-Rodríguez, A., Martínez-Rosales, A., Ojeda-Barrios, D., Núñez-Barrios, A., y Guerrero-Prieto, V. 2017.** Producción y contenido nutrimental en avena forrajera fertilizada con fuentes químicas y orgánicas. Revista Fitotecnia Mexicana, 40(3):317-324. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.317-324>
- Montes, E., Pedroza, S. I. M., de la Fuente, J. I. A., González, J. A. V., Estrada, D. B. V., y Rosales, E. R. 2020.** Rendimiento de forraje de avena variedad Chihuahua. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (24): 255-264. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2376>
- Montoya Quispe, K. H. 2017.** Características agronómicas y valor nutricional de 7 cultivos forrajeros bajo secano en la Sierra Central. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Peru: 99 p.
- Parsons, D. B. 1989.** Trigo, cebada, avena. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, Mexico. Editorial Trillas. 58 p.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., y Ortega-Gutiérrez, J. A. 2013.** Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. Revista fitotecnia mexicana, 36(4): 395-403.
- Rico, M. C., Villa, V. M. Z., del Río, A. J. L., Zambrano, G. M., y Tapia, M. A. T. 2007.** Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. Técnica Pecuaria en México, 45(3): 249-262. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61345301>

- Rico, M. C., Villa, V. M. Z., Tapia, M. A. T., y Sánchez, M. A. J. 2009.** Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(1): 27-40.
- Robles, S. R. 1990.** Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. México. 660 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.
- SADER, 2018.** <https://www.gob.mx/agricultura/es/.../avena-forrajera-mas-alla-del-inviernogob.mx> > articulos > avena-forrajera-mas-alla-del-invierno (21, marzo, 2021).
- SAGARPA, 2017.** Avena forrajera mexicana, Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Primera edición. 20 p.
- Santoyo, C. E., y Quiroz, M. J. 2010.** Guía para el cultivo de cereales en el Estado de México. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México, ICAMEX. SEDAGRO. Metepec, Edo. de México, vol 2. 22 p.
- Saucedo, M. C. C., Castañeda, C. L., Moreno, J. M., León, T. B. C., y Hernández, A. L. 2004.** Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Revista fitotecnia mexicana*, 27(2): 167-175. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027207>
- SIAP. 2018.** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivo. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/ResumenDelegacion.do>. (21, marzo, 2021).
- Silva, S. C. D., & Nascimento Júnior, D. D. 2007.** Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(1)122-138. **DOI:** <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000014>

- Squella, F., y Ormeño, J. 2007.** La avena como cultivo forrajero. Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Técnicas para producción ovina para el secano mediterráneo de la VI Región. Cap 2: 19 – 36.
- Suttie, J.M. 2003.** Conservación de heno y paja: para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Roma. Italia. FAO. 2003. 322 p. <http://www.fao.org/docrep/007/x7660s/x7660s00.HTM> (18 de marzo, 2021).
- Ugarte, C. 2014.** Ecofisiología de plantas forrajeras. 6 p. http://inta.gob.ar/documentos/ecofisiologia-plantas/at_multi_download/file/INTA_VyE_NRO27. (5, abril, 2021).
- Van Soest, P. J. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press. 460 p.
- Vega, V., y Juan, G. 1976.** Enfermedades de los cereales. p. 1-34 <https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/4578/1/iniapsc633.1E17p1-34.pdf> (16, abril, 2021).
- Velasco Zebadúa, M., Hernández Garay, A., Pérez Pérez, J., Hernández, G., Aaseso, V., y Vaquera Huerta, H. 2001.** Dinámica de crecimiento, rendimiento y calidad de praderas de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. en respuesta a la defoliación. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Tesis Doctorado. 169 p.
- Villegas Aparicio, Y., Hernández Garay, A., Pérez Pérez, J., Haro, H., Gaseso, J., López Castañeda, C., y Lozano Trejo, S. 2002.** Análisis de crecimiento estacional y componentes del rendimiento de cuatro variedades de alfalfa. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Tesis Maestría. 172 p.
- Watson, D. J. 1958.** The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. Annals of Botany, 22(1):37-54. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083596>
- Williams, T. E. 1980.** Herbage production: grasses and leguminous forage crops. Herbage production: grasses and leguminous forage crops. 6-69.

Wilson, G. C. Y.; López, Z. N. E.; Ortega, C. M. E.; Ventura, R. J.; Villaseñor, M. H. E. y Hernández, G. A. 2018. Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en dos variedades de avena. *Interciencia*. 43(9):630-636.

Zartash, F.; Qaiser, A.; Amna, K.; Sajjad, H.; Muhammad, A. A.; Ghulam, A.; Haseeb, Y.; Shahrish, N.; Muhammad, I.; Muhammad, I. S.; Muhammad, N.; Umair, F.; Shahzad, U. K.; Kashif, J.; Azhar, A. K.; Mukhtar, A.; Muhammad, A. K. and Shakeel A. 2018. Resource use efficiencies of C3 and C4 cereals under split nitrogen regimes. *Agronomy*. 8(69):1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy8050069>

VI. ANEXOS

Cuadro 4. Análisis de varianza de variables evaluadas en una pradera de avena.

| DDR | Variables | | |
|--------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | RF (kg MS ha ⁻¹) | Altura de la planta (cm) | Relación: Hoja/Tallo |
| 41 | 996 ^e | 38 ^g | 5.4 ^a |
| 48 | 1421 ^{de} | 61 ^f | 1.9 ^b |
| 55 | 3255 ^{de} | 76 ^e | 1.0 ^b |
| 62 | 3974 ^d | 98 ^d | 0.7 ^b |
| 69 | 6653 ^c | 109 ^c | 0.5 ^b |
| 76 | 7008 ^c | 128 ^b | 0.4 ^b |
| 83 | 7968 ^{bc} | 138 ^a | 0.2 ^b |
| 90 | 9748 ^{ab} | 139 ^a | 0.06 ^c |
| 97 | 10804 ^a | 138 ^a | 0.06 ^c |
| 104 | 6756 ^c | 133 ^{ab} | 0.06 ^c |
| ̄x | 5858 | 106 | 1.04 |
| Pr > F | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| EEM | 886 | 3.23 | 0.74 |
| DMS | 2596 | 9.47 | 2.1 |

Misma letra minúscula en una misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). Sig= significancia, EEM= error estándar de media, DMS= mínima diferencia significativa. RMS = Rendimiento de materia seca. R:H/T = Relación hoja: tallo. DP = Densidad de platas. DT = Densidad de tallos.

Cuadro 5. Análisis de varianza de variables evaluadas en una pradera de avena.

| DDS | Variables | | | |
|-----------|------------------------------------|---|------------------|------------------------------------|
| | PTI (g MS tallo ⁻¹) | PHI (g MS hoja tallo ⁻¹) | RI (%) | AFT (g MS tallo ⁻¹) |
| 41 | 0.12 ^c | 0.06 ^c | 96 ^{cd} | 821 ^{cd} |
| 48 | 0.16 ^c | 0.20 ^b | 97 ^{bc} | 973 ^{bc} |
| 55 | 0.48 ^c | 0.39 ^a | 99 ^a | 1127 ^{ab} |
| 62 | 0.90 ^{bc} | 0.46 ^a | 98 ^{ab} | 1369 ^a |
| 69 | 0.96 ^{bc} | 0.46 ^a | 96 ^{cd} | 1269 ^a |
| 76 | 1.48 ^{ab} | 0.47 ^a | 96 ^{cd} | 1161 ^{ab} |
| 83 | 1.82 ^a | 0.47 ^a | 95 ^{de} | 775 ^{cd} |
| 90 | 1.82 ^a | 0.42 ^a | 94 ^e | 569 ^{de} |
| 97 | 1.89 ^a | 0.21 ^b | 94 ^{ef} | 367 ^e |
| 104 | 2.13 ^a | 0.18 ^{bc} | 93 ^f | 345 ^e |
| \bar{x} | 1.18 | 0.33 | 96 | 878 |
| Pr > F | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| EEM | 0.29 | 0.05 | 0.5 | 94 |
| DMS | 0.85 | 0.14 | 1.4 | 276 |

Misma letra minúscula en una misma columna no son diferentes estadísticamente (Tukey; $p > 0.05$). Sig= significancia, EEM= error estándar de media, DMS= mínima diferencia significativa. RMS = Rendimiento de materia seca. R:H/T = Relación hoja:tallo. PTI = Peso de tallo individual. RI = Radiación Interceptada. AFT = Área Foliar por tallo.

Cuadro 6. Porcentaje de aportación al rendimiento total de los Componentes morfológicos (%) de avena (*Avena sativa* L.) cosechada a diferentes días después de la siembra (DDS), en el sureste de Coahuila, México.

| DDS | Componentes morfológicos (%) | | | | Pr > F | EEM | DMS |
|-----------|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------|------|------|
| | Hoja | Tallo | MM | Infl. | | | |
| 41 | 83 ^{Aa} | 17 ^{Db} | 0.0 ^{Cc} | 0.0 ^{Ec} | 0.0001 | 4.8 | 13.5 |
| 48 | 64 ^{Ba} | 36 ^{Cb} | 0.0 ^{Cc} | 0.0 ^{Ec} | 0.0001 | 7.8 | 22.2 |
| 55 | 51 ^{Ca} | 49 ^{ABCa} | 0.0 ^{Cb} | 0.0 ^{Eb} | 0.0001 | 2.1 | 6.09 |
| 62 | 39 ^{CDb} | 56 ^{ABa} | 1.3 ^{Cc} | 5 ^{DEc} | 0.0001 | 3.7 | 10.5 |
| 69 | 31 ^{DEb} | 55 ^{ABa} | 2 ^{Cd} | 13 ^{CDc} | 0.0001 | 3.5 | 10.1 |
| 76 | 21 ^{EFb} | 58 ^{ABa} | 1.3 ^{Cc} | 19 ^{BCb} | 0.0001 | 5.3 | 15.2 |
| 83 | 10 ^{FGc} | 55 ^{ABa} | 11 ^{ABc} | 24 ^{BCb} | 0.0001 | 1.5 | 4.3 |
| 90 | 4 ^{Gc} | 57 ^{ABa} | 10 ^{ABc} | 29 ^{ABb} | 0.0001 | 6.1 | 17.2 |
| 97 | 4 ^{Gbc} | 66 ^{Aa} | 7 ^{BCbc} | 23 ^{BCb} | 0.0001 | 7.0 | 19.9 |
| 104 | 0.6 ^{Gd} | 48 ^{BCa} | 14 ^{Ac} | 37 ^{Ab} | 0.0001 | 1.4 | 4.2 |
| \bar{x} | 30.7 ^b | 49.7 ^a | 4.7 ^d | 14.9 ^c | 0.0001 | 11.3 | 6.4 |
| Pr > F | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | | | |
| EEM | 4.5 | 6.1 | 2.4 | 4.2 | | | |
| DMS | 13.1 | 17.9 | 7.05 | 0 | | | |

Medias con las mismas literales minúscula en la misma columna, y mismas literales mayúsculas en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey; $P > 0.05$). Sig= significancia, EEM= Error estándar de media, DMS= mínima diferencia significativa. MM: Material muerto, Infl: Inflorescencia.

Cuadro 7. Aportación (kg MS ha⁻¹) al rendimiento total de los Componentes morfológicos de avena (*Avena sativa* L.) cosechada a diferentes días después de la siembra (DDS), en el sureste de Coahuila, México, en la estación de otoño.

| DDS | Componentes morfológicos (kg MS ha ⁻¹) | | | | Pr > F | EEM | DMS |
|-----------|--|---------------------|---------------------|----------------------|--------|-----|------|
| | Hoja | Tallo | MM | Infl. | | | |
| 41 | 818 ^{CDa} | 178 ^{Fb} | 0 ^{Cb} | 0 ^{Db} | 0.0001 | 72 | 203 |
| 48 | 884 ^{BCDa} | 537 ^{EFa} | 0 ^{Cb} | 0 ^{Db} | 0.0002 | 133 | 375 |
| 55 | 1660 ^{Aa} | 1596 ^{EFa} | 0 ^{Cb} | 0 ^{Db} | 0.0001 | 130 | 366 |
| 62 | 1522 ^{ABa} | 2220 ^{DEa} | 42 ^{BCb} | 191 ^{Db} | 0.0001 | 219 | 619 |
| 69 | 2054 ^{Ab} | 3669 ^{CDa} | 128 ^{BCc} | 802 ^{CDc} | 0.0001 | 333 | 940 |
| 76 | 1454 ^{ABCb} | 4027 ^{BCa} | 109 ^{BCbc} | 1419 ^{BCDb} | 0.0001 | 480 | 1354 |
| 83 | 845 ^{BCDc} | 4362 ^{BCa} | 897 ^{Ac} | 1865 ^{BCb} | 0.0001 | 175 | 494 |
| 90 | 380 ^{DEc} | 5559 ^{ABa} | 984 ^{Ac} | 2826 ^{ABb} | 0.0001 | 585 | 1652 |
| 97 | 404 ^{DEc} | 7136 ^{Aa} | 765 ^{ABbc} | 2500 ^{ABb} | 0.0001 | 730 | 2059 |
| 104 | 48 ^{Ed} | 4540 ^{BCa} | 1379 ^{Ac} | 3531 ^{Ab} | 0.0001 | 326 | 920 |
| \bar{x} | 1007 ^b | 3370 ^a | 430 ^c | 1313 ^b | 0.0001 | 121 | 342 |
| Pr > F | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | | | |
| EEM | 233 | 589 | 255 | 497 | | | |
| DMS | 681 | 1726 | 746 | 1456 | | | |

Medias con las mismas literales minúscula en la misma columna, y mismas literales mayúsculas en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey; P>0.05). Sig= significancia, EEM= Error estándar de media, DMS= mínima diferencia significativa. MM: Material muerto, Infl: Inflorescencia.