



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FORRAJE DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO

CLAUDIA YANET WILSON GARCÍA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **Rendimiento y calidad de forraje de cereales de grano pequeño**, realizada por la alumna: **Claudia Yanet Wilson García**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

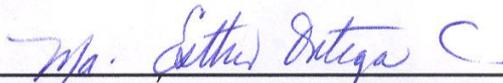
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



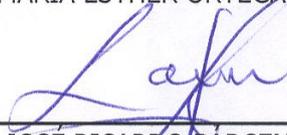
DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY

ASESOR



DRA. MARÍA ESTHER ORTEGA CERRILLA

ASESOR



DR. JOSÉ RICARDO BARCENA GAMA

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR



DR. GILBERTO ARANDA OSORIO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2015

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FORRAJE DE CEREALES DE GRANO

PEQUEÑO

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

En México, a excepción de la avena, no se conoce el potencial del trigo y cebada para producir forraje. Los objetivos del estudio fueron realizar curvas de acumulación de forraje, y determinar el momento óptimo de corte para forraje de las líneas de cebada Esperanza x O'Connor, Esperanza x CP y la variedad Lenetah; las variedades de avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia; las líneas de trigo V7, V13, V16 y la variedad Nana. Los cortes se iniciaron entre los 43 y 49 días después de la siembra (DDS) y hasta que se alcanzó la máxima acumulación de materia seca. La acumulación de forraje, composición morfológica, índice de área foliar (IAF), altura de planta y radiación interceptada (RI) se evaluaron semanalmente en ambos ciclos. Los datos de los dos experimentos se analizaron con los procedimientos GLM de SAS, para un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. El momento óptimo de corte en cebadas fue a los 70 DDS, con valores de radiación interceptada de 94, 95 y 91 %, con índices de área foliar de 7, 5 y 3 y alturas de 88, 82 y 59 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0.05$), en el estado de encañe o elongación del tallo. El momento óptimo de cosecha de avenas puede realizarse entre los 70 y 77 días después de la siembra en el estado de encañe, donde la avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia interceptaron el 91, 90, 88 y 94 %, con alturas promedio de 57, 45, 47 y 57 cm, respectivamente ($p < 0.05$). El momento óptimo de corte para forraje de trigo se encontró en encañe, ya que en este estado de desarrollo es cuando se encontraron los más altos rendimientos de hojas e IAF y las más altas radiaciones interceptadas. La RI, el IAF y la altura, al relacionarse, pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de cosecha para forraje de cebadas, avenas y trigos.

Palabras clave: avena, cebada, trigo, curvas de crecimiento, radiación interceptada.

YIELD AND QUALITY OF FORAJE OF SMALL GRAIN CEREALS

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

In Mexico, the forage potential of wheat and barley is unknown, unlike that of oat. The objectives of this study were to generate forage accumulation curves and to determine the optimal cutting time for forage in barley lines Esperanza x O'Connor, Esperanza x CP and the cultivar Lenetah; oat cultivars Chihuahua, Turquesa, Ágata and Saia; wheat lines V7, V13, V16 and cultivar Nana. Cutting started between 43 and 49 days after sowing (DAS) and until the maximum accumulation of dry matter occurred. Forage accumulation, morphological composition, leaf area index (LAI), plant height and light interception (LI) were evaluated weekly in both cycles. Data from both experiments were analyzed using SAS GLM procedures for a randomized block design and a split-plot arrangement with three replicates. The optimal cutting time in barley was at 70 DAS, with light interception values of 94, 95 and 91%; LAI of 7, 5 and 3; and heights of 88, 82 and 59 cm for Esp x O'Connor, Esp x Cp and Lenetah ($p < 0.05$), respectively, during the stage of stem elongation. The optimal harvesting time of oat was between 70 and 77 DAS during the stage of stem elongation, when cultivars Chihuahua, Turquesa, Ágata and Saia had light interception values of 91, 90, 88 and 94% and height averages of 57, 45, 47 and 57 cm, respectively ($p < 0.05$). The optimal cutting time for forage in wheat was during the stage of stem elongation, since it was during this developmental stage that the highest yields of leaves and LAI, and the highest light interception values were found. LI, LAI and height, taken together, can be useful criteria to determine the optimal harvesting time for forage production in barley, oat and wheat.

Keywords: barley, oat, wheat, growth curves, intercepted light.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: por haberme permitido llegar hasta este momento en mi vida y por tantas bendiciones brindadas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): por haber financiado mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados y a la especialidad de Ganadería: por contribuir en mi formación profesional.

Al Dr. Alfonso Hernández Garay: por el apoyo y confianza durante mi estancia en este Colegio de Postgraduados.

A los integrantes de mi Consejo Particular: Dra. María Esther Ortega Cerrilla, Dr. Ricardo Bárcena Gama, Dr. José Luis Zaragoza Ramírez y Dr. Gilberto Aranda Osorio, por las aportaciones que cada uno hizo, para el desarrollo y feliz conclusión de este trabajo de investigación.

A la Dra. María Magdalena Crosby Galván, Dr. Cándido López Castañeda, Dr. Eduardo Villaseñor Mir, Dr. Ignacio Benítez Riquelme, Dr. Humberto Vaquera y Dr. Abel Muñoz, por su valioso apoyo en la realización de este trabajo.

Al personal de campo por su valioso apoyo en las actividades realizadas en este proyecto de investigación, en especial al Sr. Felipe, Sra. Luz, Sr. Guillermo, Sr. Rafael, Sr. Gerardo, Sr. Alejandro, Sr. Miguel y Sr. Luna.

Al personal de la Biblioteca, por su apoyo brindado durante mis estudios de Doctorado, especialmente a la Sra. Ana, Sr. Raymundo y Sr. Juan.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi familia: mi esposo Nelson y mi hija Liesel, por el amor, apoyo, inspiración y felicidad compartida; los amo.

A las Mujeres que me formaron, me dieron su amor y me educaron, mi Madre Sara, mi Abuela Lucila y mi Tía Dalia; son mi ejemplo.

A mis hermanos y sobrinos Vanesa, Candelaria, Augusto y Guadalupe; Ángel, Héctor, Yolo, Emily, Emiliano, Gael, Augusto, Samuel, Claudette, y a mis primos Eridani, Jatziry, Fabián, Lupita, Monserrat y Oliver; gracias por los momentos que hemos compartido; los quiero.

A mis amigos Lorena, Eddy, Adolfo, Belem, Ricardo, Ismael, Luis, Daniel, Mayra, Lizet y Chávez; por la amistad que nos une a pesar del tiempo y la distancia.

A mi suegra Remedios, de la cual he recibido mucho apoyo y comprensión; gracias.

Sinceramente Claudia

CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1 Cebada	13
2.1.1 Usos e importancia económica internacional y nacional.....	13
2.2 Avena	14
2.2.1 Usos e importancia económica internacional y nacional.....	15
2.3 Trigo	15
2.3.1 Usos e importancia económica internacional y nacional.....	16
2.4 Producción de forraje de cereales de grano pequeño	16
2.5 Calidad nutricional de cereales de grano pequeño	19
2.6 Análisis de crecimiento	19
2.7 Factores que afectan el rebrote de las plantas	20
2.8 Radiación solar e intercepción luminosa	22
2.9 Índice de área foliar.....	22
Literatura citada	23
3. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE CEBADAS PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE.....	28
3.1 RESUMEN	28
3.2 ABSTRACT	29
3.3 INTRODUCCIÓN	30
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.4.1 Acumulación de forraje (AF)	32
3.4.2 Composición morfológica (CM)	32
3.4.3 Índice de área foliar (IAF).....	32
3.4.4 Altura de planta	32
3.4.5 Intercepción luminosa	33
3.4.6 Análisis estadístico.....	33

3.4.7 Datos climatológicos	33
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
3.5.1 Acumulación total de forraje.....	33
3.5.2 Altura, Radiación interceptada e Índice de área foliar.....	34
3.5.3 Componentes morfológicos	36
3.6 CONCLUSIONES.....	38
Literatura citada	43
4. ACUMULACIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE AVENAS.....	45
4.1 RESUMEN	45
4.2 ABSTRACT	46
4.3 INTRODUCCIÓN	47
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS	48
4.4.1 Sitio experimental.....	48
4.4.2 Clima del sitio experimental	49
4.4.3 Variedades de avena evaluadas	49
4.4.4 Altura promedio de las variedades evaluadas	49
4.4.5 Radiación interceptada (RI).....	49
4.4.6 Biomasa aérea	49
4.4.7 Composición morfológica de la biomasa aérea	50
4.4.8 Índice de área foliar (IAF) de los genotipos.....	50
4.4.9 Análisis estadístico.....	50
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.5.1 Acumulación de biomasa aérea total	51
4.5.2 Componentes morfológicos	53
4.5.3 Índice de área foliar, Radiación interceptada y altura	55
4.6 CONCLUSIONES.....	57
Literatura citada	58
5. ACUMULACIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE TRIGOS	63
5.1 RESUMEN	63
5.2 ABSTRAC	64
5.3 INTRODUCCIÓN	65

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS	66
5.4.1 Sitio experimental.....	66
5.4.2 Clima del sitio experimental	66
5.4.3 Variedades de avena evaluadas	66
5.4.4 Altura promedio de las variedades evaluadas	67
5.4.5 Radiación interceptada (RI).....	67
5.4.6 Acumulación de forraje	67
5.4.7 Composición morfológica del forraje cosechado.....	67
5.4.8 Índice de área foliar (IAF) de los genotipos.....	68
5.4.9 Análisis estadístico.....	68
5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
5.5.1 Componentes morfológicos	70
5.5.2 IAF, RI y altura	71
5.6 CONCLUSIONES.....	73
Literatura citada	76
CONCLUSIONES GENERALES.....	79

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio mensual de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y número de heladas durante los dos periodos experimentales. Estación Meteorológica Universidad Autónoma Chapingo.	38
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah en el experimento EIP1. Las barras + representan una desviación estándar (n = 3).....	39
Figura 2. Curvas de acumulación de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah en el experimento EIP2. Las barras + representan una desviación estándar (n = 3).	40
Figura 3. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) a diferentes estados de desarrollo, en el EIP1.....	41
Figura 4. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) a diferentes estados de desarrollo, en el EIP2.....	42
Figura 5. Acumulación de forraje total por componente morfológico, Índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de las avenas Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP1. Las barras + representan una desviación estándar (n = 3).	61
Figura 6. Acumulación de forraje total, componentes morfológicos, índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de las avenas Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP2. Las barras + representan una desviación estándar (n = 3).	62
Figura 7. Acumulación de forraje total por componente morfológico, índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de los trigos Nana, V13, V16 y V7 a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP1.....	74
Figura 8. Acumulación de forraje total, componentes morfológicos, índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de los trigos Nana, V13, V16 y V7 a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP2.....	75

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

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 (Maloney *et al.*, 1999). 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; López-Castañeda, 2011). Estos cultivos crecen rápido, producen forraje y grano en un ciclo de crecimiento menor a 150 días (Juskiw *et al.*, 2000; Colín-Rico *et al.*, 2009). Una ventaja adicional de los cereales con potencial forrajero, es que se pueden cultivar en primavera-verano y otoño-invierno, en cuyas condiciones climáticas presentan diferencias en su potencial para producir forraje (Sevilla *et al.*, 2001).

Para determinar el potencial forrajero de los cereales de grano pequeño, es necesario estudiar la acumulación y distribución de materia seca en las plantas y relacionarla con el desarrollo de las mismas. Para saber cuándo cosechar para máximo rendimiento de materia seca por unidad de superficie. Se ha mencionado que el momento óptimo para cosechar gramíneas templadas y propuesto que los cultivos forrajeros deben ser cosechados cuando intercepten el 95% de intercepción de la radiación solar que incide en la pradera o cultivo. En diversos estudios se establece que la calidad de un forraje está relacionada con la cantidad de hojas en las plantas forrajeras. Sí la acumulación de materia seca en plantas y en hojas, así como la intercepción de la radiación solar, se relacionan con la altura promedio de las plantas; entonces, se dispondría de un criterio práctico y fácil de aplicar para decidir cuándo cosechar el cultivo de cereales para máximo rendimiento de materia seca total o materia seca de las hojas (Hodgson, 1990; Da Silva y Nascimento Júnior, 2007; Da Silva y Hernández, 2010).

Los propósitos de este tema de investigación es estudiar el potencial forrajero de tres cereales de grano pequeño, determinar el estado de desarrollo y la altura promedio del cultivo a la que deben ser cosechados para máximo rendimiento total y de hojas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cebada

La cebada es una planta monocotiledónea anual, originaria del sudeste de Asia y África septentrional. Están reportados en la literatura dos centros de origen, el primero corresponde a Etiopía y África del Norte, de donde proceden muchas de las variedades cubiertas con barbas largas, mientras que el segundo comprende China, Japón, y el Tíbet, de donde proceden las variedades desnudas, de barbas cortas o imberbes. Existen 25 especies y recientemente las cebadas cultivadas se han clasificado dentro de tres especies; *Hordeum vulgare* (seis hileras), *Hordeum distichum* (dos hileras) y *Hordeum irregulare* (hileras intermedias de las dos anteriores). Requiere de un clima templado para desarrollarse. Las principales áreas de cultivo se encuentran en Europa y en la Federación Rusa, aunque también es un cultivo valioso y resistente en las zonas áridas y semiáridas de Asia, Medio Oriente y el norte de África (Poehlman, 1981).

2.1.1 Usos e importancia económica internacional y nacional

Como cultivo, es el más antiguo, comparado con el trigo, el grano se utilizó para la elaboración de pan (Kent, 1987). Actualmente, el grano se germina para transformarlo a malta y elaborar bebidas alcohólicas o se muele para obtener harina para consumo humano, y la planta completa se usa como forraje verde, heno o ensilado para alimentar animales domésticos. Como cultivo, la cebada es resistente a la sequía y se adapta a suelos salinos comparado con la avena (Suttie, 2003).

A nivel mundial, ocupa el cuarto lugar en términos de producción, después de cereales como trigo, maíz y arroz; con un total de 136 millones de toneladas en el 2007.

En México, se sembraron 355,782 ha en 2013, el 90% de esta superficie se destinó para la elaboración de malta (SIAP, 2014). En el año 2014, los estados con mayor superficie sembrada de cebada fueron: Hidalgo (114,242 ha), Tlaxcala (59, 588 ha) Guanajuato (56,209 ha) y el Estado de México (40,404 ha) (SIAP, 2014).

En México, el cultivo de la cebada para cosechar forraje es poco usual. En el año 2013, se sembraron 33,490 ha con cebada comparado con 783,782 ha para avena forrajera, quizás por el valor comercial del grano al destinarlo a la industria cervecera o a falta de variedades propias para forraje (Colín Rico *et al.*, 2009). Sin embargo, en otros países la cebada, junto con la avena, el trigo y el triticale, son parte importante de los sistemas de alimentación animal para carne y para leche (Keles *et al.*, 2013). En algunos países existen programas de mejoramiento genético de cereales con fines forrajeros enfocándose al rendimiento y la calidad de la materia seca total y a sus componentes morfológicos (Thompson *et al.*, 1992; Maloney *et al.*, 1999; Pagliaricci *et al.*, 2000; Lithourgidis *et al.*, 2006).

2.2 Avena

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 a que fue considerada como una mala hierba de cereales como cebada y trigo, no llegó a tener mucha importancia como estos cultivos (Infoagro, 2010). 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 (*A. sativa*) son los más difundidos. La *A. byzantina* se adapta mejor a condiciones subtropicales más cálidas; la avena aristada (*A.*

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 común.

2.2.1 Usos e importancia económica internacional y nacional

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 superficie sembrada de avena fue de 420,000 ha, en 1996; incrementándose a 833,221 ha, en el 2013. Para este último año, la producción de avena para forraje representó el 94% de la superficie sembrada y el 6 % fue para cosecha de semilla (SIAP, 2014). El cultivo de avena es el más importante en cuanto a superficie sembrada en comparación a los otros cereales de grano pequeño, en los últimos años.

2.3 Trigo

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es originario de la antigua Mesopotamia. En años recientes, el uso del cultivo de trigo para producción de forraje y grano es cada vez más generalizado en las empresas agropecuarias productoras de carne y leche de países como Argentina y Uruguay (Bainotti, 2002). Se cultiva en todo el mundo en una amplia diversidad de condiciones climáticas. Ha sido el alimento

básico de las principales civilizaciones de Europa, Asia y Norte de África durante más de 8,000 años.

2.3.1 Usos e importancia económica internacional y nacional

El cultivo de trigo es el más antiguo de la actividad agrícola y el más cultivado en el mundo, en la actualidad. Tiene la capacidad de crecer y producir en ambientes y condiciones edáficas muy diferentes (Argente *et al.*, 2006; Hernández-Córdova *et al.*, 2015). El principal uso es para consumo humano en una gran variedad de productos, también se utiliza en la producción de alimentos animales, almidón y etanol con diferentes variedades para cada uso.

En 2007, el cultivo del trigo ocupó el tercer lugar entre los cereales más cultivados, después del maíz y el arroz, con una producción mundial de más de 600 millones de toneladas (FAO, 2015). Este cereal es el más importante a nivel mundial ya que es consumido por la tercera parte de la población del mundo (dos billones de personas, Khan *et al.*, 2013).

La superficie sembrada de trigo en México fue de 737,359 ha, en 2000; 730,516 ha fueron para producción de grano y solo 6,843 ha fueron para producción de forraje. En el año 2013, la superficie sembrada se redujo a 689,204; 683,044 para grano y 6,159 para forraje (SIAP, 2014). Se observa que el cultivo de trigo como forraje en cuanto a superficie sembrada se ha mantenido e incluso disminuido en los últimos años y que su uso es principalmente en la alimentación humana.

2.4 Producción de forraje de cereales de grano pequeño

El uso de los cereales de grano pequeño, como forraje para alimentar ganado lechero o para 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.*, 2002). A pesar de esto, pocas investigaciones sobre rendimiento de materia seca y calidad del forraje se han realizado en algunos cereales de grano pequeño con el fin de averiguar el estado de desarrollo 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, genotipo evaluado, y las respectivas interacciones. La cebada produjo menos materia seca y fue menos competitiva que avena. El triticale y el trigo fueron los menos competitivos y produjeron menos materia seca al ser asociados (Berkenkamp y Meeres, 1987). Se reporta mayor cosecha de materia seca al cortar el cultivo de cereales en estados de desarrollo de inflorescencia con grano; sin embargo, con el avance de la madurez de las plantas disminuye la proteína cruda y la digestibilidad de la materia seca (Cherney y Marten, 1982). En estados de desarrollo de encañe a embuche, se cosecha forraje con mayor contenido de proteína cruda y materia seca más digestible (Colín-Rico *et al.*, 2009).

En algunos lugares de los estados de Coahuila, Nuevo León y Guanajuato; se estudiaron 36 líneas de cebada forrajera imberbe, teniendo como control triticale cv. Eronga 83 y cebada cv. Cerro Prieto. Los resultados revelaron diferencias en el rendimiento de materia seca y en precocidad entre genotipos. Solo con cuatro genotipos se cosechó más de 12 t MS ha⁻¹. Se concluyó que muchos genotipos de cebadas imberbes, son opción viable, para la producir forraje en invierno y en lugares con restricción de agua para riego (Colín-Rico *et al.*, 2007). En Coahuila, 26 líneas de cebada forrajera imberbe, Avena cv. Cuauhtémoc, Cebada cv. Cerro Prieto, Triticale cv. Eronga-83, y una línea experimental de trigo forrajero imberbe (AN-266-99), cultivadas en el ciclo agrícola de otoño-invierno en 2005-2006 y en 2006-2007; fueron cosechadas a los 87-89 días después de la siembra. A este tiempo, se cosechó materia seca con mayor contenido de proteína cruda y energía, y con menor contenido de fibras detergente ácido y neutro, del trigo, del triticale y de la avena. A los 112 días después de la siembra, la composición química de la materia seca de las cebadas fue mayor que al ser cosechadas en estado de desarrollo lechoso-masoso (Colín Rico *et al.*, 2009).

En Chile, al cosechar el cultivo cebada en estado de desarrollo acuoso lechoso (113 días de crecimiento), se obtuvo el mayor rendimiento de materia seca. Se cosecharon 14,000 kg MS ha⁻¹ con digestibilidad del 70%, energía metabolizable de 2.43 Mcal kg⁻¹ MS, y contenido de proteína cruda del 10.6% (Catrileo *et al.*, 2003). Para cultivos de cebada cosechados en estado de desarrollo de embuche,

espigado, grano lechoso y grano masoso se reporta 4,319; 5,664; 6,878 y 7,676 kg MS ha⁻¹, y contenido de proteína cruda del 16.6, 13.3, 10 y 6.9%, en la materia seca. Para el cultivo de avena, cosechada en los mismos estados de desarrollo, se reportan 4,298; 5,398; 6,424 y 8,504 kg MS ha⁻¹; con un contenido de materia seca del 16.4, 13.5, 10.1 y 8.4%, respectivamente en ambos casos. Con base a estos resultado se recomendó cosechar, ambos cultivos, en estado de desarrollo de embuche, espigado o en grano lechoso (Jhonston, 1998). Es claro que conforme maduran las plantas de la cebada, disminuye el contenido de los constituyentes químicos de importancia para la nutrición de los rumiantes domésticos; sin embargo, hay otros factores involucrados en esta tendencia: el genotipo y efecto de la temperatura y estrés hídrico (Mislevy *et al.*, 1997; Juskiw *et al.*, 2000).

La avena forrajera se cultiva en el norte y centro de México como parte del sistema de producción pecuario (Espitia-Rangel *et al.*, 2012; Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013), al igual que en los Valles Altos de Estado de México (Espitia- Rangel *et al.*, 2012). Para este último lugar, se menciona rendimientos de materia seca de hasta 19 ton MS ha⁻¹, al cosechar el cultivo de avena en estado de desarrollo de grano lechoso y masoso. Sin embargo, se cosechó materia seca con mayor contenido de proteína en estado de desarrollo de embuche. Se reporta que al madurar las plantas de avena aumenta el rendimiento de materia seca y disminuye el contenido de proteína cruda de la materia seca. Al cosecha el cultivo de avena en estado de desarrollo de grano maduro se cosecharon 4,475 kg MS ha⁻¹ con 10.6% de proteína cruda; en estado de desarrollo de grano masoso se cosecharon 3,120 kg MS ha⁻¹ con una unidad porcentual de proteína cruda (11.0%) que el anterior estado de desarrollo. Al cosecharlo en estado de desarrollo de embuche se cosecharon 1,247 kg MS ha⁻¹, pero con 7.4 unidades porcentuales de proteína cruda (17.4%) que en estado de desarrollo de grano maduro (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013). Existen diferencias entre variedades de avena para rendimiento de heno, con la variedad Turquesa se han cosechado de 7,000 a 11,000 kg MS ha⁻¹; y con la variedad Chihuahua de 3,000 hasta 10,000 kg MS ha⁻¹, a un mismo estado de desarrollo. La variedad de avena Turquesa fue la

menos variable en su rendimiento debido a ser menos afectada por la roya, en comparación con la variedad Chihuahua (Villaseñor *et al.*, 2009).

En México, el trigo se cultiva muy poco para producir forraje, por esta razón existe escasa investigación sobre este tema. Al igual que la cebada y avena, el trigo tiene potencial para grano y forraje, prefiriéndose más la opción pata grano quizás por su valor económico y demanda local (Peralta *et al.*, 2011). Pero en otros países, como Argentina, se destina para producción de forraje o doble propósito (Bainotti *et al.*, 2005). En Argentina, se han evaluado 19 genotipos de trigo, de ciclo largo e intermedio, para producción de forraje. Se reportan rendimientos de 6,517 kg MS ha⁻¹ y 3,760 kg MS ha⁻¹, para los años 2004 y 2005 respectivamente. Se concluyó que las variedades con mayor potencial para forraje fueron aquellas con mayores rendimientos de grano. En Buenos Aires, Argentina, la variedad de trigo Baguette 20, expuesta a tres niveles de defoliación mecánica (tres, dos y ninguna defoliación) produjo similar cantidad de materia seca al ser cosechada, tres veces (497) y dos veces (392 g m⁻²) (Peralta *et al.*, 2011).

2.5 Calidad nutricional de cereales de grano pequeño

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 (Cherney y Marten 1982; Baron y Kibite, 1987). Genotipos de cebada de mayor altura tienen mayor cantidad de hojas y por lo tanto son más digestibles (Baron y Kibite, 1987).

2.6 Análisis de crecimiento

El crecimiento es el aumento irreversible de las dimensiones de un organismo (Salisbury *et al.*, 2000). Puede ser medido como cambios en la altura, volumen o

peso seco de una planta con el tiempo (Hunt, 2002). El crecimiento es producto de procesos fisiológicos y cambios morfológicos en las plantas y puede ser analizados a intervalos de tiempo, relativamente largos, empleando gran número de plantas; o a intervalos de tiempo más cortos en un pequeño número de plantas, apoyándose con procedimientos matemáticos simples o de regresión lineal simple (Hunt, 1978).

Con los datos de altura y peso seco de diferentes plantas o cultivos, a diferentes intervalos de tiempo, se elabora la curva de crecimiento para comparar el potencial de crecimiento en determinadas condiciones ambientales o de manejo (Hunt, 1978; Salisbury *et al.*, 2000; Hunt, 2002). La curva típica de crecimiento para diversos cultivos anuales y perennes tienen forma de “S” y es llamada curva sigmoidea; en donde, las tres fases principales que pueden observarse en este tipo de curva son: la fase logarítmica, la fase lineal y la fase de senescencia (Bidwell, 1979; Salisbury *et al.*, 2000). Esto es, inicialmente las plantas crecen de manera lenta, posteriormente experimentan un rápido y continuó crecimiento hasta alcanzar su potencial genético para crecer, y finalmente ocurre el cese del crecimiento debido a la madurez y senescencia de las plantas (Bidwell, 1979).

2.7 Factores que afectan el rebrote de las plantas

Las plantas forrajeras perennes tienen la capacidad de regenerar su tejido vegetal después de cada corte o apacentamiento, si la temperatura del aire y suelo, fertilidad del suelo, y disponibilidad de agua no sean restrictivos para el crecimiento. Para lograr este potencial en praderas 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 (Hunt, 1978; Brougham citado por Silva y Nascimento Jr., 2007). Los primeros trabajos que describen al rebrote con una curva sigmoidea fueron los realizados por Brougham quien reportó las tres fases para la acumulación de la materia seca en cada rebrote. Para la primera fase, asoció el crecimiento a las reservas orgánicas en las raíces y base de los tallos y al área residual de hojas fotosintéticamente activas. Para la segunda, reportó constante acumulación lineal

de la materia seca. Para la tercera fase, observó la máxima acumulación de materia seca y aumento en la senescencia de las hojas. Según Hodgson (1990) el ciclo de crecimiento de un rebrote ha concluido cuando se alcanzó la máxima acumulación de materia seca y el sombreo de las hojas causa que las plantas estén en punto de compensación, desde el punto de vista fisiológico.

La capacidad de rebrote de las plantas forrajeras perennes depende factores propios de las plantas (reservas de carbohidratos en raíces y bases de los tallos, área foliar residual, tasa de amacollamiento, concentración de hormonas), del suelo (disponibilidad de nutrientes y agua) y clima (temperatura y radiación solar) que influyen en la fotosíntesis y la habilidad para competencia intra e inter específica (Del Pozo, 1983; Briske, 1991). Las plantas emplean las reservas de carbohidratos para el crecimiento inicial, cuando el área foliar residual es nula o insuficiente para producir los foto-asimilados para crecimiento (Volenc, 2005). Los carbohidratos de reserva y nitrógeno en los órganos de reserva de las plantas (raíces y corona) se consideran importantes para iniciar el proceso de rebrote (Briske *et al.*, 1996; Skinner *et al.*, 1999). Un factor propio de las plantas, importante para el crecimiento, son los meristemos (tejidos embrionarios, formados por células indiferenciadas, capaces de originar, mediante divisiones continuas, otros tejidos y órganos especializados), ya que son los sitios de donde se origina el nuevo tejido vegetal o rebrote. La cantidad de tejido vegetal en cada rebrote puede ser afectado por las temperaturas del invierno (Briske, 1991). Mayor cantidad de materia seca acumulada, en cada rebrote, está asociada a mayor cantidad de meristemos activos. Hernández-Garay y Martínez (1997) mencionan que después de una cosecha, el rebrote de las especies forrajeras ocurre por translocación de carbohidratos de raíces y base de tallos, a los meristemos de crecimiento, de esta forma, en algunas especies, los cortes severos reducen considerablemente la disponibilidad de carbohidratos, provocando una tasa de rebrote lenta y en consecuencia que la pradera sea invadida por maleza.

El Índice de área foliar se ha relacionado con la intercepción 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 las distribución de las

hojas en el tallo (Chapman y Lemaire, 1993). Este índice varía entre plantas y especies forrajeras y su relación con el crecimiento es modificad por densidad de plantas, tamaño de macollos y altura de las plantas. Conforme aumenta el índice de área foliar se reduce la tasa de crecimiento debido al sombreado mutuo entre las hojas de las plantas (Lemaire, 2001).

2.8 Radiación solar e intercepción luminosa

La radiación solar es el insumo indispensable para el crecimiento de las plantas y por lo tanto para la acumulación de materia seca, en cada rebrote. Las plantas forrajeras perennes, en las praderas, están expuestas a variaciones diarias y estacionales en la cantidad de radiación solar (400 y 700 nm) que incide sobre su tejido fotosintéticamente activo produciendo variaciones en la tasa de fotosíntesis y consecuentemente en la acumulación de materia seca (Villalobos *et al.*, 2002). Hodgson (1990), Da Silva y Nascimento Jr (2007) y Da Silva y Hernández (2010) mencionan que cuando las praderas perennes, tropicales y templadas, interceptan el 95 % de la radiación solar incidente sobre ellas es el momento óptimo para su cosecha. Ficou, citado por Da Silva y Nascimento Jr (2007) demostró la relación entre el crecimiento de las plantas forrajeras y nivel radiación interceptada del área foliar y la acumulación de materia seca, ocurrirá en tanto exista suficiente área foliar para interceptar la radiación solar fotosintéticamente activa. A medida que el área foliar aumenta, la cantidad de luz interceptara será mayor y, por consecuencia, el crecimiento de las praderas será mayor (Hodgson, 1990).

2.9 Índice de área foliar

El concepto de índice de área foliar, es un concepto propuesto por Watson, citado por Da 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 y praderas 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).

La importancia del índice de área foliar radica en la cantidad de hojas fotosintéticamente activas, que tienen las plantas (Matthew y Hodgson, 1997). Al acumularse las hojas aumenta el índice de área foliar y por lo tanto la capacidad de las plantas y praderas para interceptar la radiación solar (Velasco *et al.*, 2001; Villegas, 2002).

Literatura citada

- Argentel, L., Gonzales M. L., Plana R. 2006. Respuesta de 12 variedades de trigo a la salinidad en las etapas iniciales del crecimiento. *Cultiv. Trop.* 27, 41–44.
- Bainotti, C., Ghida Daza, C., Amigone, M., Salines, J., Masiero, B., Frascina, J. 2002. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2001/02, Trigo Actualización 2002. N° 71. INTA-EEA Marcos Juárez.
- Bainotti, C.T., Gomes, D., Masiero, B., Salines, J., Frascina, J., Bertram, N., Navarro, C. 2005. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2005/06.
- Baron, V.S., Kibite, S. 1987. Relationships of maturity, height and morphological traits with whole-plant yield and digestibility of barley cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 67, 1009–1017.
- Berkenkamp, B., Meeres, J. 1987. Mixtures of annual crops for forage in central Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 67, 175–183.
- Bidwell, R.G.S. 1979. *Plant Physiology*. Macmillan Publishers Limited.
- Briske, D.D., Boutton, T.W., Wang, Z. 1996. Contribution of flexible allocation priorities to herbivore tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with 13 Clabelling. *Oecologia* 105, 151–159.

- Catrileo, A.S., Rojas, C.G., Matus, J.C. 2003. An Evaluation of the Production and Quality of Barley Sown Alone or Combined with Forage Species for the Production of Silage. *Agric. Téc.* 63, 135–145.
- 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., Marten, G.C. 1982. Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop Sci.* 22, 240–245.
- Colín-Rico, M., Zamora Villa, V.M., Lozano del Río, A.J., Martínez Zambrano, G., Torres Tapia, M.A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 45, 249–a.
- Colín-Rico, M., Zamora Villa, V.M., Torres Tapia, M.A., Jaramillo Sánchez, M.A. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 47, 27–a.
- Da Silva, S., Hernández, G. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: *Los forrajes y su impacto en el trópico*. Velasco ME editor, Chiapas, México: UNACH.
- Del Pozo, M. 1983. *La Alfalfa. Su cultivo y aprovechamiento*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H.E., Tovar Gómez, R., de la O Olán, M., Limón Ortega, A. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3, 771–783.
- Hernández-Córdova, N., Soto Carreño, F., Plana Llerena, R. 2015. Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultiv. Trop.* 36, 86–92.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing management. Science into practice*. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.

- Hunt, R. 1990. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold. London, England.
- Hunt, R. 2002. A Modern Tool for Classical Plant Growth Analysis. *Ann. Bot.* 90, 485–488.
- Información del Sistema Agropecuario (INFOAGRO). 2010. Cultivo de avena. Información agronómica. Madrid, España. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm> (revisado 9 marzo 2015)
- Jhonston, J. Mckinlay, J. 1998. Forage production from spring cereals and-pea mixtures. Ministre of Agriculture. Goberment of Ontario, Canada. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/> (revisado el 08 de abril de 2015)
- Juskiw, P.E., Helm, J.H., Salmon, D.F. 2000. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.* 40, 148–158.
- 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.
- Kent N. L. 1987. Tecnología de los cereales, 3rd ed. Acribia, SA, Zaragoza, España.
- Khan, A., Ahmad, I., Shah, A., Ahmad, F., Ghani, A., Nawaz, M., Shaheen, F., Fatima, H.U., Pervaiz, F., Javed, S., others. 2013. Mejoramiento del estrés de salinidad en trigo (*Triticum aestivum* L) mediante la aplicación foliar de fósforo. *Phyton B. Aires* 82, 281–287.
- Lemaire, G., Hodgson, J., De Moraes, A., Carvalho, P.C. de F., Nabinger, C. 2000. Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cab international.
- Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dhima, K.V., Dordas, C.A., Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Res.* 99, 106–113.
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 14, 907–918.

- Lozano del R., A.J. 2000. Competencia interespecifica e intergenérica en mezclas de especies forrajeras anuales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, México.
- Maloney, T.S., Oplinger, E.S., Albrecht, K.A. 1999. Small grains for fall and spring forage. *J. Prod. Agric.* 12, 488–494.
- Mislevy, P., Martín, F.G., Adjei, M.B., Miller, J.D. 1997. Harvest management effects on quantity and quality of *Erianthus* plant morphological components. *Biomass Bioenergy* 13, 51–58.
- Pagliaricci, H., González, S., Ohanian, A., Pereyra, T. 2000. Caracterización del crecimiento y la producción de cereales forrajeros invernales en Córdoba, Argentina. *Agric. Téc.* 60, 224–235.
- Peralta, N., Abbate, P.E., Marino, A. 2011. Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de grano en trigo doble propósito. *agriscientia* 28, 1–11.
- Poehlman, P.F. 1981. Mejoramiento genético de las cosechas, Primera. ed. México.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J.J., Villalobos-Villalobos, G., 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 36, 395–403.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W., Alonso, J.M. 2000. Fisiología de las plantas: Células: agua, soluciones y superficies Ed. Thomson. Paraninfo. Pp. 305.
- Saucedo, M.C.C., Castañeda, C.L., Moreno, J.M., León, T.B.C., Hernández, A.L. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27, 167–175.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.sagarpa.gob.mx>).
- Sevilla, G.A., Pasinato, A., García, J.M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch Latinoam Anim. Prod* 9, 91–98.
- Silva, S.C. da, Nascimento Júnior, D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 122–138.

- Skinner, R.H., Morgan, J.A., Janson, J.D. 1999. Carbon and nitrogen reserve remobilization following defoliation: nitrogen and elevated CO₂ effects. *Crop Sci.* 39, 1749–1756.
- Suttie, J.M. 2003. Conservación de heno y paja: para pequeños productores y en condiciones pastoriles. FAO. <http://www.fao.org/docrep/007/x7660s/x7660s00.HTM> (revisado 08 de mayo, 2015).
- Thompson, D.J., Stout, D.G., Moore, T. 1992. Forage production by four annual cropping sequences emphasizing barley under irrigation in southern interior British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 72, 181–185.
- Villaseñor Mir, H.E., Espitia Rangel, E., Huerta Espino, J., Osorio Alcalá, L., López Hernández, J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agric. Téc. En México* 35, 487–492.
- Villaseñor-Mir, H.E., Espitia, R.E., Huerta, E.J. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones, in: 60 Años de Investigación En El Campo Experimental Valle de México. pp. 17–30.
- Volenc, J.J., Nelson, C.J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. *Crop Sci.* 23, 720–724.

3. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE CEBADAS PARA PRODUCCIÓN DE FORRAJE

Claudia Yanet Wilson García, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2015

3.1 RESUMEN

Los objetivos del estudio fueron construir curvas de acumulación de forraje, y determinar el momento óptimo de corte para forraje de dos líneas y una variedad de cebada, durante dos ciclos de crecimiento. Los cortes se iniciaron a los 43 días del establecimiento del cultivo y hasta que se alcanzó la máxima acumulación de materia seca. La acumulación de forraje, composición morfológica, índice de área foliar, altura de planta e interceptación luminosa se evaluaron semanalmente en ambos ciclos. Los datos de los dos experimentos se analizaron con los procedimientos GLM de SAS, para un diseño experimental de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. La radiación interceptada y el índice de área foliar pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte. El momento óptimo de corte en el segundo ciclo de cultivo fue a los 70 días después de la siembra, con valores de radiación interceptada de 94, 95 y 91 %, con índices de área foliar de 7, 5 y 3 y alturas de 88, 82 y 59 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah, respectivamente ($p < 0.05$), en el estado de elongación del tallo. El momento fenológico óptimo de corte para forraje en cebada es el estado de elongación del tallo.

Palabras clave: Composición morfológica, altura, radiación interceptada, etapa fenológica

GROWTH ANALYSIS OF BARLEY FOR FORAGE PRODUCTION

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

3.2 ABSTRACT

The objectives of the research were to generate forage accumulation curves, and to determine the optimal cutting time for forage for two lines and a variety of barley, during two growth cycles. Cuttings started 43 days after sowing (DAS), and until the maximum accumulation of dry matter was reached. Forage accumulation, morphological composition, leaf area index, plant height and light interception were evaluated weekly. Data from the experiments were analyzed using SAS software, using a randomized block design and a split-plot arrangement with three replicates. Intercepted radiation and leaf area can be used to determine the optimal cutting time. The optimal cutting time in the second growth cycle was 70 DAS, with intercepted radiation values of 94, 95, and 91%, leaf area indices of 7, 5, and 3, and heights of 88, 82 and 59 cm for Esp x O'Connor, Esp x CP and Lenetah ($p < 0.05$), respectively, at the stem elongation stage. The optimal phenological stage for cutting barley for forage is the stem elongation stage.

Keywords: morphological composition, plant height, light interception, phenological stage.

3.3 INTRODUCCIÓN

La cebada es uno de los cereales forrajeros que se utiliza en muchas partes del mundo para la alimentación en sistemas ganaderos de producción de carne y leche (Maloney *et al.*, 1999). Además debido a su alto rendimiento, la cebada es utilizada para compensar las deficiencias de los forrajes perennes cuyo rendimiento es muy bajo, como consecuencia de las condiciones climáticas que se presentan en invierno e inicios de primavera (Keles *et al.*, 2013), tiene la ventaja sobre otros cereales de ser más vigorosa, resistente a la sequía, salinidad y puede cultivarse en suelos marginales (Saucedo *et al.*, 2004; López-Castañeda, 2011). Este cultivo presenta rápido desarrollo, por lo cual produce forraje y grano en menor tiempo, en comparación con otros cultivos del mismo ciclo, y presenta buena calidad forrajera dependiendo de la etapa de desarrollo en que se realice el corte (Juskiw *et al.*, 2000; Colín Rico *et al.*, 2009).

Los cereales forrajeros de invierno presentan diferencias en sus curvas de crecimiento, es por eso que antes de sembrar, se deben seleccionar las especies y variedades de acuerdo a las necesidades de cada sistema de producción (Sevilla *et al.*, 2001). El análisis de crecimiento vegetal, es una herramienta de gran valor para conocer la formación y acumulación de biomasa. Además, sí en cada etapa de crecimiento se determina la composición morfológica del cultivo, es probable definir el número y el rendimiento por hectárea de hojas, tallos, material muerto o espigas presentes, los cuales pueden utilizarse como indicadores de calidad del forraje cosechado. En diversos estudios se establece que la calidad de un forraje se encuentra relacionada con el área foliar y con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo. Además, sí los parámetros mencionados anteriormente se relacionan con la altura de la planta, ésta puede ser utilizada como indicador de fechas óptimas de cosecha. Al respecto, Hodgson (1990) en especies templadas, Silva y Nascimento Júnior, (2007) y Da Silva y Hernández (2010) en gramíneas tropicales mencionan que el punto óptimo para cosecharlas es cuando alcanza el 95 % de intercepción luminosa, debido a que en ese punto

es la hoja el órgano mayoritario y con mejor calidad de la planta, y es por tanto el punto óptimo de crecimiento en el cual se evita la acumulación de materia muerta. En México, la superficie sembrada con cebada en 2013 fue de 355,782 ha, de la cual el 90 % fue para producción de malta (SIAP, 2014). Los estudios hechos han sido enfocados a la evaluación de producción de grano, y existe escasa información sobre el desempeño productivo forrajero. Debido a que las hojas se asocian a la calidad de la planta completa, es importante determinar el momento de corte en el cual hay una mayor cantidad de estas, de esta forma los productores podrán decidir si la cosecha es en una etapa de madurez temprana o retrasar la cosecha, dependiendo de las necesidades del productor ya sea menor rendimiento con mayor calidad o mayor rendimiento con menor calidad. Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron realizar curvas de acumulación de forraje y determinar el momento óptimo de corte para forraje de dos líneas y una variedad de cebada.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en condiciones de campo en el ciclo de invierno-primavera 2012-2013 (EIP1) e invierno-primavera 2013-2014 (EIP2), en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' LN, 98° 54' LW y 2250 msnm). El suelo del área de estudio es migajón arenoso, ligeramente alcalino (pH: 7.8) con 2.4 % de materia orgánica (Ortiz, 1997). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación media anual de 645 mm y temperatura media anual de 15 °C; la temperatura promedio más baja es de 11.6 °C en el mes de enero y la más alta de 18.4 °C en el mes de mayo (García, 1998).

Forrajes

Se utilizaron dos líneas F6 de cebada seleccionadas por su alto vigor inicial, resistencia a sequía y rendimiento por el programa de Genética del Colegio de Postgraduados; Cebada F6 (2H) Esperanza x O'Connor CPRSC-6-2M-1MR-2M-OMR (Esp x O'Connor) (2 hileras), Cebada F6 (6H) Esperanza x CP CPRSC-5-2M-2MR-7M-OMR (Esp x CP) (6 hileras) y la variedad Lenetah (2 hileras).

La siembra del EIP1 se realizó el 5 de diciembre de 2012 y la de EIP2 el 4 de diciembre de 2013; La densidad de siembra utilizada fue de 100 kg ha⁻¹. Las parcelas se distribuyeron aleatoriamente en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-00 en la siembra y 40 unidades de nitrógeno al inicio de la etapa de amacollamiento (37 días después de la siembra). Se aplicaron 9 riegos durante el experimento.

3.4.1 Acumulación de forraje (AF)

A partir del día 43 después de la siembra y hasta que los cultivos alcanzaron la máxima acumulación de materia seca se realizaron cortes semanales. Para el caso del ciclo EIP1 solo se muestreó hasta los 84 DDS por que se presentó una helada que provocó la muerte de las plantas. Se tomó una muestra de 0.45 m² de forraje a una altura de 12 cm; el forraje cosechado se lavó y se secó a 55°C hasta que llegó a peso constante, para estimar la cantidad de materia seca promedio por hectárea a las diferentes edades de crecimiento.

3.4.2 Composición morfológica (CM)

La composición morfológica se evaluó con una submuestra del 20 % del forraje cosechado y se separó en los componentes: hoja, tallo, espiga y material muerto. Las muestras se secaron a 55°C hasta peso constante y posteriormente se pesaron. Con los datos de peso seco se obtuvo la contribución de los componentes hoja, tallo, espiga y material muerto al rendimiento total en kg ha⁻¹.

3.4.3 Índice de área foliar (IAF)

De la submuestra del 20 % que se utilizó para composición morfológica se tomaron las hojas de cada muestra y se le determinó el área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, inc.). Con los datos obtenidos de área foliar y la superficie de muestreo, se estimó el índice de área foliar.

3.4.4 Altura de planta

Antes de cada muestreo se realizaron 20 mediciones al azar en cada unidad experimental; con una regla de 1 mm de precisión, con base a la técnica descrita por Hernández-Garay (1996), donde se indica que las mediciones deben efectuarse en plantas al azar con la regla colocada de manera vertical y registrar donde la mica móvil de la regla toque la primera hoja.

3.4.5 Intercepción luminosa

Antes de cada corte se tomaron 5 lecturas al azar de radiación interceptada para cada unidad experimental con el Ceptómetro modelo LP-80 (Decagon Devices, Inc.). Las mediciones se realizaron a las 12:00 horas.

3.4.6 Análisis estadístico

Los datos de los dos experimentos se analizaron con los procedimientos GLM de SAS (Statiscal Analysis System Versión 9.0 para Windows), para un diseño experimental de bloques al azar en arreglo en parcelas divididas con tres tratamientos correspondientes a las tres líneas de cebadas y tres repeticiones. Las curvas ajustadas de crecimiento con su modelo y coeficientes respectivos para cada línea evaluada se obtuvieron con el programa Curve Expert Professional 2.0 (Curve Expert Computer Software. Vers 2.0 N.p. D.d. Web).

3.4.7 Datos climatológicos

Los datos de temperaturas del aire (mínima, media y máxima) y precipitación pluvial de los experimentos EIP1 e EIP2 se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 2 km del lugar donde se realizaron los experimentos.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Acumulación total de forraje

En la figura 1 y 2 se presentan los cambios semanales en la acumulación de forraje total de las tres cebadas evaluadas en los ciclos EIP1 y EIP2. En el EIP1 se presentó un incremento progresivo en la acumulación de forraje desde los 43 DDS hasta alcanzar los máximos rendimientos de materia seca a los 84 DDS que fueron para Esperanza x O'Connor, de 5,253.3 kg ha⁻¹, Esperanza x CP de 4,280.7 kg ha⁻¹ y Lenetah de 3,021.4 kg ha⁻¹ ($p \leq 0.05$) en el estado fisiológico de espigado, ésta fue la última fecha de muestreo, debido a la helada que causó la muerte de las plantas. En el EIP2 el máximo crecimiento fue a los 106 DDS cuando las plantas se encontraban en estado de inicio masoso. Esperanza x O'Connor fue quien obtuvo el mayor rendimiento de materia seca con 13,155.48 kg ha⁻¹, seguida de Esperanza x CP con 12,488.29 kg ha⁻¹ y Lenetah con 5,745 kg ha⁻¹ ($p \leq 0.05$).

En el EIP1 al no completarse las fases de desarrollo de las plantas debido a la helada, el modelo con mejor ajuste fue de tipo exponencial con $R^2 \geq 0.93$. Mientras que para el EIP2 al completarse todas las fases de crecimiento, las tres cebadas presentaron curvas de crecimiento de tipo sigmoideal, con $R^2 \geq 0.97$; coincidiendo con Salisbury y Ross (1994) quienes señalan, que la mayoría de las plantas presentan este tipo de comportamiento.

Los bajos rendimientos en el EIP1 comparado con el EIP2 probablemente se debieron al mayor número de heladas que se presentaron en ese ciclo (Cuadro 1) provocando daños en el aparato fotosintético de las plantas y por lo tanto menor acumulación de materia seca. La mayor acumulación de forraje en el EIP2 probablemente está relacionado a que las temperaturas fueron mayores y por lo tanto el crecimiento y desarrollo de las plantas fue mejor, ya que como indican López-Castañeda y Richards (1994) la temperatura es uno de los factores que más incide en el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando los procesos de crecimiento, expansión foliar, tasa de asimilación neta, tasa de aparición de hojas y tasa relativa de crecimiento, así como el proceso de desarrollo. En cuanto a los máximos rendimientos encontrados en el EIP2 a los 106 DDS (inicio masoso) coinciden con lo reportado por Colín Rico *et al.* (2007) quienes al evaluar 36 genotipos de cebadas en tres localidades diferentes reportan rendimientos superiores a 11 ton ha^{-1} .

3.5.2 Altura, Radiación interceptada e Índice de área foliar

Para el EIP1 a los 84 DDS las alturas encontradas fueron de 88, 81 y 55 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah; sin embargo, para el experimento EIP2 para la misma fecha fueron de 106, 105 y 73 cm para las mismas variedades. Las máximas alturas de planta, en el EIP2 se encontraron a los 98 DDS con 133 y 112 cm para Esp x O'Connor y Esp x Cp y a los 91 DDS con 81 cm para Lenetah ($p < 0.05$).

Las máximas radiaciones interceptadas en el EIP2 se encontraron a los 70 DDS con 94, 95 y 91 % para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah; mientras que para el EIP1 fueron de 82, 74 y 64 %, respectivamente; lo que indica que las cebadas no alcanzaron las máximas radiaciones posiblemente relacionado a las menores

temperaturas y al mayor número de heladas presentes. Para efectos prácticos se señala que existe una correlación positiva entre la RI y la altura de los cultivos (Silva y Nascimento Júnior, 2007).

En el EIP1, los máximos IAF se encontraron en las fechas 63 y 70 DDS con 2.8, 1.8 y 1.3 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0.05$). En el EIP2 los IAF se incrementaron conforme avanzó la edad de las plantas y fue a los 70 DDS para todas las cebadas evaluadas que se observaron los máximos valores con 7, 5 y 4 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah ($p < 0.05$).

En el ciclo EIP1 las máximas radiaciones interceptadas encontradas, no coinciden con los máximos IAF y éstos fueron variables a través de los muestreos como respuesta a los factores del clima, principalmente temperatura y se vio reflejado en las menores alturas encontradas en comparación con el ciclo EIP2. En el EIP2 los máximos IAF para las tres cebadas coinciden con las máximas radiaciones interceptadas encontradas y mayores alturas para todas las fechas en comparación con el EIP1. De manera general, en ambos ciclos, la línea Esp x O'Connor fue quien presentó la mayor acumulación de forraje y los máximos IAF y RI.

En muchos trabajos realizados en pastos tropicales se ha observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95 % de intercepción luminosa y está relacionado con la mayor aportación de hojas al rendimiento, y es el punto óptimo de crecimiento donde existe poca acumulación de material muerto; con niveles de 14 a 18 % de proteína cruda y digestibilidades de un 60 a 70 % (Silva y Nascimento Júnior, 2007). La validez y el uso potencial del criterio de intercepción de la luz como una estrategia de defoliación fueron ratificados por Parsons *et al.* (1988). Según estos autores, el IAF crítico es cuando el 95 % de luz incidente es interceptada por el dosel, la tasa media de acumulación de forraje alcanza su máximo, es decir, el equilibrio entre los procesos de máximo crecimiento y senescencia permite una mayor acumulación de forraje. Así mismo, de manera práctica se ha relacionado la RI y el IAF con la altura, permitiendo definir fechas óptimas de corte para forraje. En éste trabajo en el EIP1, no se encontraron las máximas radiaciones interceptadas esperadas, debido a las bajas

temperaturas y a la presencia de heladas; sin embargo, en el EIP2 la fecha óptima de corte fue a los 70 DDS con radiaciones interceptadas de 94, 95 y 91 %, alturas de 88, 82 y 59 cm e IAF de 7, 5 y 3 para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah en el estado de elongación del tallo. Keles *et al.* (2013) al evaluar el rendimiento del rebrote en cebada, centeno, trigo, avena y triticale en las etapas de amacollamiento y elongación del tallo, reportaron que los cereales de invierno pueden ser pastoreados hasta la etapa de elongación del tallo, sin causar grandes reducciones en el rendimiento del rebrote y forraje total. Es por lo anterior que definir la etapa morfológica y fisiológica, en la que se encuentra la planta forrajera al momento de la primera cosecha, es de suma importancia, debido a que de esto dependerá la persistencia y el vigor de los rebrotes (Calzada-Marín *et al.*, 2014).

3.5.3 Componentes morfológicos

En EIP1 y EIP2 la morfología de la planta varió ($p < 0.01$), en las diferentes fechas de muestreo. Así mismo, se observó que los componentes tallo y material muerto están correlacionados de manera positiva con el incremento en la edad de las plantas (Figuras 3 y 4). En el componente hoja, para el EIP1, aumentó progresivamente hasta los 63 DDS, posteriormente se incrementó el tallo y material muerto en las tres cebadas. A los 63 DDS las líneas Esp x O'Connor ($1,362 \text{ kg ha}^{-1}$) y Esp x CP ($1,130 \text{ kg ha}^{-1}$) presentaron la mayor cantidad de hojas, mientras que Lenetah ($1,028 \text{ kg ha}^{-1}$) fue la menor ($p < 0.05$); para ésta fecha la contribución de hoja al rendimiento total fue de 75, 78 y 83 %, para tallo de 20, 19 y 8 % y material muerto 5, 3 y 9 %, respectivamente. En contraste, a los 84 DDS la aportación de hoja fue de 30, 25 y 31 %, tallo de 61, 57 y 56 %, material muerto de 5, 7 y 13 % y espiga de 4, 11 y 0 %. En el EIP2 la dinámica de crecimiento del componente morfológico hoja se incrementó hasta los 77 DDS para Esp x O'Connor ($2,142 \text{ kg ha}^{-1}$) y hasta los 70 DDS en Esp x Cp ($1,593 \text{ kg ha}^{-1}$) y Lenetah ($1,061 \text{ kg ha}^{-1}$); a partir de estas fechas los componentes tallo y material muerto fueron los que presentaron una mayor contribución al rendimiento total; la aportación de espiga al rendimiento para las tres variedades inició a los 84 DDS. La contribución de hoja al rendimiento total en las fechas mencionadas fue de 38,

41 y 46 %, tallo de 45, 56 y 46 %, material muerto de 4, 3 y 8 % para Esp x O'Connor, Esp x CP y Lenetah, respectivamente; aunque en la última fecha de muestreo (106 DDS) se encontraron los máximos rendimientos totales, la hoja solo contribuyó con 14, 8 y 5 %, mientras que el tallo con 54, 43 y 58 %, material muerto con 4, 9 y 16 % y la espiga con 27, 40 y 31 % para las mismas variedades ($p < 0.05$). Juskiw *et al.* (2000) encontraron que la distribución de la biomasa durante el periodo de cosecha puede afectar el rendimiento y la calidad del forraje para producción de ensilado en cultivos de cereales y que la densidad de siembra, siembra en monocultivos y asociaciones y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de hoja, tallo, espiga y biomasa total.

La menor proporción de hojas, tallos, material muerto y espigas y la variación de estos componentes en las fechas evaluadas en el EIP1 en comparación con el EIP2, puede estar relacionado a las bajas temperaturas y mayor presencia de heladas en este ciclo. Al respecto, se menciona que el daño por bajas temperaturas puede ocasionar pérdida de la actividad fotosintética, área foliar clorótica y muerte de sectores de la lámina de la hoja (especialmente la porción distal), pérdida de la espiga ya diferenciada, con la consecuente esterilidad del tallo, daño en nudos y entrenudos basales, aunque no supone una interrupción de la nutrición de la parte superior de la planta, pero genera una zona de debilitamiento del tallo y por lo tanto predispone al acame (Fraschina *et al.*, 2000). En el EIP2 la disminución de la proporción de hojas a partir del día 70 y 77 puede estar relacionado a que las hojas de los estratos inferiores mueren por que se encuentran por debajo del punto de compensación de luz, ya que la senescencia en hojas se presenta por la pérdida gradual en la actividad fotosintética que conduce a la degeneración y muerte del tejido, en éste caso principalmente por la edad de las plantas (Chapman y Lemaire, 1993). Así mismo, en etapas fenológicas avanzadas se incrementa el peso de espigas y tallos, disminuyendo el de hojas, lo cual se ha explicado fisiológicamente en trigo, estableciendo que el peso seco de la espiga se incrementa a medida que la planta inicia el llenado de grano, debido en parte, a la translocación de fotosintatos desde los tallos y hojas

que resulta en senescencia y pérdida de estos componentes (Niu *et al.*, 1998; Juskiw *et al.*, 2000).

3.6 CONCLUSIONES

Los materiales de cebada estudiados presentaron fases similares de crecimiento y etapas de desarrollo, en las condiciones evaluadas para cada ciclo de producción. La radiación interceptada y el IAF pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte, siempre y cuando no existan daños en la producción de forraje por factores climáticos. El momento óptimo de corte en el EIP2 se encontró a los 70 DDS con valores de radiación interceptada de 94, 95 y 91 %, IAF de 7, 5 y 3 y alturas de 88, 82 y 59 cm para Esp x O'Connor, Esp x Cp y Lenetah en el estado de elongación del tallo. El momento fenológico óptimo de corte para forraje en cebada es el estado de elongación del tallo. Desde el punto de vista de rendimiento total se recomienda cosechar en el estado de inicio masoso.

Cuadro 1. Promedio mensual de temperaturas máximas y mínimas, precipitación y número de heladas durante los dos periodos experimentales. Estación Meteorológica Universidad Autónoma Chapingo.

Mes	Temperaturas (°C)				Precipitación (mm)		Heladas (número)	
	2012-2013 Máxima	2013-2014 Mínima	2012-2013 Máxima	2013-2014 Mínima	2012-2013	2013-2014	2012-2013	2013-2014
Diciembre	23.5	3.1	23.6	4.4	0	0.9	25	17
Enero	22.6	4.4	21.4	2.2	0	2.6	18	25
Febrero	26	4.4	25.6	4	2.8	2.4	15	12
Marzo	24.9	5	26.5	7.2	1.6	27.7	18	5
Abril	27.9	9.1	27.3	8.4	23	20.1	3	3
Total	-	-	-	-	27.4	53.7	79	62

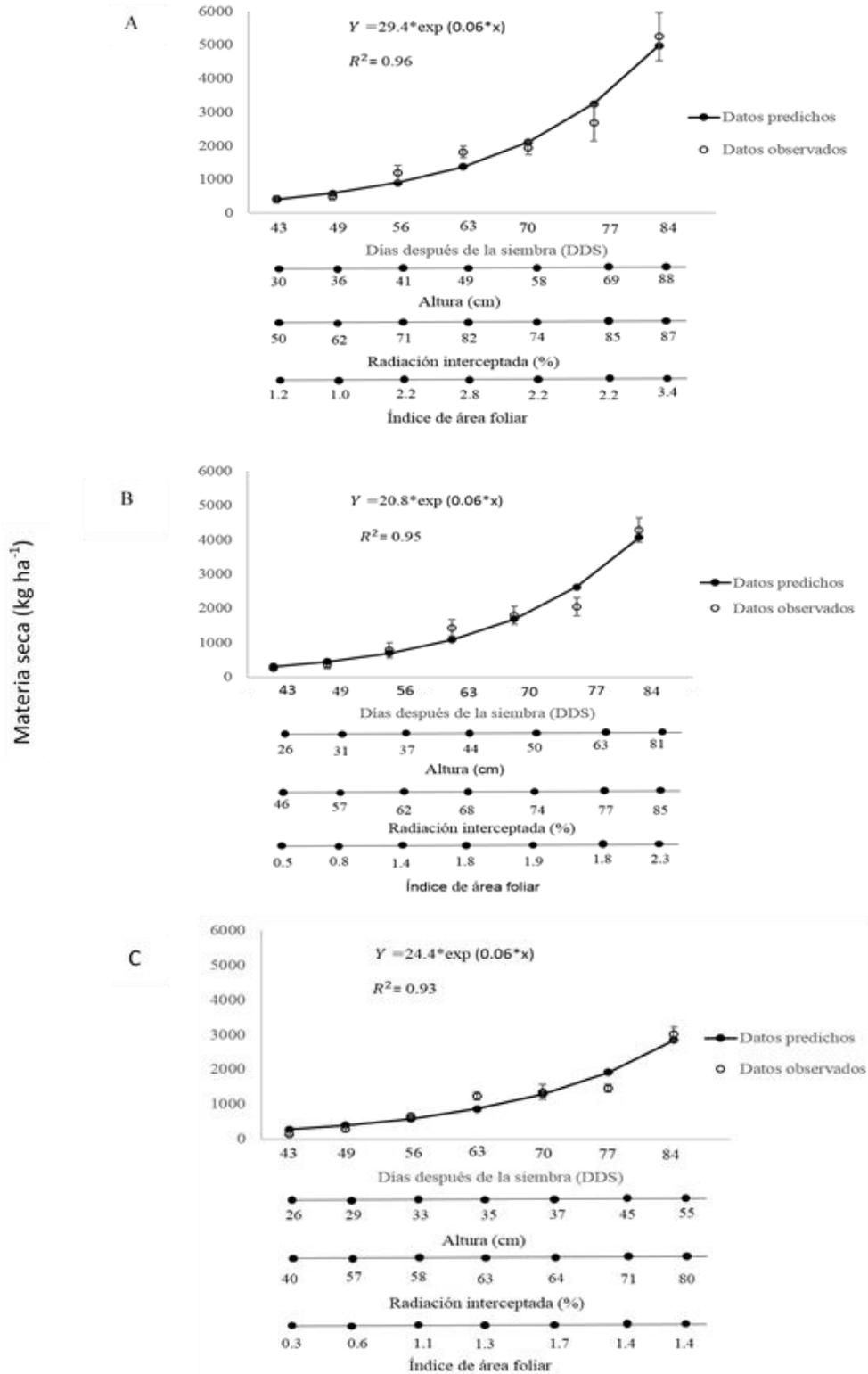


Figura 1. Curvas de acumulación total de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah en el experimento EIP1. Las barras \pm representan una desviación estándar ($n = 3$).

Materia seca (kg ha⁻¹)

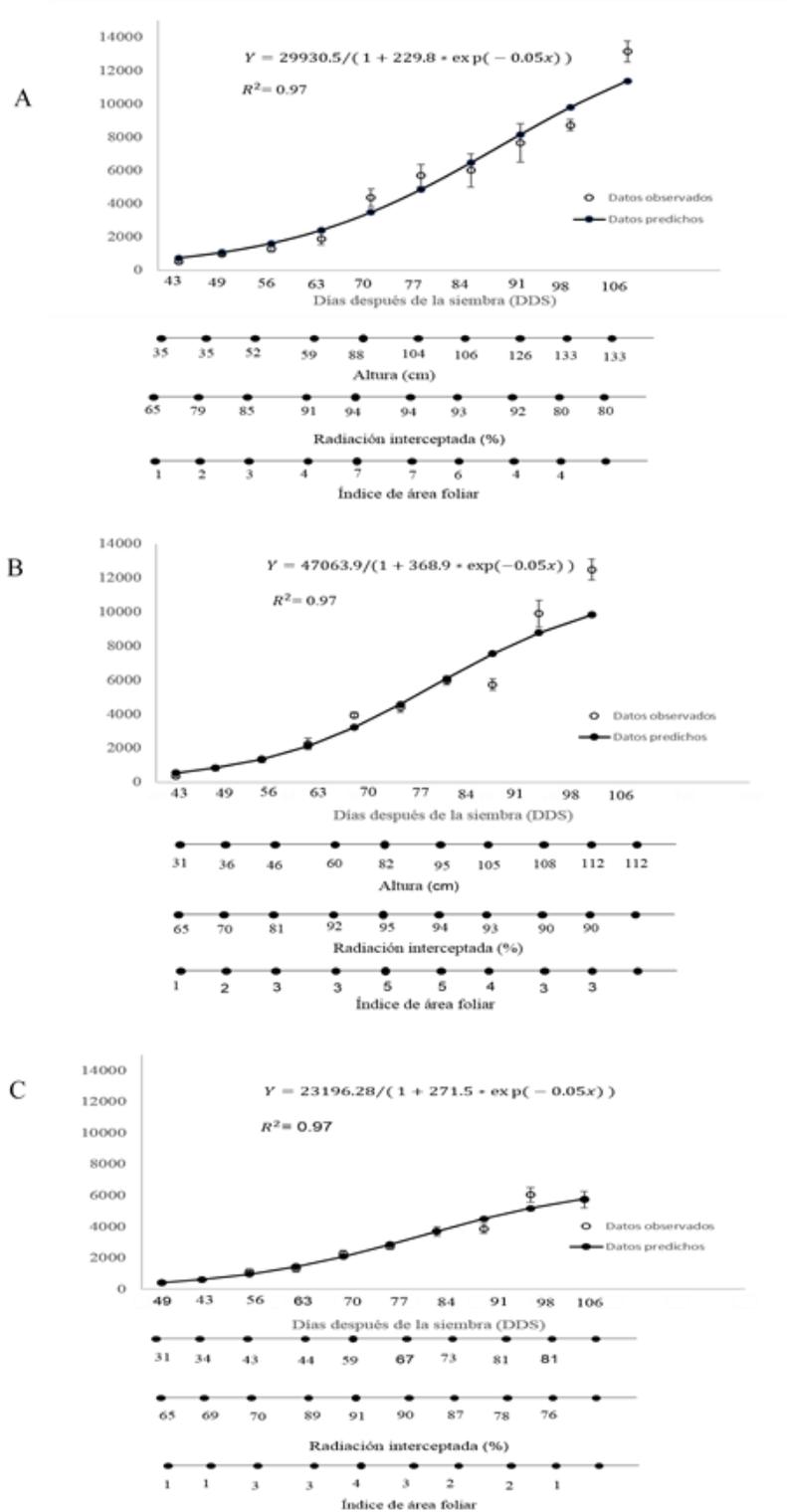


Figura 2. Curvas de acumulación de forraje, altura de planta, radiación interceptada e índice de área foliar de las cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah en el experimento EIP2. Las barras \pm representan una desviación estándar (n = 3).

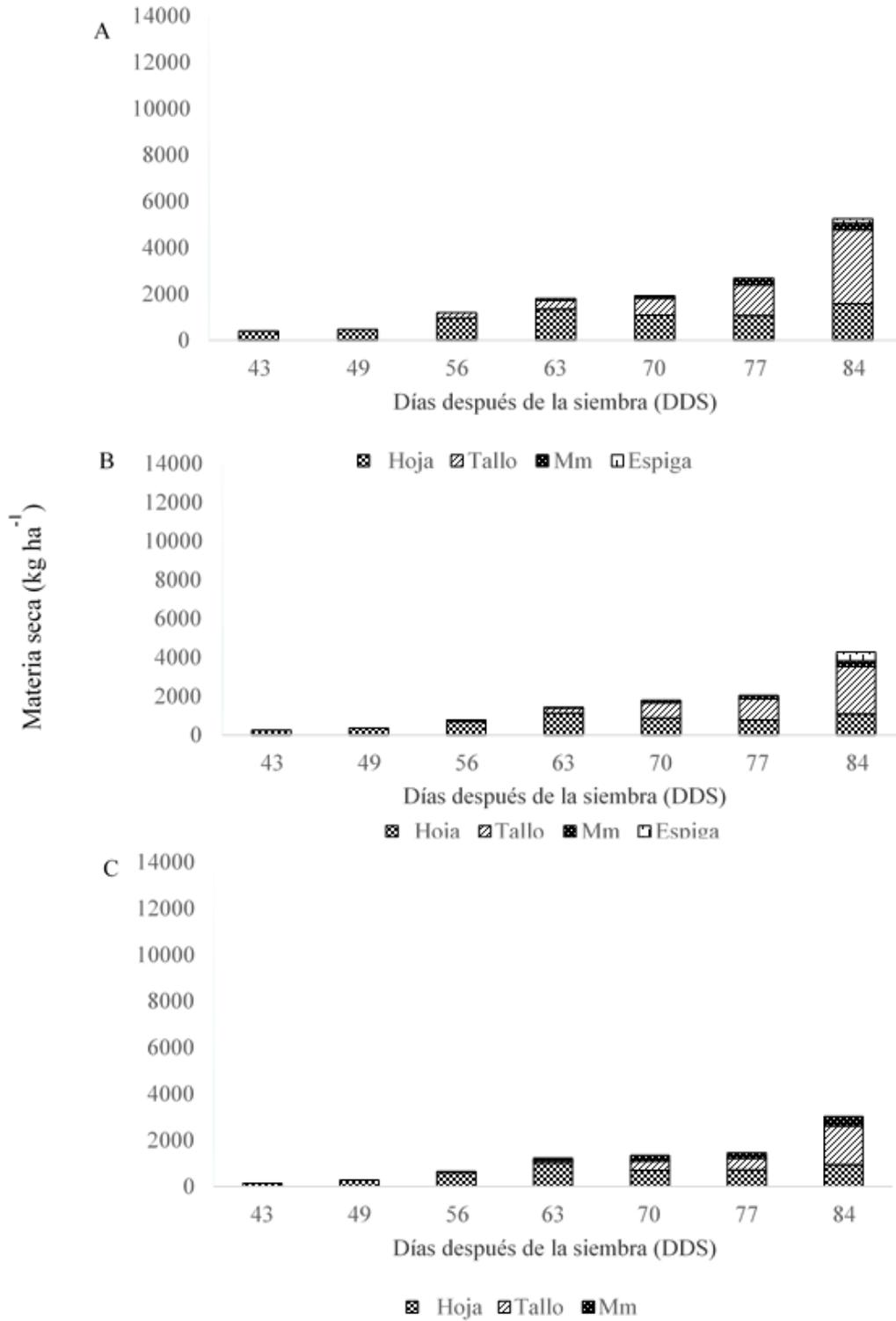


Figura 3. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) a diferentes estados de desarrollo, en el EIP1.

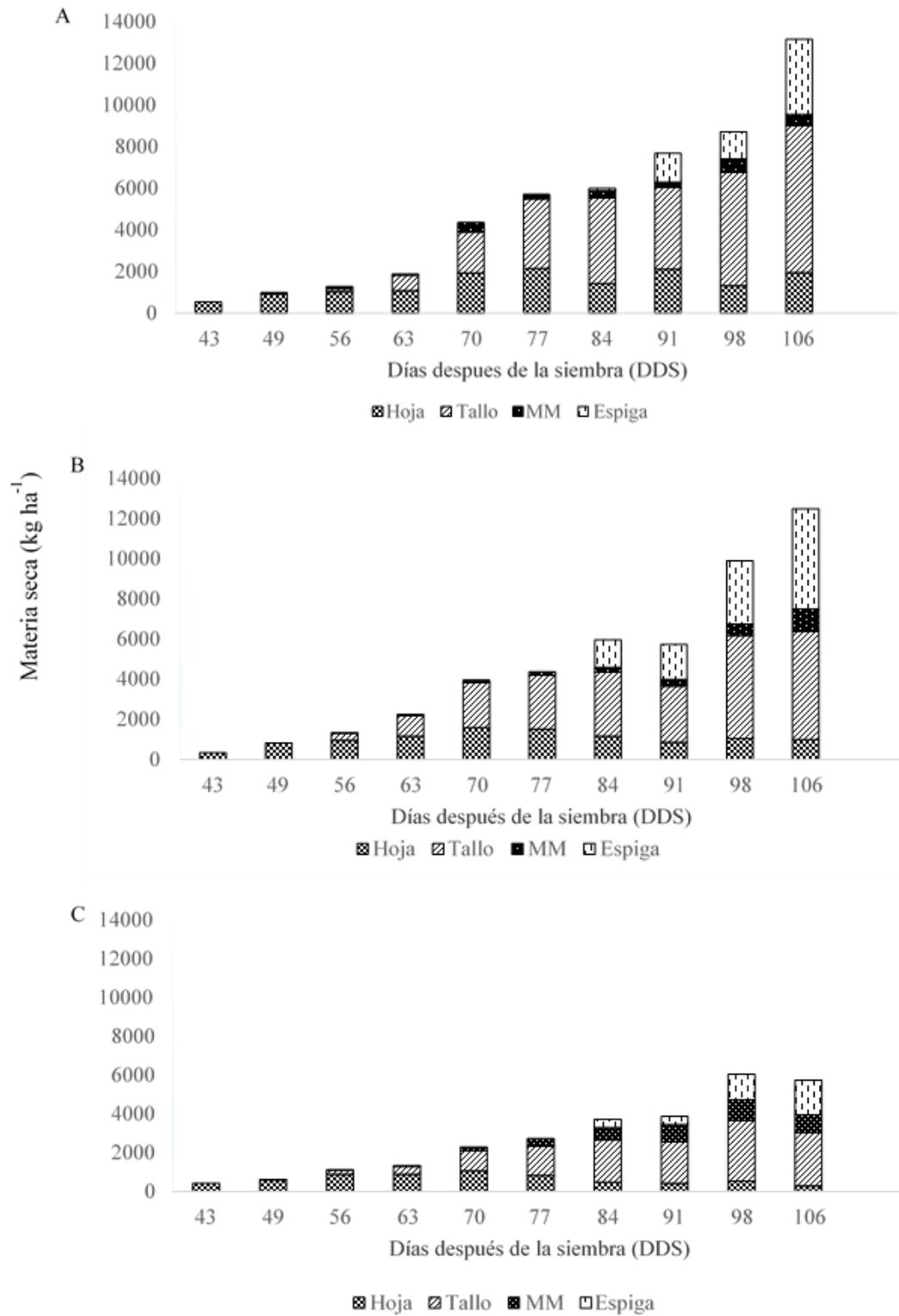


Figura 4. Cambios morfológicos de cebadas Esp x O'Connor (A), Esp x CP (B) y Lenetah (C) a diferentes estados de desarrollo, en el EIP2.

Literatura citada

- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Mendoza-Pedroza, S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5, 247–260.
- Colín-Rico, M., Zamora Villa, V.M., Lozano del Río, A.J., Martínez Zambrano, G., Torres Tapia, M.A. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 45, 249.
- Colín-Rico, M., Zamora Villa, V.M., Torres Tapia, M.A., Jaramillo Sánchez, M.A. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 47, 27.
- Da Silva SC, Hernández GA. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: Los forrajes y su impacto en el trópico. Velasco ME editor. Chiapas, México: UNACH. 63-95.
- Fraschina, J., Bainotti, C., Salines, J., Formica, B. 2000. Evaluación de variedades de trigo en siembra directa. Hoja Informativa nº 336 Jornada de Actualización en Trigo. EEA INTA Marcos Juárez.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Instituto de geografía, UNAM; México pp 217.
- Hodgson J. 1990. *Grazing management. Science into practice.* Harlow, England: Longman Scientific and Technical.
- Juskiw, P.E., Helm, J.H., Salmon, D.F. 2000. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.* 40, 148–158.
- 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.
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 14, 907–918.

- López-Castañeda, C., Richards, R.A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field Crops Res.* 37, 63–75.
- Maloney, T.S., Oplinger, E.S., Albrecht, K.A. 1999. Small grains for fall and spring forage. *J. Prod. Agric.* 12, 488–494.
- Niu, J.Y., Gan, Y.T., Zhang, J.W., Yang, Q.F. 1998. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci.* 38, 1562–1568.
- Ortiz S.C. 1997. Colección de monolitos. Montecillo. Tex. Edo. de Méx. México: Depto. Génesis de suelos. Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados.
- Parsons, A.J.; Penning, P.D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science.* 43(1), 15-27.
- SAS. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2002.
- Saucedo, M.C.C., Castañeda, C.L., Moreno, J.M., León, T.B.C., Hernández, A.L. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 27, 167–175.
- Sevilla, G.A., Pasinato, A., García, J.M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch. Latinoam. Anim. Prod.* 9, 91–98.
- SIAP. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.sagarpa.gob.mx>) (Consulta de datos estadísticos para el año 2013; Abril 9, 2014).
- Silva, S.C. da, Nascimento Júnior, D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 122–138.

4. ACUMULACIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE AVENAS

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

4.1 RESUMEN

Los objetivos del estudio fueron realizar las curvas de acumulación de forraje y componentes morfológicos, para determinar el momento óptimo de corte para forraje de las variedades de avena Chihuahua, Turquesa, Saia y Ágata, durante dos ciclos de crecimiento. Se realizaron cosechas a intervalos de 7 días, iniciando a los 43 días después de la siembra (DDS). En cada cosecha se registró la altura promedio de 20 plantas, la radiación interceptada (RI), la acumulación de materia seca, la composición morfológica e índice de área foliar (IAF). La unidad de muestreo fue un cuadro de 0.45 m². Los datos registrados para cada medición fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS, para un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones. El momento óptimo de cosecha puede realizarse entre los 70 y 77 días después de la siembra en el estado de encañe donde la avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia interceptaron el 91, 90, 88 y 94 %; presentaron un IAF de 3.2, 3.0, 2.5 y 5.1 y altura promedio de 57, 45, 47 y 57 cm, respectivamente ($p < 0.05$). El cultivo de avena debe ser cosechado en estado de encañe para producción de forraje y en grano lechoso o masoso para mayor rendimiento por hectárea.

Palabras clave: Composición morfológica, altura, radiación interceptada, etapa fenológica

FORAGE ACCUMULATION AND MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF OAT

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

4.2 ABSTRACT

The objectives of the study were to generate forage accumulation curves and morphological components, to determine the optimal cutting time for forage for four varieties of oat, during two growth cycles. They were carried out crops to intervals of 7 days, beginning to the 43 days after the sowing (DDS). In each crop registered the height average of 20 plants, the light interception (LI), the accumulation of dry matter, the morphological composition and leaf area index (IAF). The sampling unit was a square of 0.45 m². Data from the experiments were analyzed using SAS software, using a randomized block design and a split-plot arrangement with three replicates. The optimal cutting time were between 70 and 77 DDS at the stem elongation stage in Chihuahua, Turquesa, Ágata and Saia with light interception the 91, 90, 88 and 94%; IAF of 3.2, 3.0, 2.5 and 5.1 and height average of 57, 45, 47 and 57 cm, respectively ($p < 0.05$). The optimal phenological stage for cutting oat for forage is the stem elongation stage and in milky grain or masoso for further yield for hectare.

Key Words: morphological composition, heigth, light interception, phenological stage

4.3 INTRODUCCIÓN

En México, la superficie sembrada de avena en 1996 fue de 420,000 ha, incrementándose para el 2013 a 833,221 ha. En éste año, la producción de avena para forraje representó el 94 % de la superficie sembrada y el 6 % restante se utilizó como semilla (SIAP 2014). El potencial forrajero de la avena, al igual que el de otros cereales forrajeros, se ha aprovechado en muchas partes del mundo, con el propósito de alimentar bovinos de carne y leche, ovinos y cabras (Maloney *et al.*, 1999); para complementar praderas perennes en la temporada de menor rendimiento, durante el invierno y principios de la primavera (Keles *et al.*, 2013). Los factores que afectan la calidad y el rendimiento de los cereales forrajeros son el estado de madurez al momento del corte, especie, genotipo y factores relacionados con el manejo durante el proceso de producción (Juskiw *et al.*, 2000). Sin embargo, el estado de madurez al momento del corte fue más importante que la especie en el rendimiento y calidad de cereales de grano pequeño para forraje (Mislevy *et al.*, 1997). La mayor calidad de un forraje está asociada a genotipos que presentan una mayor relación hoja: tallo. Diversos estudios (Cherney y Marten, 1982; Baron y Kibite, 1987; Juskiw *et al.*, 2000) han reportado que las hojas y las inflorescencias presentan mayor digestibilidad y porcentaje de proteína en comparación a los tallos, debido a que estos últimos tienen mayor concentración de lignina, conforme avanza la madurez de la planta, por lo que es conveniente cosechar forraje con mayor cantidad hojas; sin embargo, cosechar un cultivo con mayor cantidad de hojas significa sacrificar rendimiento de materia seca, debido a que la función de las hojas es capturar radiación solar y dióxido de carbono y transformarlos a materia seca. Sin embargo, en etapas tempranas de crecimiento (amacollamiento y encañe) cuando existe gran cantidad de hojas si se realizan cortes dejando 5 cm de forraje residual en éste tipo de cultivos como trigo, avena, cebada, centeno y triticale éstas especies pueden rebrotar y producir buen rendimiento y calidad de forraje, permitiendo una segunda cosecha (Keles *et al.*, 2013). Debido a lo anterior, es importante conocer las curvas de acumulación de biomasa que permitan entender el crecimiento vegetal y al ser acompañadas con los cambios en su composición

morfológica, a intervalos de tiempo específicos, ayudan a comprender la importancia de cada parte de las plantas, hojas, tallos, material muerto y espigas en el forraje cosechado y como contribuyen al rendimiento y calidad nutricional. Cada cereal tiene su propia curva de acumulación de biomasa cuyos modelos matemáticos describen el proceso de producción y son útiles para seleccionar especies y variedades forrajeras (Sevilla *et al.* 2001). Algunos autores (Hodgson, 1990; Silva y Nascimento Júnior, 2007; Da Silva y Hernández, 2010) mencionan que las gramíneas templadas y tropicales deben ser defoliadas cuando la pradera está interceptando el 95% de la radiación solar; situación que coincidió con mayor cantidad de hojas fotosintéticamente activas y menor porcentaje de hojas senescentes y muertas, en las plantas de las gramíneas. Para que este criterio de cosecha tenga utilidad práctica al tomar la decisión sobre la cosecha del cultivo forrajero, debe relacionarse con la altura de las plantas, por ser una medida sencilla y rápida de realizar en campo.

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron realizar las curvas de acumulación de forraje y la composición morfológica para determinar el momento óptimo de cosecha del forraje para cuatro variedades de avena evaluadas.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Sitio experimental

Se realizaron dos experimentos en condiciones de campo en el ciclo de invierno-primavera 2012-2013 (EIP1) e invierno-primavera 2013-2014 (EIP2), en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' LN, 98° 54' LW y 2250 msnm). El suelo del área cultivada es migajón arenoso, ligeramente alcalino (pH: 7.8) con 2.4% de materia orgánica (Ortiz, 1997). El clima del lugar es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, precipitación y temperatura media anual de 645 mm y 15 °C, respectivamente. La menor temperatura promedio es de 11.6 °C en el mes de enero y la mayor es de 18.4 °C en el mes de mayo (García, 1988).

4.4.2 Clima del sitio experimental

Los datos de la temperatura del aire (mínima, media y máxima) y de la precipitación pluvial durante el experimento se obtuvieron de la Estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 1), localizada a 2 km del área de cultivo.

4.4.3 Variedades de avena evaluadas

Se evaluaron las variedades de avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia. La siembra del EIP1 se realizó el 5 de diciembre de 2012 y la de EIP2 el 4 de diciembre de 2013; La densidad de siembra utilizada fue de 100 kg ha⁻¹. Los genotipos se asignaron aleatoriamente a las parcelas experimentales en un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La fertilización fue 40-40-00 kg de nitrógeno, fósforo y potasio en la siembra y 40 unidades de nitrógeno al inicio del amacollamiento. En cada ciclo de crecimiento las parcelas experimentales fueron regadas en 9 ocasiones, a intervalos de 2 semanas hasta capacidad de campo.

4.4.4 Altura promedio de las variedades evaluadas

Antes de cortar las plantas de cada variedad dentro de las unidades de muestreo, se hicieron 20 mediciones, al azar, con una regla de 1.5 m de longitud con 1 mm de precisión. Se colocó la regla de manera vertical y registró el dato de altura donde la mica móvil de la regla tuvo el primer contacto con la planta.

4.4.5 Radiación interceptada (RI)

Previo al corte de las plantas presentes dentro de las unidades de muestreo se tomaron al azar 5 lecturas, de la cantidad de radiación solar interceptada por las plantas con el Ceptómetro modelo LP-80 (Decagon Devices, Inc.), a las 12:00 horas del día.

4.4.6 Biomasa aérea

A partir de los 43 días después de la siembra (DDS) se colectaron muestras del forraje a intervalos de 7 días, hasta que las cuatro variedades alcanzaron la madurez fisiológica. La unidad de muestreo fue un cuadro de 0.45 m², dentro del cual se cortaron todas las plantas de avena a una altura de 12 cm sobre el nivel

del suelo. Para iniciar los muestreos se tomó como criterio que las plantas tuvieran al menos 20 cm de altura. El forraje cosechado se lavó con agua de la llave y se expuso a un proceso de secado hasta peso constante, en una estufa de aire forzado a 55° C. Con el peso seco se calculó el rendimiento de forraje por hectárea, para los diferentes intervalos de cosecha. Se identificaron los estados de desarrollo principales en las cuatro variedades estudiadas tomando como referencia la escala de Zadocks (Zadocks *et al.*, 1974).

4.4.7 Composición morfológica de la biomasa aérea

Para estimar la cantidad de cada componente morfológico (hojas, tallos, material muerto y espigas), se tomó una submuestra de aproximadamente 100 g de la masa de forraje, previa homogenización de la muestra completa. La submuestra de forraje se separó en hojas, tallos, espigas y el material muerto. Cada parte de las plantas se colocaron en bolsas de papel identificadas con el nombre del componente, variedad de avena e intervalo de corte y se expusieron a un proceso de secado en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55° C, hasta llegar a peso constante y finalmente se pesaron. Se estimó el peso seco en kg ha⁻¹ de cada componente.

4.4.8 Índice de área foliar (IAF) de los genotipos

Antes de secar las hojas obtenidas de la submuestra (100 g), se les determinó su área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, inc.). Con los datos obtenidos de área foliar y el área de la unidad de muestreo se estimó el IAF con la siguiente fórmula: $IAF = AF/AS$; donde AF=área foliar (m²) y AS= área del suelo (m²).

4.4.9 Análisis estadístico

El diseño experimental fue un bloques completamente aleatorizados en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los datos de las mediciones realizadas en cada genotipo de avena fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS (Statistical Analysis System Versión 9.0 para Windows). Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 5 y 6 se presenta la acumulación de biomasa aérea total, por componente morfológico (hojas, tallos, material muerto y espigas) relacionándose con el IAF, RI y altura para cada fecha de corte de las cuatro variedades de avenas evaluadas.

4.5.1 Acumulación de biomasa aérea total

En la figura 5 y 6 se observó un incremento progresivo en la acumulación de forraje conforme aumenta la edad del cultivo, hasta llegar a un máximo en el primer año a los 84 días. En el EIP1, la máxima acumulación de forraje registrada, para las cuatro variedades evaluadas, fue a los 84 DDS, debido a la presencia de una helada que causó la muerte de la plantas. A esa edad de crecimiento los rendimientos encontrados fueron de 3,287, 3,139, 3,686 y 2,746 kg MS ha⁻¹ (p<0.05), para avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia, respectivamente, en el estado de desarrollo de inicio de espigado. En el EIP2 la biomasa aérea total disminuyó en 3, 7 y 32 % para Chihuahua, Turquesa y Ágata, respectivamente mientras que Saia aumentó 12 % en comparación al EIP1. Es importante destacar que la única variedad que se cosechó a los 43 DDS en el ciclo EIP1, fue la Chihuahua por cumplir el criterio a la primera cosecha de 20 cm o más de altura. Así mismo, Chihuahua y Turquesa presentaron una acumulación de forraje similar en ambos ciclos con variaciones de 0.4 kg MS ha⁻¹ hasta 395 kg MS ha⁻¹; mientras que para Ágata y Saia las variaciones fueron de 13 kg ha⁻¹ hasta 1,200 kg MS ha⁻¹, para las fechas comprendidas entre los 43 y 84 DDS.

En el EIP2, las variedades Chihuahua (7,824.5 kg MS ha⁻¹) y Ágata (6,365.8 kg MS ha⁻¹) acumularon la máxima cantidad de materia seca a los 106 DDS. La variedad Turquesa (6,701.9 kg MS ha⁻¹) a los 112 DDS y Saia (12,188.4 kg MS ha⁻¹) fue más tardía (141 DDS) (p<0.05). Los máximos rendimientos coincidieron con el estado fenológico lechoso en Chihuahua y lechoso masoso para Ágata, Turquesa y Saia. El rendimiento de materia seca promedio, de las cuatro variedades evaluadas, cuando las plantas se encontraban en el estado de

madurez fisiológica fue de 7,498 kg MS ha⁻¹; presentándose entre los 112 y 119 DDS para Chihuahua, Turquesa y Ágata y a los 141 DDS en Saia.

Las variedades de avena en el ciclo EIP1 vs EIP2, mostraron un menor rendimiento de materia seca, menores índices de área foliar y radiaciones interceptadas, en algunas fechas de corte, debido a la mayor incidencia de heladas (Cuadro 1; 79 vs 72, EIP2). En el EIP2, la temperatura ambiental y la menor incidencia de heladas probablemente favorecieron el crecimiento de las plantas y una mayor área foliar, resultando en mayor acumulación de materia seca (López-Castañeda & Richards 1994). Las variedades Chihuahua y Turquesa son las que presentaron una menor variación de producción de forraje de un ciclo a otro en comparación con Ágata y Saia (300 vs 1,200 kg MS ha⁻¹). Lo anterior puede deberse a que son genotipos mejor adaptados, que tienen mayor tolerancia al frío, en comparación con las segundas ya que esta especie se adapta bien a condiciones de sequía y bajas temperaturas en comparación a cultivos como maíz, frijol, trigo o cebada; además de que existen variedades que presentan mejores respuestas, a pesar de condiciones climáticas adversas (Villaseñor-Mir *et al.*, 2003).

Los más altos rendimientos obtenidos en las últimas fechas de corte (106, 112 y 141), en comparación al rendimiento de forraje obtenido entre los 77 y 84 DDS cuando el forraje era más joven, coincide con lo reportado en la literatura (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013) donde los rendimientos de biomasa de avena en estados de mayor madurez (masoso) fueron mejores que en estados más jóvenes (embuche), con incrementos de hasta 110 y 150 %, respectivamente. Lo anterior confirma que la mayor producción de biomasa se obtiene en etapas anteriores a la madurez fisiológica. Los rendimientos obtenidos en este estudio, cuando las plantas se encontraban en madurez fisiológica, superan a los reportados en otro estudio en 3,000 kg MS ha⁻¹ donde evaluaron la producción y calidad del forraje de siete variedades de avena en temporal, en el estado de Chihuahua (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013). En un estudio realizado en 10 localidades en condiciones de temporal se encontró que Turquesa obtuvo los mayores rendimientos de

forraje henificado con valores que van de 7,000 a 11,000 kg MS ha⁻¹; mientras que en Chihuahua varían entre 3,000 y 10,000 kg MS ha⁻¹ (Villaseñor Mir *et al.*, 2009); turquesa obtuvo mejor respuesta en producción de forraje en ambientes menos favorables, debido a que hubo mayor incidencia de roya, en donde variedades como Chihuahua se vieron mayormente afectadas.

Aunque la variedad Chihuahua es una variedad reportada con alta susceptibilidad a roya, en este estudio se encontró que en etapas de desarrollo temprano como encañe y embuche presenta similares y en algunas fechas, superiores rendimientos de forraje y composición morfológica que Turquesa y Ágata, por lo que puede utilizarse para producción de forraje.

Los mayores rendimientos de avena Saia están correlacionados a que es una especie de ciclo biológico más largo en comparación con Chihuahua, Turquesa y Ágata. Está reportado en literatura que especies tardías tienen mayor aptitud para acumular biomasa (Muñoz, 2005).

4.5.2 Componentes morfológicos

En el EIP1, el componente morfológico abundante de la materia seca cosechada fueron las hojas originando la mayor relación hoja/tallo. La mayor cantidad de hojas se cosechó a los 63 DDS en avena Chihuahua (1,205 kg MS ha⁻¹), a los 70 DDS con la variedad Ágata (1,412 kg MS ha⁻¹) y a los 77 DDS en las variedades Turquesa (9,967 kg MS ha⁻¹) y Saia (1,216 kg MS ha⁻¹). A partir de los 84 DDS, en todas las variedades de avena, la cantidad de tallos y material muerto se incrementaron; en esta fecha, el peso de los tallos superó al de las hojas en la avena Ágata (1,845 vs 1,493 kg MS ha⁻¹); en turquesa los pesos de tallos y hojas fueron similares (1,470 vs 1,457 kg MS ha⁻¹); mientras que para Chihuahua y Saia el componente hoja siguió siendo mayoritario con respecto al tallo (1,769 vs 1,305; 1,651 vs 695 kg MS ha⁻¹).

En cuanto a la composición morfológica en el EIP2, los mayores rendimientos de hoja, combinados con la mayor relación hoja/tallo se encontraron entre los 70 y 77 DDS, para todas las variedades. A los 70 DDS la avena Saia fue la que tuvo un mayor aporte de hojas al rendimiento (1,929 kg MS ha⁻¹), siendo estadísticamente

diferente ($p < 0.001$) a Chihuahua ($1,300 \text{ kg ha}^{-1}$), Ágata ($1,213 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y Turquesa ($1,192 \text{ kg MS ha}^{-1}$). A partir de los 84 DDS, en avena Chihuahua, el peso de los tallos casi igualó al peso de las hojas ($1,182$ vs $1,399 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y en Turquesa y Ágata el peso de los tallos superó al de las hojas ($1,428$ vs $1,141$; $1,329$ vs $936 \text{ kg MS ha}^{-1}$); mientras que la avena Saia siguió aumentando la cantidad de hojas y hasta los 98 DDS la cantidad de tallos y hojas fueron similares ($2,359$ vs $2,333 \text{ kg MS ha}^{-1}$). De manera general, para Chihuahua, Turquesa y Ágata de los 91 hasta los 119 DDS, los componentes que tuvieron un mayor aporte al rendimiento fueron los tallos y las espigas y para Saia fue del día 98 al 141 después de la siembra.

El mayor rendimiento de hojas y de materia seca total se obtuvo con la variedad de avena Saia, en las últimas etapas de madurez. Lo anterior es debido a que Saia es una variedad de ciclo largo con un área foliar persistente a través del tiempo en comparación a Chihuahua, Turquesa y Ágata. Esta área foliar es la principal maquinaria fotosintética del dosel vegetal de cuya magnitud y actividad depende la producción de materia seca de un cultivo.

Con relación a los componentes tallo y material muerto están correlacionados de manera positiva con el incremento en la edad de las plantas, lo anterior coincide con diversos estudios (Pérez-Amaro *et al.*, 2004; Calzada-Marín *et al.*, 2014). Así mismo, (Juskiw *et al.*, 2000) encontraron que la distribución de la biomasa durante el periodo de cosecha puede afectar el rendimiento y la calidad del forraje para producción de ensilado en cultivos de cereales y que la densidad de siembra, siembra en monocultivos y asociaciones y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de hoja, tallo, material muerto, espiga y biomasa total.

La menor proporción de hojas, tallos, material muerto y espigas y la variación de estos componentes en las fechas evaluadas en el EIP1 en comparación con el EIP2, puede estar relacionado a las bajas temperaturas y mayor presencia de heladas en este ciclo (Cuadro 1). Al respecto, se menciona que el daño por bajas temperaturas puede ocasionar pérdida de la actividad fotosintética, área foliar clorótica y muerte de la lámina de la hoja, pérdida de la espiga ya diferenciada,

con la consecuente esterilidad del tallo, daño en nudos y entrenudos basales, aunque no supone una interrupción de la nutrición de la parte superior de la planta, pero genera una zona de debilitamiento del tallo y por lo tanto predispone al acame (Fraschina *et al.*, 2000).

En el EIP2 la disminución de la proporción de hojas en los últimos muestreos puede estar relacionado a que las hojas de los estratos inferiores mueren por que se encuentran por debajo del punto de compensación de luz, ya que la senescencia en hojas se presenta por la pérdida gradual en la actividad fotosintética que conduce a la degeneración y muerte del tejido, en este caso principalmente por la edad de las plantas (Lemaire, 2001). Así mismo, en etapas fenológicas avanzadas se incrementa el peso de espigas y tallos, disminuyendo el de hojas, lo cual se ha explicado fisiológicamente en trigo, estableciendo que el peso seco de la espiga se incrementa a medida que la planta inicia el llenado de grano, debido en parte, a la translocación de fotosintatos desde los tallos y hojas que resulta en senescencia y pérdida de estos componentes (Juskiw *et al.*, 2000; Niu *et al.*, 1998).

4.5.3 Índice de área foliar, Radiación interceptada y altura

En el experimento EIP1, las variables IAF, RI y Altura se incrementaron conforme avanzó la edad de la planta. A los 84 DDS se encontraron los máximos IAF con 3.8, 2.8, 3.1 y 3.9 para Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia coincidiendo con las máximas RI que fueron de 80, 75, 81 y 84 % y con alturas de 61, 54, 53 y 50 cm. Sin embargo, se encontró que para este ciclo, los más altos rendimiento 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 EIP2. Lo anterior posiblemente relacionado a que estos cortes se realizaron en el mes de febrero y se reportó una mayor incidencia de heladas (Cuadro 1).

De manera general, las variables IAF, RI y altura en el EIP2, para todas las variedades evaluadas, se incrementaron conforme avanzó la edad de la planta, y después de alcanzar los valores más altos, para el caso de altura, esta se

mantuvo estable durante las dos últimas fechas de evaluación, mientras que el IAF y la RI disminuyeron. Los máximos IAF para Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia fueron de 3.4 (84 DDS), 3.3 (84 DDS), 2.6 (77 DDS) y 8.0 (91 DDS) ($p < 0.05$); con RI de 85, 81, 88 y 93 % y alturas de 67, 62, 52 y 67 cm, respectivamente. Sin embargo, las máximas RI fueron de 91 (77 DDS), 90 (70 DDS), 88 (77 DDS) y 94 % (77 DDS); con IAF de 3.2, 3.0, 2.5 y 5.1 y alturas de 57, 45, 47 y 57 cm, para las mismas variedades mencionadas anteriormente. Por lo que se puede observar que los IAF máximos, son cercanos a los encontrados con las máximas radiaciones interceptadas, excepto para la variedad Saia.

Los rendimientos de hoja obtenidos por cada centímetro de altura alcanzado para Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia fueron de 24, 26, 26 y 37 kg cm⁻¹, cuando se encontraron las máximas RI para cada variedad; mientras que cuando se alcanzó la máxima acumulación de materia seca fueron de 12, 8, 11 y 9 kg cm⁻¹. En cuanto al porcentaje de aporte de cada componente, cuando se encontraron las máximas RI, la hoja aportó: 62, 83, 78 y 85 %; tallo: 23, 11, 15 y 13 %; material muerto: 15, 6, 8, 2 %; para avena Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia, respectivamente. Sin embargo, cuando se presentaron los mayores rendimientos totales, la hoja solo contribuyó con 17, 12, 18 y 9 %; tallo: 46, 49, 50, 63 %, material muerto: 12, 2, 8 y 10 % y la espiga: 24, 37, 25 y 17 %, para las mismas variedades ($p < 0.05$).

En trabajos realizados en pastos tropicales y templados (Da Silva y Hernández, 2010; Hodgson, 1990) se ha observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95 % de intercepción luminosa y está relacionado con la mayor aportación de hojas al rendimiento. Es el punto óptimo de crecimiento donde existe poca acumulación de material muerto; con niveles de 14 a 18 % de proteína cruda y digestibilidades de un 60 a 70 % (Silva y Nascimento Júnior, 2007). La validez y el uso potencial del criterio de intercepción de la luz como una estrategia de defoliación fueron ratificados (Parsons y Penning, 1988) quienes mencionaron 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. Así mismo, 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 su rebrote. En el presente estudio, en el EIP1, no se encontraron las máximas radiaciones interceptadas esperadas, debido a las bajas temperaturas y a la presencia de heladas y posiblemente a que se requieren mayores densidades de siembra; sin embargo, en el EIP2 la fecha óptima de corte para forraje fue entre los 70 y 77 DDS con radiaciones interceptadas de 91, 90, 88 y 94 %, IAF de 3.2, 3.0, 2.5 y 5.1 y alturas de 57, 45, 47 y 57 cm para Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia en el estado de encañe (Zadocks: 30,31) . Keles *et al.*, (2013) al evaluar el rendimiento del rebrote en avena, centeno, trigo, cebada y triticale en las etapas de amacollamiento y encañe, reportaron que los cereales de invierno pueden ser pastoreados hasta la etapa encañe, sin causar grandes reducciones en el rendimiento del rebrote y forraje total. Es por lo anterior, definir la etapa morfológica y fisiológica en la que se encuentra la planta forrajera al momento de la primera cosecha, es de suma importancia, debido a que de esto dependerá la persistencia y el vigor de los rebrotes (Calzada-Marín *et al.*, 2014).

Las mayores RI encontradas en el EIP2, fueron menores al 95 %. Juskiw *et al.*, (2000) encontraron que la densidad de siembra, siembra en monocultivos y asociaciones y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de hoja, tallo, espiga y biomasa total por lo que posiblemente alguna de estas variables o la combinación de éstas, no permitió alcanzar el 95 % de RI. Así mismo, el daño y muerte de hojas por bajas temperaturas redujo el área foliar impidiendo alcanzar mayores RI (Cuadro 1). Por lo que es importante en estudios posteriores evaluar densidades y fechas de siembra.

4.6 CONCLUSIONES

La variedad con mejor aptitud forrajera fue la avena Saia. La radiación interceptada y el IAF pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte. El momento óptimo de corte para forraje en el EIP2 se encontró

entre los 70 y 77 DDS con radiaciones interceptadas de 91, 90, 88 y 94 %, IAF de 3.2, 3.0, 2.5 y 5.1 y alturas de 57, 45, 47 y 57 cm para Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia en el estado de encañe. Desde el punto de vista de rendimiento total se recomienda cosechar en el estado lechoso la avena Chihuahua y lechoso-masoso para las Turquesa, Ágata y Saia.

Literatura citada

- Baron, V.S. and 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), pp.1009–1017.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Mendoza-Pedroza, S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5, pp. 247–260.
- Cherney, J.H. and Marten, G.C. 1982. Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop Science*, 22(2), pp.240–245.
- Fraschina, J., Bainotti, C., Salines, J., Formica, B. 2000. Evaluación de variedades de trigo en siembra directa. Hoja Informativa nº 336 Jornada de Actualización en Trigo. EEA INTA Marcos Juárez.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen 4th ed., México: Instituto de geografía, UNAM.
- Hodgson, J. 1990. Grazing management. Science into practice. Harlow, England: Longman Scientific and Technical.
- Juskiw, P.E., Helm, J.H. and Salmon, D.F. 2000. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop science*, 40(1), pp.148–158.

- 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.
- Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In *International Grassland Congress*. SBZ São Paulo, pp. 29–37. Available at: <http://www.internationalgrasslands.org/files/igc/publications/2001/tema1-1> (revisado 07 agosto 2015)
- López-Castañeda, C. and Richards, R.A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Research*, 37(1), 51–62.
- Maloney, T.S., Oplinger, E.S. and Albrecht, K.A. 1999. Small grains for fall and spring forage. *Journal of production agriculture*, 12(3), 488–494.
- Mislevy, P., Martín, F.G., Adjei, M.B., Miller, J.D. 1997. Harvest management effects on quantity and quality of Erianthus plant morphological components. *Biomass Bioenergy*. 13, 51–58.
- Muñoz, A.O. 2005. Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario Centli-Maíz. Colegio de Postgraduados. Available at: https://books.google.com.au/books?id=cY_LYgEACAAJ.
- Niu, J.Y., Gan, Y.T., Zhang, J.W., Yang, Q.F. 1998. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci.* 38, 1562–1568.
- Ortíz, S. 1997. Colección de monolitos, Montecillo. Tex. Edo. de Méx. México: Depto. Génesis de suelos. Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados.
- Parsons, A.J. and Penning, P.D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*, 43(1), 15–27.

- Pérez-Amaro, J.A., Moya, E.G., Quiroz, J.F.E., Carrillo, A.R.Q., Pérez, J.P., Garay, A.H. 2004. Análisis de crecimiento, Área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Tec. Pecu. Mex.* 42, 447–458.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J.J., Villalobos-Villalobos, G., 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 36, 395–403.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP, 2014.
- Sevilla, G.A., Pasinato, A. and García, J.M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch. Latinoam. Animal Prod*, 9, 91–98.
- Silva, S.C. Da and Nascimento Júnior, D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 122–138.
- Da Silva, S. and Hernández, G. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: *Los forrajes y su impacto en el trópico*, Chiapas, México: UNACH: Velasco ME editor.
- Villaseñor Mir, H.E., Espitia Rangel, E., Huerta Espino, J., Osorio Alcalá, L., López Hernández, J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agric. Téc. en Méx.* 35, 487–492.
- Villaseñor-Mir, H.E., Espitia, R.E. and Huerta, E.J. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones. In *60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México*. pp. 17–30.
- Zadocks J. C., Chang T. T. and Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Eucarpia Bull.* 7, 42–52.

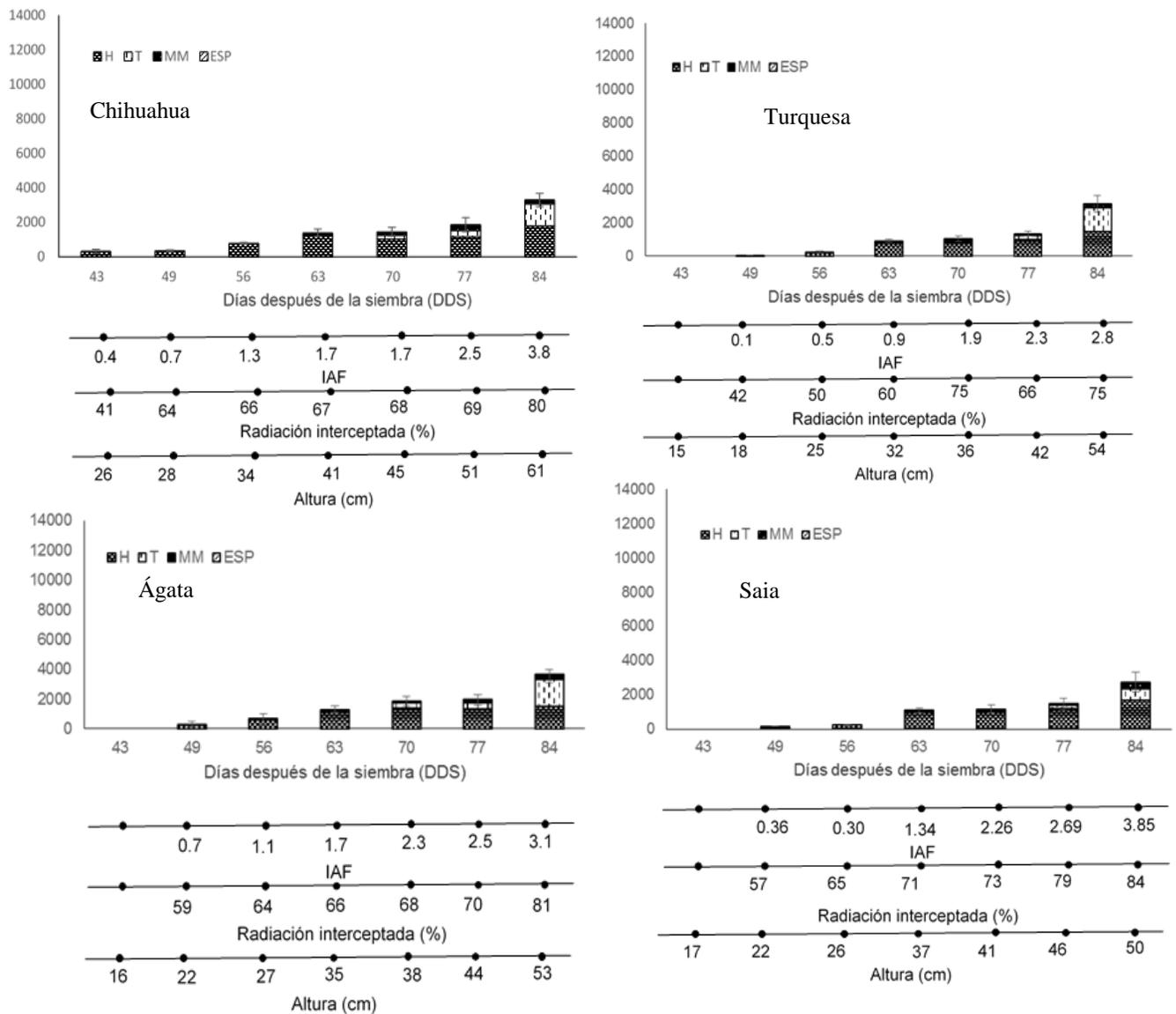


Figura 5. Acumulación de forraje (kg MS ha^{-1}) por componente morfológico (kg MS ha^{-1}), Índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de las avenas Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP1 Las barras \pm representan una desviación estándar ($n = 3$).

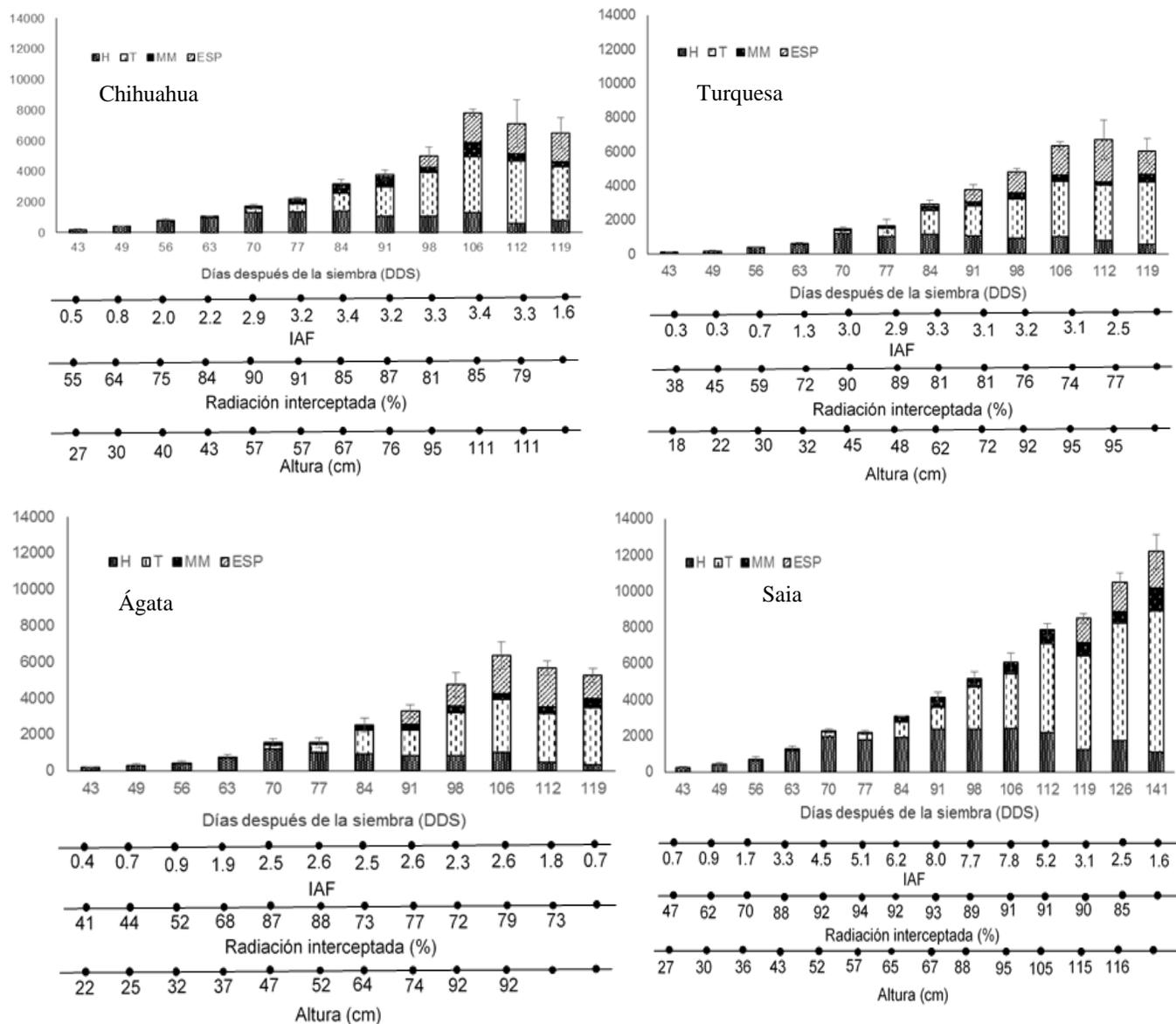


Figura 6. Acumulación de forraje total (kg MS ha⁻¹), Componentes morfológicos (kg MS ha⁻¹), Índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de las avenas Chihuahua, Turquesa, Ágata y Saia a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP2. Las barras \pm representan una desviación estándar (n = 3).

5. ACUMULACIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE TRIGOS

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

5.1 RESUMEN

Los objetivos del estudio fueron realizar las curvas de acumulación de forraje y componentes morfológicos, para determinar el momento óptimo de corte para forraje de las líneas V7, V13, V16 y la variedad Nana. Se realizaron cosechas a intervalos de 7 días, iniciando a los 43 días después de la siembra (DDS). En cada cosecha se registró la altura promedio de 20 plantas, la radiación interceptada (RI), la acumulación de materia seca, la composición morfológica e índice de área foliar (IAF). La unidad de muestreo fue un cuadro de 0.45 m². Los datos registrados para cada medición fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS para un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones. El momento óptimo de corte para forraje se encontró en encañe, ya que en este estado de desarrollo es cuando se encontraron los más altos rendimientos de hojas e IAF y las más altas radiaciones interceptadas. La RI, el IAF y la altura pueden ser utilizados para determinar el momento óptimo de cosecha para trigos para producción de forraje.

Palabras clave: cereales, radiación interceptada, etapa fenológica, crecimiento

5.2 ABSTRAC

FORAGE ACCUMULATION AND MORPHOLOGICAL COMPOSITION OF WHEAT

Claudia Yanet Wilson García, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

The objectives of this study were to generate forage accumulation curves and morphological components, in order to determine the optimal cutting time for forage of lines V7, V13, V16 and cultivar Nana. Harvests were carried out at 7-day intervals, starting 43 days after sowing (DAS). At each harvest, the following parameters were recorded: height average of 20 plants, light interception (LI), dry matter accumulation, morphological composition, and leaf area index (LAI). The sampling unit was a 0.45 m² square. Data recorded for each measurement were analyzed using SAS GLM procedures for a randomized block design and a split-plot arrangement with three replicates. The optimal cutting time for forage was during the stage of stem elongation, since it was during this stage that the highest yields of leaves and LAI, and the highest light interception values were found. LI, LAI and height can be used to determine the optimal harvesting time for forage production in oat.

Keywords: cereals, intercepted light, phenological stage, growth.

5.3 INTRODUCCIÓN

El trigo es la especie con mayor antigüedad sembrada por el hombre y la más cultivada en la actualidad a nivel mundial; debido a la capacidad que presenta de adaptarse y crecer en ambientes y suelos muy diversos (Hernández-Córdova *et al.*, 2015). En México en el año 2013, la superficie sembrada de trigo fue de 689,204 ha, para alimentación humana; mientras que para producción de forraje fue de 6,159 ha (SIAP, 2014); representando menos del 1 % del total sembrado, para ese año, a pesar de las bondades del cultivo como son la mayor resistencia a roya y a heladas (René, 2008) en comparación a cultivos como el de avena que en México, es quien tiene la mayor superficie sembrada para producción de forraje (SIAP, 2014). Además éste se puede utilizar como un cultivo de doble propósito ya que se ha encontrado que las variedades con mejor producción de forraje, pueden presentar los mejores rendimientos de grano (Bainotti *et al.*, 2005). En países como Argentina y Uruguay el trigo forma parte de los llamados verdeos de invierno donde junto con la avena, cebada, y triticale son utilizados en la alimentación de ganado de carne y leche, aportando forraje en la época donde los forrajes perennes presentan los más bajos rendimientos (Pagliaricci *et al.*, 2000). En México las evaluaciones forrajeras de trigo son escasas. Las curvas de acumulación de forraje son una herramienta útil que permiten comprender el crecimiento vegetal y son útiles para seleccionar especies y variedades forrajeras (Sevilla *et al.*, 2001). Además, al ser acompañadas con los cambios en la composición morfológica, a intervalos de tiempo específicos, se puede determinar que genotipos presentan el mayor aporte de hojas y la contribución de tallos, material muerto y espigas al rendimiento total. Es importante señalar que la buena calidad de un forraje está asociada a genotipos que presentan una mayor relación hoja: tallo. Algunos autores al realizar estudios en plantas perennes, coincidieron en que el mayor valor nutricional de las plantas está asociado a mayor presencia de hojas (Cherney y Marten, 1982; Baron y Kibite, 1987; Juskiw *et al.*, 2000), éste fenómeno se presenta cuando las plantas interceptan el 95 % de la radiación interceptada, por que el crecimiento neto es maximizado. Asimismo, si se relaciona el 95 % de RI con la altura de planta se tiene un criterio práctico para

identificar momentos óptimos de corte en plantas para forraje (Hodgson, 1990; Silva y Nascimento Jr., 2007; Da Silva y Hernández-Garay, 2010).

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron realizar las curvas de acumulación de forraje y la composición morfológica para determinar el momento óptimo de cosecha del forraje para tres líneas y una variedad de trigo.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Sitio experimental

Se realizaron dos experimentos en condiciones de campo en el ciclo de invierno-primavera 2012-2013 (EIP1) e invierno-primavera 2013-2014 (EIP2), en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' LN, 98° 54' LW y 2250 msnm). El suelo del área cultivada es migajón arenoso, ligeramente alcalino (pH: 7.8) con 2.4% de materia orgánica (Ortiz, 1997). El clima del lugar es templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación y temperatura media anual de 645 mm y 15 °C, respectivamente. La menor temperatura promedio es de 11.6 °C en el mes de enero y la mayor es de 18.4 °C en el mes de mayo (García, 1998).

5.4.2 Clima del sitio experimental

Los datos de la temperatura del aire (mínima, media y máxima) y de la precipitación pluvial durante el experimento se obtuvieron de la Estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 1), localizada a 2 km del área de cultivo.

5.4.3 Variedades de avena evaluadas

Se evaluaron las líneas de trigo V7, V13 y V16 y la variedad Nana. La siembra del EIP1 se realizó el 5 de diciembre de 2012 y la de EIP2 el 4 de diciembre de 2013; La densidad de siembra utilizada fue de 100 kg ha⁻¹. Los genotipos se asignaron aleatoriamente a las parcelas experimentales en un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La fertilización fue 40-40-00 en la siembra y 40 unidades de nitrógeno al inicio del proceso de amacollamiento. En cada ciclo de crecimiento las parcelas experimentales fueron regadas en 9 ocasiones, a intervalos de 2 semanas hasta capacidad de campo.

5.4.4 Altura promedio de las variedades evaluadas

Antes de cortar las plantas de cada genotipo dentro de las unidades de muestreo, se hicieron 20 mediciones de plantas elegidas al azar, con una regla de 1.5 m de longitud con 1 mm de precisión, colocando la regla de manera vertical y registrando el dato de altura que indicó la mica móvil de la regla al primer contacto de esta con la planta.

5.4.5 Radiación interceptada (RI)

Previo al corte de las plantas presentes dentro de las unidades de muestreo se tomaron al azar 5 lecturas, de la cantidad de radiación solar interceptada por las plantas dentro de cada unidad de muestreo con el Ceptómetro modelo LP-80 (Decagon Devices, Inc.), a las 12:00 horas del día.

5.4.6 Acumulación de forraje

A partir de los 43 días después de la siembra (DDS) se colectaron muestras del forraje a intervalos de 7 días, hasta que los cuatro genotipos alcanzaron la madurez fisiológica. La unidad de muestreo fue un cuadro de 0.45 m², dentro del cual se cortaron todas las plantas de trigo a una altura de 12 cm sobre el nivel del suelo. Para iniciar los muestreos se tomó como criterio que las plantas tuvieran al menos 20 cm de altura. El forraje cosechado se lavó con agua de la llave y se expuso a un proceso de secado hasta peso constante, en una estufa de aire forzado a 55° C. Con el peso seco se calculó el rendimiento de forraje por hectárea, para los diferentes intervalos de cosecha. Se identificaron los estados de desarrollo principales para las cuatro variedades estudiadas tomando como referencia la escala de Zadocks *et al.* (1974).

5.4.7 Composición morfológica del forraje cosechado

Para estimar la cantidad de cada componente morfológico (hojas, tallos, material muerto y espigas), se tomó una submuestra de aproximadamente 100 g de la masa de forraje, previa homogenización de la muestra completa. La submuestra de forraje se separó en hojas, tallos, espigas y el material muerto. Cada parte de las plantas se colocaron en bolsas de papel identificadas con el nombre del componente, genotipo de trigo e intervalo de corte y se expusieron a un proceso

de secado en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55° C, hasta llegar a peso .y finalmente se pesaron. Se estimó el peso seco en kg ha⁻¹ de cada componente.

5.4.8 Índice de área foliar (IAF) de los genotipos

Antes de secar las hojas obtenidas de la submuestra (100 g), se les determinó su área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, inc.). Con los datos obtenidos de área foliar y el área de la unidad de muestreo se estimó el IAF.

5.4.9 Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue un bloques completamente aleatorizados en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los datos de las mediciones realizadas en cada genotipo de trigo fueron analizados con el procedimiento GLM de SAS (Statistical Analysis System Versión 9.0 para Windows). Los tratamientos experimentales fueron los cuatro genotipos de trigo. La prueba de Tukey se utilizó para la comparación de medias. Las curvas ajustadas de crecimiento con su modelo y coeficientes respectivos para cada línea evaluada se obtuvieron con el programa Curve Expert Professional 2.0 (Curve Expert Computer Software. Vers. 2.0 N.p. D.d. Web).

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 7 y 8 se presenta la curva ajustada de acumulación de forraje, los componentes morfológicos (hojas, tallos, material muerto y espigas) relacionándose con el IAF, la RI y la altura para cada fecha de corte de los cuatro genotipos de trigo evaluados.

En el ciclo EIP1 el modelo con mejor ajuste para los materiales evaluados fue de tipo exponencial con $R^2 \geq 0.83$. Mientras que para el EIP2 al completarse todas las fases de crecimiento, los genotipos de trigo presentaron curvas de crecimiento de tipo sigmoideal, con $R^2 \geq 0.98$.

En el EIP1, la máxima acumulación de forraje registrada, para las cuatro variedades evaluadas, se encontró a los 84 DDS, con rendimientos de 4,319; 3,768; 3,427 y 1,752 kg ha⁻¹ para trigo Nana, V13, V16 y V7, respectivamente

($p < 0.05$), cuando Nana se encontraba en el estado de espigamiento (52, Zadocks) y V13, V16 y V7 en encañe (32-36, Zadocks). Esta fue la última fecha de muestreo debido a la muerte de las plantas causada por una helada. Mientras que para el ciclo EIP2 los valores encontrados fueron de 3,779; 3,503; 2,912 y 2,543, para la misma fecha y genotipos, mencionados; por lo que, los trigos Nana, V13 y V16 disminuyeron su rendimiento de forraje (kg MS ha^{-1}) del EIP1 al EIP2 en 12.5 %, 7 % y 15 %; mientras que V7 lo incrementó en 45 %.

En el EIP2, la última fecha de muestreo para Nana se realizó cuando las plantas se encontraban en estado masoso y V13, V16 y V7 en lechoso-masoso, debido a que a partir de este corte las pérdidas de grano por la cosecha de las aves se incrementó. La máxima acumulación de forraje para trigo Nana se encontró a los 112 DDS con $8,414 \text{ kg MS ha}^{-1}$, mientras que para V13, V16, y V7 fue a los 126 DDS con 12,047, 9,290 y $9,211 \text{ kg MS ha}^{-1}$, respectivamente ($p < 0.05$). En un estudio realizado en Coahuila México en condiciones de temporal, se reportan rendimientos de materia seca de entre 12,000 y 13,000 kg ha^{-1} para trigo temporalero, Nahuatl f-200 y Anahuac cuando fueron cosechados a los 110 DDS con alturas que van desde 100 hasta 126 cm (Nuñez-Hernández *et al.*, 2010).

Los genotipos de trigo Nana, V13, V16 y V7 mostraron en algunas fechas de corte, mayor rendimiento de materia seca en el EIP1 vs EIP2, a pesar de la mayor presencia de heladas (79 vs 72). Posiblemente relacionado a que este tipo de plantas son más resistentes a las bajas temperaturas y requieren mayor acumulación de horas frío para completar su ciclo de desarrollo. La línea V13 es la que presenta una menor variación en rendimiento de materia seca del ciclo EIP1 al EIP2 (7 %) y la máxima acumulación de forraje ($12,047 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Lo anterior puede deberse a que son genotipos mejor adaptados, que tienen mayor tolerancia al frío, en comparación con las segundas.

Así mismo, los mayores rendimientos de las líneas V13, V16 y V7 están correlacionados a que son genotipos tardíos, es decir de ciclo biológico más largo en comparación con Nana. Tavella citado por (Morant *et al.*, 2007) menciona que las características más importantes que deberían poseer los trigos forrajeros o de

doble propósito son poseer un ciclo biológico más largo y estar adaptados a las siembras tempranas, lo cual permitiría disponer de una fase vegetativa más larga. Además, los más bajos rendimientos de forraje de Nana encontrados, concuerdan con lo reportado por diversos autores, quienes mencionan que las variedades seleccionadas por su alto rendimiento de grano no suelen ser las de mejor producción forrajera (Calderini *et al.*, 1997).

5.5.1 Componentes morfológicos

En el EIP1, en relación a los componentes morfológicos, los más altos rendimientos de hoja en combinación con la mayor relación hoja/tallo se encontraron entre los 63 y 77 DDS con rendimientos promedio de hoja y tallo de 1,225 kg ha⁻¹, 482 kg ha⁻¹ para Nana; 1,202 kg ha⁻¹ y 243 kg ha⁻¹ para V13 y 1,158 kg ha⁻¹, 256 kg ha⁻¹ para V16. Mientras que V7 presentó los más bajos rendimientos con 691 kg ha⁻¹, 25.3 kg ha⁻¹. A partir de los 84 DDS, en V16 y Nana, el componente tallo superó e igualó al componente hojas y el material muerto se incrementó para todos los genotipos.

En EIP2 el mayor aporte de hojas al rendimiento total y la mejor relación hoja/tallo se encontró para trigo Nana entre los 63 y 70 DDS en el estado de encañe (35, Zadocks) con hoja y tallo de 930 y 387 kg ha⁻¹, respectivamente; para V16 fueron las mismas fechas con 880 y 243.7 kg ha⁻¹ (35, Zadocks). V13 fue entre los 70 y 77 DDS con 1,755.6 y 569 kg ha⁻¹ (32, Zadocks) y V7 con 1838 y 567 kg ha⁻¹ (33, Zadocks). Así mismo, se observó que en este corte no fueron dañados los puntos de crecimiento por lo que la planta podría rebrotar. Keles *et al.*, (2013) al evaluar el rendimiento del rebrote en avena, centeno, trigo, cebada y triticale en las etapas de amacollamiento y encañe, reportaron que los cereales de invierno pueden ser pastoreados hasta la etapa encañe, sin causar grandes reducciones en el rendimiento del rebrote y forraje total. Es por lo anterior, que definir la etapa morfológica y fisiológica en la que se encuentra la planta forrajera al momento de la primera cosecha, es de suma importancia, debido a que de esto dependerá la persistencia y el vigor de los rebrotes (Calzada-Marín *et al.*, 2014).

El aporte de hojas, tallos, material muerto y espigas cuando se encontró el máximo rendimiento de forraje para Nana, V13, V16 y V7 fue de 9, 47, 9, 35 %; 11, 55, 12, 21 %; 9, 58, 14, 19 % y 12, 49, 4, 34 %, respectivamente. Por lo que se observa que el componente tallo es el que tiene un mayor aporte al rendimiento total (> 45 %).

Los componentes tallo y material muerto se incrementaron conforme avanzó la edad de las plantas (Calzada-Marín *et al.*, 2014). Así mismo, Juskiw *et al.*, (2000) encontraron que la distribución de los componentes morfológicos, durante el periodo de cosecha puede afectar el rendimiento y la calidad del forraje para producción de ensilado en cultivos de cereales y que la densidad de siembra, siembra en monocultivos y asociaciones y fecha de muestreo tienen un efecto significativo en la cantidad de hoja, tallo, espiga y biomasa total.

La disminución de la proporción de hojas en los últimos muestreos puede estar relacionado con la edad de las plantas que ya cumplieron su ciclo biológico, además de las hojas de los estratos inferiores que mueren, porque son sombreadas por las del estrato superior por lo que existe una pérdida gradual en la actividad fotosintética que conduce a la degeneración y muerte del tejido (Chapman y Lemaire, 1993). Además de que en etapas avanzadas se incrementan otros componentes como espigas y tallos. En el caso de las espigas hay un incremento por el llenado de grano que se da por la traslocación de fotosintatos, desde los tallos y las hojas provocando su senescencia y muerte (Niu *et al.*, 1998; Juskiw *et al.*, 2000).

5.5.2 IAF, RI y altura

En el experimento EIP1, las variables IAF, RI y Altura se incrementaron conforme avanzó la edad de la planta. Los máximos IAF encontrados para Nana fue de 1.4 (77 DDS), V13 de 4.3 (84 DDS), V16 de 3.0 (84 DDS) y V7 de 1.5 (84 DDS). Con radiaciones interceptadas de 68, 84, 77 y 67 y alturas de 39, 61, 57 y 41 cm. Sin embargo, se encontró que para este ciclo, los más altos rendimiento de hoja y las mejores relaciones hoja/tallo se observaron entre el día 63 y 77 DDS para los genotipos estudiados, y no concuerdan con los máximos índices de área foliar

como se reporta para el ciclo EIP2. Lo anterior posiblemente relacionado a que se presentaron un mayor número de heladas (Cuadro 1).

De manera general, las variables IAF, RI y altura en el EIP2, para todas las variedades evaluadas, se incrementaron conforme avanzó la edad de la planta, y después de alcanzar los valores más altos, para el caso de altura, esta se mantuvo estable durante las dos últimas fechas de evaluación, mientras que el IAF y la RI disminuyeron. Los máximos valores de radiación interceptada coinciden con altos valores de IAF; aunque no se encontraron radiaciones del 95 % en ninguno de los genotipos evaluados. En la literatura está reportado que las densidades y fechas de siembra afectan el aporte de hojas, tallos, material muerto y espigas al rendimiento total. Por lo que posiblemente estas variables, aunado el daño de las bajas temperaturas a las hojas dificultaron al cultivo alcanzar el 95 % de intercepción luminosa (Juskiw *et al.*, 2000).

Los máximos índices de área foliar para V13, V16 y V7 coincidieron con las máximas radiaciones interceptadas para los cortes 77, 84 y 91 DDS. V13 con RI de 92, 89 y 90 %; IAF de 5.7, 5.5 y 5.8 y alturas de 64, 69 y 78 cm. V16 con RI de 92, 91 y 92 %; IAF de 4.1, 3.9 y 4.3 y alturas de 59, 78 y 79 cm. V7 con RI de 80, 75 y 78 %; IAF 4.0, 4.7, y 5.0 y alturas de 47, 54 y 57 cm.

La variedad Nana quien presentó los más bajos IAF y radiaciones interceptadas, posiblemente relacionado a que es una variedad especializada para producción de grano, además de que siendo un cultivo de primavera presenta un mayor susceptibilidad a las heladas (Villaseñor-Mir *et al.*, 2003).

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 la mayor aportación de hojas al rendimiento. Es el punto óptimo de crecimiento donde existe poca acumulación de material muerto (Silva y Nascimento Júnior, 2007). Parsons *et al.*, (1988) menciona que el IAF crítico es cuando el 95 % de luz incidente es interceptada por el dosel, la tasa media de acumulación de forraje alcanza su máximo, es decir, el equilibrio entre los procesos de máximo

crecimiento y senescencia permite una mayor acumulación de forraje. Así mismo, 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 el rebrote de éstas. En éste trabajo en el EIP1, no se encontraron las máximas radiaciones interceptadas esperadas, debido al daño del aparato fotosintético por bajas temperaturas y a la presencia de heladas. Además de que en trabajos posteriores es deseable evaluar densidades y fechas de siembra.

5.6 CONCLUSIONES

La variedad con mejor aptitud forrajera y mejor estabilidad en cuanto a rendimiento de un ciclo al otro fue trigo V13, mientras que trigo Nana fue quien presentó los menores rendimientos de forraje.

Los genotipos de ciclo largo presentan una mejor aptitud forrajera en cuanto a rendimiento de materia seca y mayor cantidad de hojas en comparación a variedades precoces.

El momento óptimo de corte para forraje en el EIP2 se encontró en encañe, ya que en este estado de desarrollo es cuando se encontraron los más altos rendimientos de hojas e IAF y hubo coincidencia con las más altas radiaciones interceptada.

La radiación interceptada, el IAF y la altura, pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte para forraje.

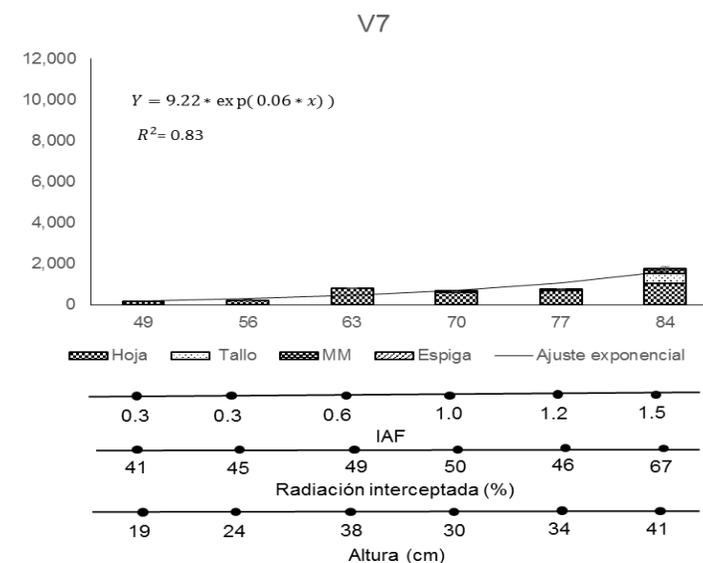
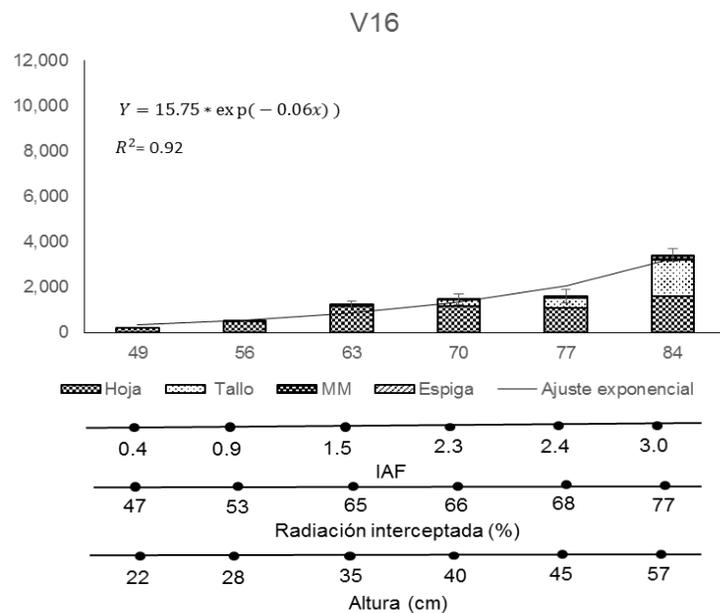
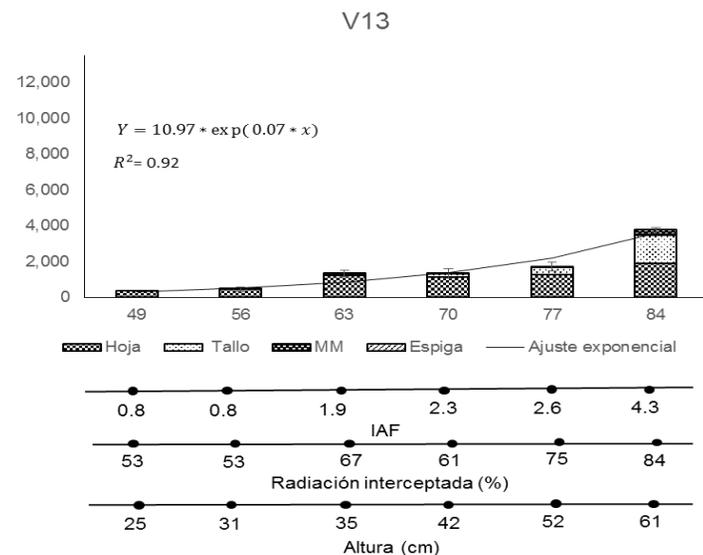
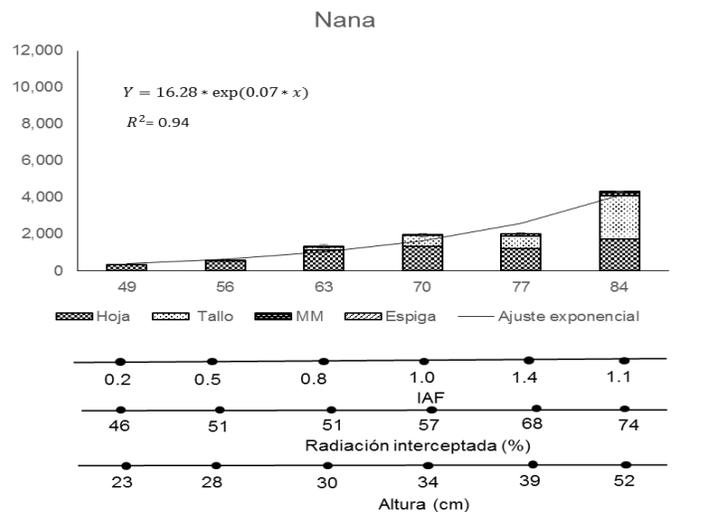


Figura 7. Acumulación de forraje total (kg MS ha⁻¹) por componentes morfológicos (kg MS ha⁻¹), índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de los trigos Nana, V13, V16 y V7 a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP1.

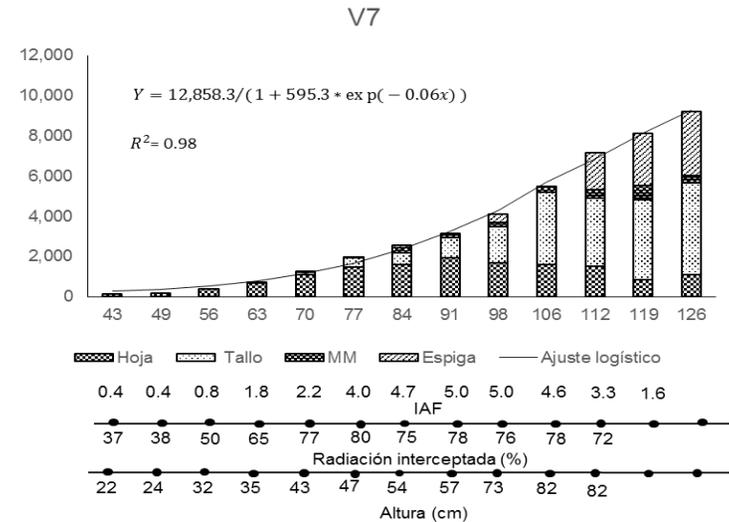
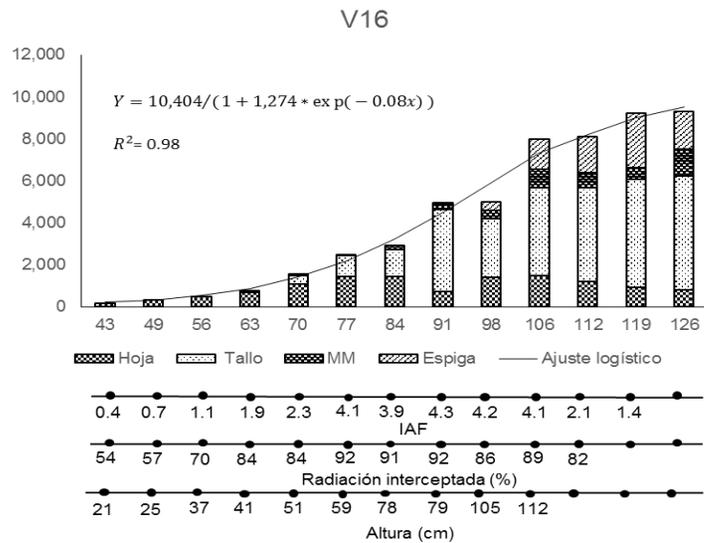
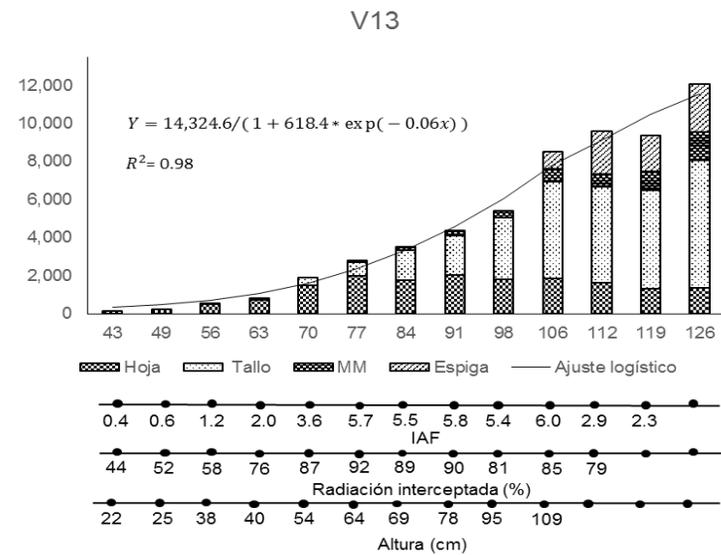
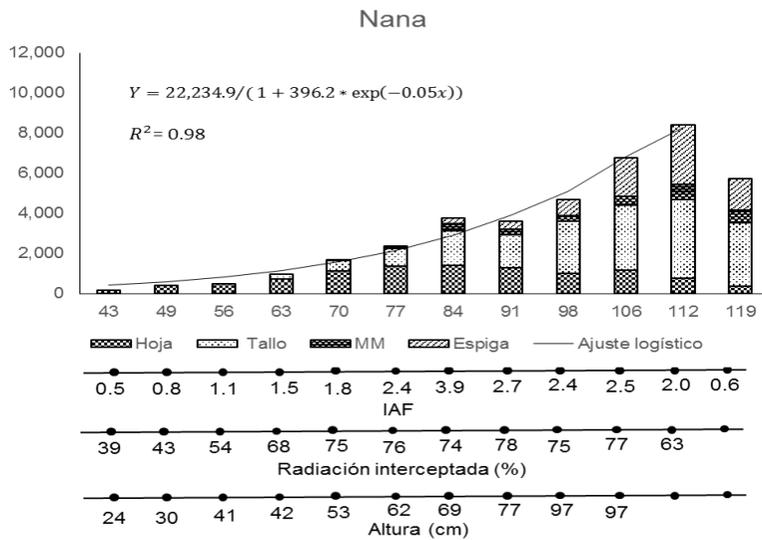


Figura 8. Acumulación de forraje total (kg MS ha⁻¹), componentes morfológicos (kg MS ha⁻¹), índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta, de los trigos Nana, V13, V16 y V7 a diferentes estados de desarrollo en el ciclo EIP2.

Literatura citada

- Bainotti, C.T., Gomes, D., Masiero, B., Salines, J., Frascina, J., Bertram, N., Navarro, C. 2005. Evaluación de cultivares de trigo como doble propósito. Campaña 2005/06.
- Baron, V.S., Kibite, S. 1987. Relationships of maturity, height and morphological traits with whole-plant yield and digestibility of barley cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 67, 1009–1017.
- Calderini, D.F., Dreccer, M.F., Slafer, G.A. 1997. Consequences of breeding on biomass, radiation interception and radiation-use efficiency in wheat. *Field Crops Research* 52, 271–281.
- Calzada-Marín, J.M., Enríquez-Quiroz, J.F., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Mendoza-Pedroza, S.I. 2014. Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 5, 247–260.
- 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., Marten, G.C. 1982. Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop Sci.* 22, 240–245.
- Da Silva, S., Hernández, G. 2010. Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En: *Los forrajes y su impacto en el trópico*. Velasco ME editor, Chiapas, México: UNACH.
- Hernández-Córdova, N., Soto Carreño, F., Plana Llerena, R. 2015. Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.) en tres fechas de siembra. *Cultiv. Trop.* 36, 86–92.
- Hodgson, J., 1990. *Grazing management. Science into practice*. Longman Scientific and Technical, Harlow, England.
- Juskiw, P.E., Helm, J.H., Salmon, D.F. 2000. Postheading biomass distribution for monocrops and mixtures of small grain cereals. *Crop Sci.* 40, 148–158.
- 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.

- Morant, A.E., Merchán, H.D., Lutz, E.E. 2007. Características forrajeras de trigos doble propósito. *Phyton B. Aires* 76, 95–102.
- Niu, J.Y., Gan, Y.T., Zhang, J.W., Yang, Q.F. 1998. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop Sci.* 38, 1562–1568.
- Núñez-Hernández, G., Payán-García, J. A., Peña-Ramos, A., González-Castañeda, F., Ruiz-Barrera O., Arzola-Álvarez C. 2010. Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Rev. Mex. Cienc. pecu.* 1(2), 85–89.
- Pagliaricci, H., González, S., Ohanian., A., Pereyra, T. 2000. Caracterización del crecimiento y la producción de cereales forrajeros invernales en Córdoba, Argentina. *Agric. Téc.* 60, 224–235.
- Parsons, A.J.; Penning, P.D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science.* 43(1), 15-27.
- René, S.S., 2008. Coahuila S-94, trigo para producción de forraje.
- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.sagarpa.gob.mx>).
- Sevilla, G.A., Pasinato, A., García, J.M. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch. Latinoam. Anim. Prod.* 9, 91–98.
- Silva, S.C. da, Nascimento Júnior, D. 2007. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 122–138.
- Villaseñor-Mir, H.E., Espitia, R.E., Huerta, E.J. 2003. El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones, in: 60 Años de Investigación En El Campo Experimental Valle de México. pp. 17–30.
- Villaseñor-Mir, H.E., Espitia-Rangel, E., Huerta-Espino, J. 2003. El campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: historia y aportaciones In: 60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México. INIFAP, CIRCE, CEVAMEX, Chapingo, Estado de México. P17-30. (Publicación especial Núm. 1).

Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Eucarpia Bull.* 7: 42-52.

CONCLUSIONES GENERALES

- Los mayores rendimientos de forraje encontrados en algunos genotipos de avena, cebada y trigo fueron entre 12,000 y 13,000 kg MS ha⁻¹, en invierno en condiciones de riego.
- Las líneas de cebada Esperanza x O'Connor, Esperanza x CP, la variedad de avena Saia y la línea de trigo V13 fueron las que mostraron mayor rendimiento de forraje y mayor producción de hojas, alcanzando radiaciones interceptadas cercanas al 95 %.
- El corte de cereales para forraje en el estado de encañe o elongación del tallo (30-32, Zadocks) permite obtener forraje con mayor aporte de hojas al rendimiento total, sin dañar los puntos de crecimiento, lo que posiblemente permita rebrotes posteriores de las plantas de cebada avena y trigo.
- Los genotipos de cereales de grano pequeño con ciclo biológico más largo, presentaron mayores rendimientos de forraje en comparación a las precoces.
- La radiación interceptada, el IAF y la altura, pueden ser criterios utilizados para determinar el momento óptimo de corte para forraje en cereales de grano pequeño.