

---

## ACUMULACIÓN DE FORRAJE, COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA E INTERCEPCIÓN LUMINOSA EN DOS VARIEDADES DE AVENA

---

Claudia Yanet Wilson García, Nelson Erik López Zerón, María Esther Ortega Cerrilla, Joel Ventura Ríos, Héctor Eduardo Villaseñor Mir y Alfonso Hernández Garay†

### RESUMEN

Se determinaron curvas de acumulación de forraje y evolución de componentes morfológicos durante dos ciclos de crecimiento, para determinar el momento óptimo de corte para forraje verde de dos variedades de avena (Turquesa y Saia). Se realizaron cosechas a intervalos de siete días, iniciando a los 43 y 49 días después de la siembra (DDS) para ambas variedades. En cada cosecha se registró: altura promedio de 20 plantas, intercepción luminosa (IL), acumulación de forraje, composición morfológica e índice de área foliar (IAF); mientras que la proteína cruda (PC) solo se determinó en el segundo ciclo de producción. Los datos registrados para cada variable fueron analizados con el procedimiento Proc Mixed de SAS

(Versión 9.0 para Windows) para un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con arreglo de medidas repetidas y tres repeticiones. El momento óptimo de corte para forraje verde en Turquesa fue entre los 70 y 77 DDS y en Saia entre los 70 y 91 DDS, cuando se encontraron los más altos IAF, IL y PC en los estados Zadoks de 35 a 40. Los mayores rendimientos de biomasa se encontraron en el estado lechoso-masoso (Zadoks: 79-80) para ambas variedades, aunque con niveles de PC reducidos a la mitad. La variedad con mejor aptitud forrajera fue Saia, ya que presentó mayor cantidad de hojas y por un tiempo más largo; lo que se vio reflejado en los mayores IAF e IL, cercanas al 95%.

---

### Introducción

La superficie sembrada de avena en México fue de

420.000ha en 1996, incrementándose la misma hasta a 630.628ha para el 2017. En ese último año, la producción

de avena para forraje representó el 94% de la superficie sembrada y el 6% restante fue utilizada como grano (SIAP,

2017). En muchas partes de México la cosecha de este cereal se realiza en etapas avanzadas de madurez de la

---

### PALABRAS CLAVE / Altura de Planta / Análisis de Crecimiento / Avena / Etapa Fenológica / Momento de Corte /

---

Recibido: 16/11/2016. Modificado: 18/08/2018. Aceptado: 20/08/2018.

**Claudia Yanet Wilson García.** (Autora por correspondencia) Ingeniera Agrónoma, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestra y Doctora en Ciencias, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesora-Investigadora, UACH, Sede San Luis Acatlán, Guerrero, México. Dirección: Km 5.5 Carretera San Luis Acatlán-Tlapa, San Luis Acatlán, Guerrero, México. C.P. 41603, claudiawilson@colpos.mx

**Nelson Erik López Zerón.** Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias en Protección Vegetal, UACH, México. Doctor en Ciencias en Entomología y Acarología, COLPOS, México. Docente, Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 178. General Vicente Guerrero Saldaña, Guerrero, México.

**María Esther Ortega Cerrilla.** Médica Veterinaria Zootecnista, Universidad Nacional Autónoma

de México (UNAM), México. M.Sc., University of Wisconsin, EEUU. D. Sc., University of Newcastle, RU. Profesora-Investigadora, COLPOS, México.

**Joel Ventura Ríos.** Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Doctor en Ciencias, COLPOS. México. Asesor Técnico en Reproducción Animal, ABS Global, Twin Falls ID, EEUU.

**Héctor Eduardo Villaseñor Mir.** Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro y Doctor en Ciencias, COLPOS, México. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

**Alfonso Hernández Garay.** Ingeniero Agrónomo, UACH, México. Maestro y Doctor en Ciencias, Massey University, Nueva Zelanda. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

## HERBAGE ACCUMULATION, MORPHOLOGICAL COMPOSITION AND LIGHT INTERCEPTION IN TWO OAT VARIETIES

Claudia Yanet Wilson García, Nelson Erik López Zerón, María Esther Ortega Cerrilla, Joel Ventura Ríos, Héctor Eduardo Villaseñor Mir and Alfonso Hernández Garay†

### SUMMARY

Herbage accumulation curves and morphological components were determined during two growth cycles in order to establish the optimal time for cutting green forage of two varieties (Turquesa and Saia) of oats. Harvests were carried out at seven day intervals, starting 43 and 49 days after sowing (DAS). In each harvest the average height of 20 plants, intercept radiation (IR), herbage accumulation, morphological composition and leaf area index (LAI) were recorded; while the crude protein (CP) was only determined in the second production cycle. The data recorded for each variable was analyzed with the SAS Proc Mixed procedure (Version 9.0 for Windows) for an experimental randomized complete block design arrangement of repeated

measurements and three replications. The herbage accumulation, stem components, dead material and pins were positively correlated with the greater maturity of the plant; while leaves and crude protein were negatively correlated. Optimal time for cutting green forage in Turquesa was between 70 and 77 DDS and in Saia between 70 and 91 DAS, when the highest IAF, IL and PC were recorded in the Zadoks states from 35 to 40. The highest yields biomass were found in the milky-dough stage (Zadoks of 79-80) for both varieties, although with 50% lower CP levels. The variety with better forage aptitude was the Saia oats, as it had a higher number of leaves for a longer time period, thus having higher LAI and LI, close to 95%.

## ACUMULAÇÃO DE FORRAGEM, COMPOSIÇÃO MORFOLÓGICA E INTERCEPÇÃO LUMINOSA EM DUAS VARIEDADES DE AVEIA

Claudia Yanet Wilson García, Nelson Erik López Zerón, María Esther Ortega Cerrilla, Joel Ventura Ríos, Héctor Eduardo Villaseñor Mir e Alfonso Hernández Garay†

### RESUMO

Determinaram-se curvas de acumulação de forragem e evolução de componentes morfológicos durante dois ciclos de crescimento, para determinar o momento ótimo de corte para forragem verde de duas variedades de aveia (Turquesa e Saia). Realizaram-se colheitas em intervalos de sete dias, iniciando aos 43 e 49 dias depois da plantação (DDP) para ambas as variedades. Em cada colheita se registrou: altura média de 20 plantas, intercepção luminosa (IL), acumulação de forragem, composição morfológica e índice de área foliar (IAF); enquanto que a proteína crua (PC) somente foi determinada no segundo ciclo de produção. Os dados registrados para cada variável foram analisados com o procedimento Proc Mixed do

SAS® (Versão 9.0 para Windows) para um desenho experimental em blocos inteiramente casualizados com medidas repetidas e três repetições. O momento ótimo de corte para forragem verde em Turquesa foi entre os 70 e 77 DDP e em Saia entre os 70 e 91 DDP, quando se encontraram os mais altos IAF, IL e PC nos estados Zadoks de 35 a 40. Os maiores rendimentos de biomassa se encontraram no estado leitoso-massudo (Zadoks: 79-80) para ambas as variedades, ainda que com níveis de PC reduzidos pela metade. A variedade com melhor atitude forrageira foi Saia, já que apresentou maior quantidade de folhas e por um tempo mais prolongado; o que se viu refletido nos maiores IAF e IL, próximas a 95%.

planta, cuando presenta una alta acumulación de materia seca, con niveles de proteína de ~10%. Los principales estudios sobre este cereal han evaluado etapas de desarrollo a partir del embuche hasta la madurez fisiológica (Espitia-Rangel *et al.*, 2012), por lo que existe escasa información del comportamiento productivo forrajero de las avenas en etapas tempranas de crecimiento. El potencial forrajero de la avena, al igual que el de otros cereales forrajeros, ha sido aprovechado en muchas partes del mundo con el propósito de alimentar bovinos de carne y leche (Maloney *et al.*, 1999), al igual que para complementar

praderas perennes en la temporada de menor rendimiento, durante el invierno y principios de la primavera (Keles *et al.*, 2013). Entre los factores que afectan la calidad y el rendimiento de los cereales forrajeros se encuentran: 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 resulta ser 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 ello es conveniente cosechar forraje con mayor porcentaje de hojas; sin embargo, cosechar un cultivo en etapas tempranas para obtener mayor porcentaje de hojas significa aceptar una reducción en el rendimiento de materia seca. No obstante, en

etapas tempranas de crecimiento (amacollamiento y encañe), cuando existe gran cantidad de hojas, si se realizan cortes dejando 5cm de forraje residual en 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). Por lo tanto, es importante conocer las curvas de acumulación de forraje para entender el crecimiento vegetal y, al ser acompañadas estas curvas con los cambios en la composición morfológica a intervalos de tiempo específicos, comprender la importancia de cada parte de las plantas en el forraje cose-

chado, (hojas, tallos, material muerto y espigas) y como cada una contribuye al rendimiento y calidad nutricional. Cada cereal tiene su propia curva de acumulación de biomasa y sus modelos matemáticos describen el proceso de producción, lo que es útil para seleccionar especies y variedades forrajeras (Sevilla *et al.*, 2001). Hodgson (1990), Da Silva y Nascimento Junior (2007) y Da Silva y Hernández (2010) mencionan que las gramíneas templadas y tropicales deben ser defoliadas cuando la pradera está captando el 95% de la intercepción luminosa; situación que coincide con una mayor cantidad de hojas fotosintéticamente activas y un menor porcentaje de hojas senescentes y muertas. Para que este criterio de cosecha tenga utilidad práctica al tomar una decisión sobre la cosecha del cultivo forrajero, podría relacionarse con la altura de las plantas, por ser una medida sencilla y rápida de realizar en campo.

Los objetivos del presente estudio fueron realizar las curvas de acumulación de forraje, la composición morfológica e intercepción luminosa para para dos variedades de avena, a fin de determinar el momento óptimo de cosecha de forraje verde.

## Materiales y Métodos

### Sitio experimental

Se realizaron dos experimentos en condiciones de campo, en el ciclo de invierno-primavera 2012-2013 (EIP1) y en el de invierno-primavera 2013-2014 (EIP2), en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19°29'N, 98°54'O y 2250msnm). El tipo de textura del suelo del área cultivada es franco arenoso (Soil Survey Staff, 2014), ligeramente alcalino (pH 7,8) con 2,4% de materia orgánica. El clima del lugar es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano, precipitación y temperatura media anual de 645mm y 15°C, respectivamente, siendo la menor temperatura promedio de 11,6°C en enero y la mayor es de 18,4°C en mayo (García, 1998). Los datos de temperatura del

aire (mínima, media y máxima) y precipitación durante el experimento se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo (Tabla I), ubicada a 2km de distancia.

### Variedades de avena evaluadas

Se evaluaron *Avena sativa* L. variedad Turquesa y *Avena bizantina* L. variedad Saia. La siembra del EIP1 se realizó el 05/12/2012 y la del EIP2 el 04/12/2013. La densidad de siembra utilizada fue de 100kg·ha<sup>-1</sup>. Los genotipos fueron asignados aleatoriamente a las parcelas experimentales en un diseño de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de cinco surcos de 2m de longitud, separados a 0,30m. El muestreo para determinar las curvas de acumulación de forraje se hizo en un área de 0,45m<sup>2</sup> a una altura de corte de 12cm, en los surcos centrales de cada unidad experimental. La fertilización fue 40-40-00kg de N-P-K en la siembra y 40 unidades de N al inicio del amacollamiento, utilizando urea como fuente de N y superfosfato de calcio triple como fuente de P. En cada ciclo de crecimiento las parcelas experimentales fueron regadas hasta capacidad de campo en nueve ocasiones, a intervalos de dos semanas.

### Altura promedio de las variedades evaluadas

Antes de cortar las plantas de cada variedad en las unidades

de muestreo, se hicieron 20 mediciones al azar con una regla de 1,5m de largo y 1mm de precisión. Se colocó la regla verticalmente y se registró la altura donde la mica móvil de la regla tuvo el primer contacto con la planta.

### Radiación interceptada (RI)

Previo al corte de las plantas presentes dentro de las unidades de muestreo se tomaron al azar cinco lecturas, a las 12:00, de la cantidad de radiación solar interceptada por las plantas utilizando un Ceptómetro modelo LP-80 (Decagon Devices, EEUU).

### Acumulación de forraje

Para iniciar los muestreos se tomó como criterio el que las plantas tuvieran al menos 20cm de altura, lo que para ambas variedades fue a partir de los 43 y 49 días después de la siembra (DDS), por lo que en adelante se colectaron muestras del forraje a intervalos de siete días, hasta que las variedades alcanzaron la madurez fisiológica. La unidad de muestreo fue un cuadro de 0,45m<sup>2</sup>, dentro del cual se cortaron todas las plantas de avena a 12cm sobre el nivel del suelo. El forraje cosechado se lavó con agua corriente y se expuso a un proceso de secado hasta peso constante en estufa de aire forzado a 55°C. Con el peso seco se calculó el rendimiento de forraje por ha, para los diferentes intervalos de cosecha. Se identificaron algunas etapas de interés tomando

como referencia la escala de Zadoks, que fueron el amacollamiento, encañe, vaina engrosada y enbuche (Zadoks *et al.*, 1974).

### Componentes morfológicos

Para estimar la cantidad de cada componente morfológico (hojas, tallos, material muerto y espigas) se tomó una submuestra de ~100g de la masa de forraje, previa homogeneización de la muestra completa. La submuestra de forraje se separó en los componentes hojas, tallos, espigas y el material muerto. Posteriormente cada componente fue colocado en bolsas de papel y se expusieron a un proceso de secado en una estufa de aire forzado a 55°C hasta llegar a peso constante, y finalmente se pesaron. El peso seco de cada componente se estimó en kg·ha<sup>-1</sup>.

### Índice de área foliar (IAF)

Antes de secar las hojas obtenidas de la submuestra (100g), se les determinó su área foliar con un integrador modelo LI-3100 (LI-COR, EEUU). Con los datos obtenidos de área foliar y el área de la unidad de muestreo se estimó el IAF con la fórmula IAF= AF/AS, donde AF: área foliar (m<sup>2</sup>) y AS: área de suelo (m<sup>2</sup>).

### Proteína cruda

La proteína cruda (PC; N×6,25) de las dos variedades de avenas se midió utilizando el método Kjeldahl (AOAC, 1990). La variable PC se determinó

TABLA I  
PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS,  
PRECIPITACIÓN Y HELADAS DURANTE LOS DOS PERIODOS EXPERIMENTALES

| Mes       | Temperaturas (°C) |        |        |        | Precipitación (mm) |      | Heladas (número) |      |
|-----------|-------------------|--------|--------|--------|--------------------|------|------------------|------|
|           | EIP1              |        | EIP2   |        | EIP1               | EIP2 | EIP1             | EIP2 |
|           | Máxima            | Mínima | Máxima | Mínima |                    |      |                  |      |
| 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   |

EIP1: ciclo de invierno-primavera 2012-2013; EIP2: ciclo de invierno-primavera 2013-2014. Datos de la Estación Meteorológica Universidad Autónoma Chapingo.

únicamente en el segundo ciclo (EIP2). Para avena Turquesa en 10 de las 12 fechas muestreadas y en Saia en 12 de 14 fechas, ya que en las últimas fechas el nivel de PC disminuyó, por lo que no se consideró importante determinarla. En el primer ciclo no se evaluó PC debido a que las plantas fueron dañadas por heladas (Tabla I).

### Análisis estadístico

El diseño experimental fue de bloques completamente

aleatorizados en arreglo de medidas repetidas, con tres repeticiones. Los datos de las mediciones realizadas en cada genotipo de avena fueron analizados con el procedimiento *Proc Mixed* de SAS (2009) y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias con un nivel de significancia de 5%.

Se realizaron curvas ajustadas de crecimiento con su modelo y coeficientes respectivos para cada variedad evaluada utilizando el programa *Curve*

*Expert Professional 2.2* (Curve Expert, 2014).

### Resultados y Discusión

En la Figura 1 se presenta la acumulación de forraje por componente morfológico (hojas, tallos, material muerto y espigas) relacionándose con el IAF, RI y altura para cada fecha de corte de las dos variedades de avena evaluadas. Así mismo, en la Figura 2 se presentan todas las variables anteriores y la PC.

### Acumulación de forraje

En las Figuras 1 y 2 se observa un incremento progresivo en la acumulación de forraje conforme aumenta la edad de cultivo, encontrándose diferencias ( $p < 0,05$ ) de la tercera fecha de corte evaluado en adelante, en ambos ciclos de crecimiento para las variedades Turquesa y Saia.

En el EIP1 el modelo con mejor ajuste fue el de tipo exponencial con  $R^2$  de 0,95 para Turquesa y de 0,94 para Saia,

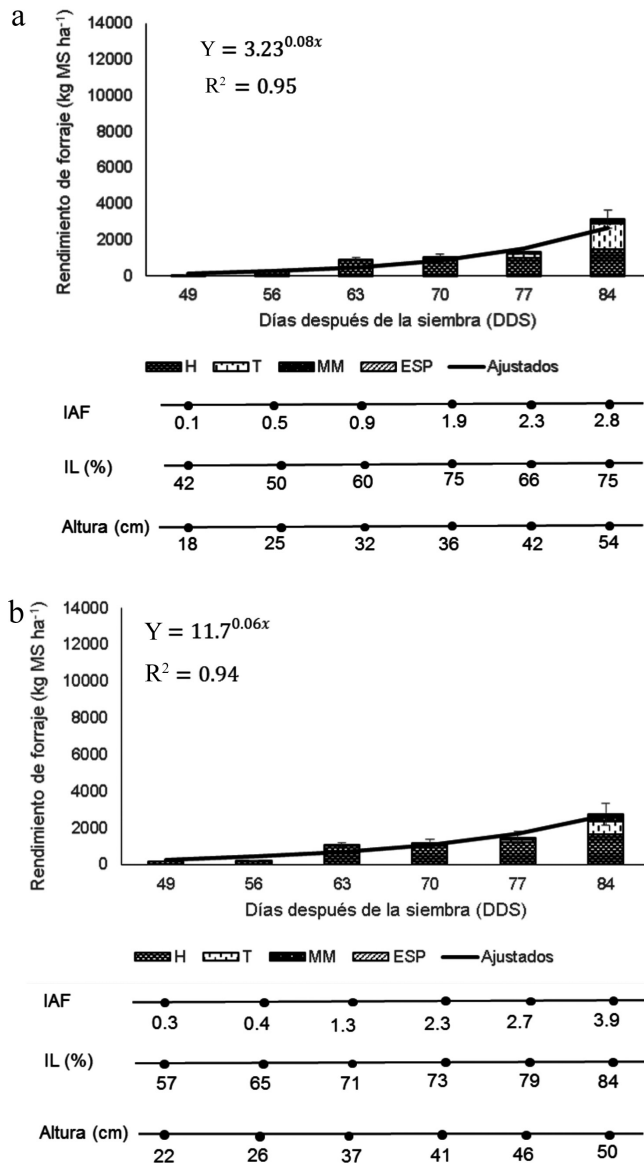


Figura 1. Acumulación de forraje por componente morfológico (H: hoja, T: tallo, MM: material muerto y ESP: espiga), índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI) y altura de planta de las avenas Turquesa (a) y Saia (b) en diferentes estados de crecimiento en el ciclo EIP1. Las barras  $\pm$  representan 1 desviación estándar ( $n = 3$ ).

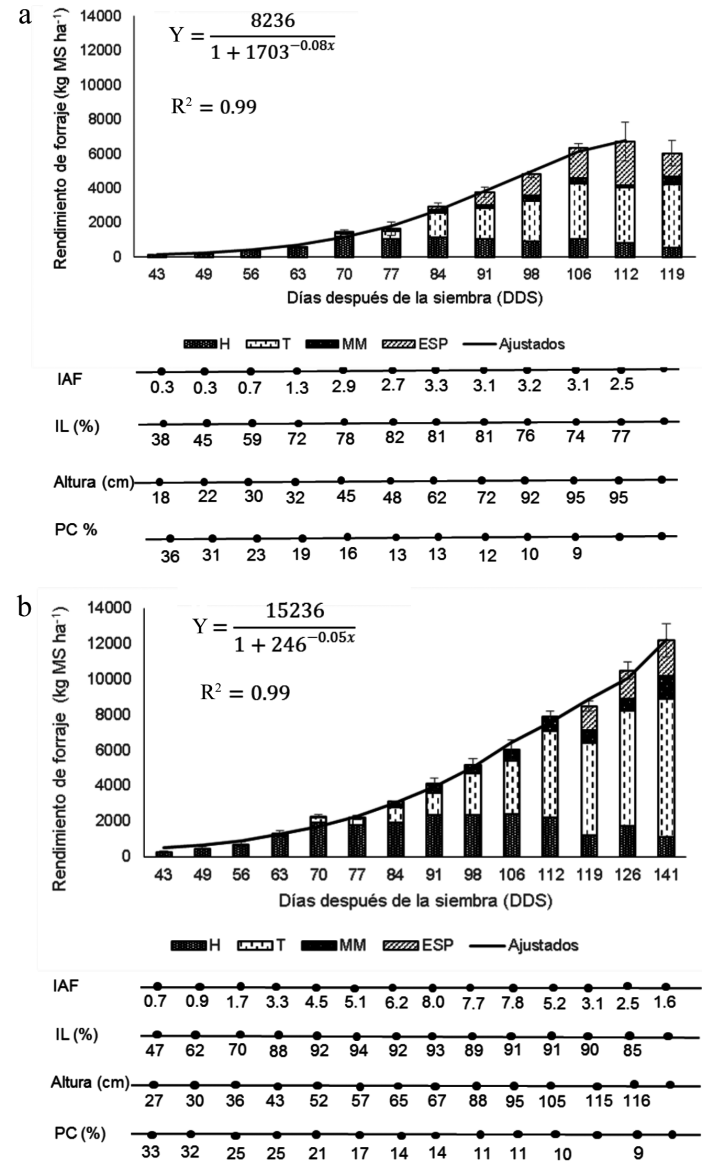


Figura 2. Acumulación de forraje, componentes morfológicos (H: hoja, T: tallo, MM: material muerto y ESP: espiga), índice de área foliar (IAF), radiación interceptada (RI), altura de planta y proteína cruda (PC) de las avenas Turquesa (a) y Saia (b) en diferentes estados de crecimiento en el ciclo EIP2. Las barras representan  $\pm 1$  desviación estándar ( $n = 3$ ).

debido a la presencia de una helada que provocó la muerte de las plantas a los 84 DDS. Por otra parte, en el EIP2 el mejor ajuste fue de tipo sigmoideal con  $R^2=0,99$  para ambas variedades, coincidiendo con Salisbury y Ross (1994), quienes señalan que la mayoría de las plantas presentan este tipo de crecimiento.

En el EIP1, la máxima acumulación de forraje registrada para las dos variedades evaluadas fue a los 84 DDS, debido a la muerte de las plantas por la helada; los rendimientos encontrados fueron de 3.139 y 2.746 kg·ha<sup>-1</sup> ( $p<0,05$ ), para Turquesa (Zadoks, 50-51) y Saia (Zadoks, 35-39), respectivamente. Sin embargo, en el EIP2, a la misma edad de crecimiento, la masa de forraje total disminuyó en 7% para Turquesa, mientras que Saia aumentó en 12%. La variedad Saia en el EIP1 vs EIP2 mostró para todas las fechas los menores rendimientos de materia seca, menores índices de área foliar e intercepciones luminosas, posiblemente relacionado a la mayor incidencia de heladas (Tabla I; EIP1, 79 vs EIP2, 62). 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 y Richards, 1994). La variedad Turquesa presentó menor variación de un ciclo a otro, lo que puede deberse a que es un genotipo mejor adaptado, con una mayor tolerancia al frío, por lo que presenta mejores respuestas productivas a pesar de condiciones climáticas adversas (Villaseñor-Mir *et al.*, 2003).

En el EIP2, el máximo rendimiento de biomasa para Turquesa fue 6.702 kg·ha<sup>-1</sup> a los 112 DDS y Saia con 12.188,4 kg·ha<sup>-1</sup> a los 141 DDS ( $p<0,05$ ), en el estado fenológico lechoso masoso (Zadoks, 75-79). Los más altos rendimientos de forraje fueron obtenidos en las últimas fechas de corte (112 y 141 DDS), en comparación al rendimiento de

forraje obtenido entre los 77 y 84 DDS cuando el forraje era más joven. Esto coincide con lo reportado por Ramírez-Ordoñez *et al.* (2013), donde los rendimientos de forraje 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 forraje se obtiene en etapas anteriores a la madurez fisiológica. Los rendimientos obtenidos en este estudio, en madurez fisiológica, superan en 3.000 kg·ha<sup>-1</sup> a los reportados en otro estudio donde se evaluó la producción y calidad del forraje de siete variedades de avena en temporal, en el estado de Chihuahua (Ramírez-Ordoñez *et al.*, 2013). Por otro lado, un estudio realizado en diez localidades en condiciones de temporal encontró que la variedad Turquesa obtuvo los mayores rendimientos de forraje henificado con valores que van de 7.000 a 11.000 kg·ha<sup>-1</sup>, mientras que en la variedad Chihuahua varían entre 3.000 y 10.000 kg·ha<sup>-1</sup> (Villaseñor-Mir *et al.*, 2009). Por lo tanto, 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.

Los mayores rendimientos de avena Saia posiblemente están asociados a que es una especie de ciclo biológico más largo, por lo que presenta una mayor aptitud para acumular biomasa en comparación con Turquesa, que es de ciclo intermedio.

#### Componentes morfológicos

Los componentes morfológicos variaron de manera significativa conforme avanzó la edad de las plantas ( $p<0,05$ ). Se observó una relación positiva de los componentes tallo y material muerto conforme se incrementó la edad de las plantas ( $p<0,05$ ) (Figuras 1 y 2).

En el EIP1, el componente morfológico hoja fue el más

abundante en las primeras fechas de corte de la materia seca cosechada, originando la mayor relación hoja/tallo. La mayor cantidad de hojas se cosechó a los 77 DDS en Turquesa con 1.967 kg·ha<sup>-1</sup> y Saia con 1.216 kg·ha<sup>-1</sup>. A los 84 DDS, se encontró la mayor cantidad de material muerto. En Turquesa los pesos de tallos y hojas fueron similares (1.470 vs 1.457 kg·ha<sup>-1</sup>); mientras que para Saia el componente hoja siguió siendo mayoritario con respecto al tallo (1.651 vs 695 kg·ha<sup>-1</sup>).

En cuanto a la composición morfológica en el EIP2, los mayores rendimientos de hoja, combinados con la mayor relación hoja/tallo se encontraron a los 70 DDS para ambas variedades (Figura 2). Saia fue la que tuvo un mayor aporte de hojas al rendimiento (1.929 kg·ha<sup>-1</sup>), siendo diferente ( $p<0,001$ ) a Turquesa (1,192 kg·ha<sup>-1</sup>). A partir de los 84 DDS en Turquesa el peso de los tallos superó al de las hojas (1.428 vs 1.141 kg·ha<sup>-1</sup>), 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 kg·ha<sup>-1</sup>). De manera general, para Turquesa de los 91 hasta los 119 DDS, los componentes que tuvieron un mayor aporte al rendimiento fueron los tallos y las espigas; para Saia fue del día 98 al 141 DDS.

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 Turquesa. 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 que coincide con diversos estudios (Pérez Amaro *et al.*, 2004; Cal-

zada Marín *et al.*, 2014). 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, pueden estar relacionadas a las bajas temperaturas y mayor presencia de heladas en el primero (Tabla I). Al respecto, 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 relacionada 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 (Niu *et al* 1998; Juskiw *et al.*, 2000).

#### IAF, IL, altura y PC

En el experimento EIP1, las variables IAF, RI y altura se incrementaron conforme avanzó la edad de la planta (Figura 1), mientras que la proteína disminuyó considerablemente con la madurez ( $p < 0,05$ ). A los 84 DDS se encontraron los máximos IAF con 2,8 para Turquesa y 3,9 para Saia, coincidiendo con las máximas RI que fueron de 75 y 84% y con alturas de 54 y 50cm. Sin embargo, se encontró que para este ciclo, los mayores 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 está relacionado a que estos cortes se realizaron en el mes de febrero y se reportó una mayor incidencia de heladas (Tabla I).

De manera general, las variables IAF, RI y altura en el EIP2, para las dos 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. El máximo IAF para Turquesa fue de 3,3 con IL de 81% y altura de 62cm a los 84 DDS; mientras que para Saia fue de 8,0 con IL 93% y 67cm de altura a los 91 DDS ( $p < 0,05$ ). La máxima IL encontrada para Turquesa fue de 82% con 2,7 de IAF y 48cm de altura a los 77 DDS, mientras que para Saia se obtuvo un IL de 94%, con IAF de 5,1 y 57cm de altura a los 77 DDS. Por lo tanto, se puede observar que las fechas con IAF máximos son cercanas a las fechas con las máximas radiaciones interceptadas.

En cuanto al porcentaje de aporte de hoja, tallo, material muerto y espiga cuando se

observaron las máximas IL, para Turquesa fueron, respectivamente, de 63; 30; 7 y 0% con 20% de proteína cruda (Figura 2) y para Saia de 81; 17; 2 y 0% con 22% de proteína cruda. Sin embargo, en los últimos cortes, cuando se presentaron los mayores rendimientos de materia seca, los componentes hoja, tallo, material muerto y espiga variaron considerablemente resultando con 12; 49; 2 y 37% para Turquesa y 9; 64; 10 y 17% para Saia, respectivamente. Así mismo, los niveles de proteína cruda para ambas variedades, disminuyeron hasta 10 y 12% ( $p < 0,05$ ).

En trabajos realizados en pastos tropicales y templados (Hodgson, 1990; Da Silva y Hernández, 2010) se ha observado que el punto óptimo de cosecha es cuando las plantas alcanzan el 95% de intercepción luminosa y está relacionado con el mayor aporte de hojas al rendimiento. Este 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 Junior, 2007). La validez y el uso potencial del criterio de intercepción de la luz como una estrategia de defoliación fueron ratificados por Parsons y Penning (1988), quienes mencionan que el IAF crítico es cuando el 95% de luz incidente es interceptada por el dosel y la tasa de acumulación de forraje alcanza su máximo; es decir, el equilibrio entre los procesos de máximo crecimiento y menor senescencia permite la mayor tasa de acumulación neta de forraje. 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 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 requirieron mayores densidades de siembra;

sin embargo, en el EIP2 la fecha óptima de corte para forraje en Turquesa fue entre los 70 y 77 DDS por los más altos IAF e IL encontradas en el estado de inicio vaina engrosada o embuche (Zadoks: 40). En esta variedad es necesario evaluar en futuros estudios mayores densidades de siembra debido a que no se alcanzaron IL cercanas al 95%. Para Saia las fechas óptimas de corte se encuentran entre los 70 a 91 DDS, debido a que en este periodo se observan radiaciones interceptadas cercanas al 95%, alto IAF (4,5-8,0), alturas de entre 52 a 67cm y alta PC (14-21%) en el estado fisiológico de encañe (Zadoks: 35). Cabe señalar que los rendimientos encontrados en estas etapas, para ambas variedades, son menores que en etapas de mayor madurez; sin embargo, las plantas tienen gran capacidad para rebrotar, debido a la mayor presencia de yemas de crecimiento, por lo que se les puede realizar una o dos cosechas más. Al respecto, 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 de encañe, sin causar grandes reducciones en el rendimiento del rebrote y forraje total. Por lo anterior, es de suma importancia definir la etapa morfológica y fisiológica en la que se encuentra la planta forrajera al momento de la primera cosecha, 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 <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 ellas no permitió alcanzar el 95% de RI. Así mismo, el daño y muerte de hojas por bajas temperaturas

(Tabla I) redujo el área foliar, impidiendo alcanzar mayores valores de RI. Por ello es importante en estudios posteriores evaluar las densidades y fechas de siembra.

#### Conclusiones

La acumulación de forraje y los componentes tallo, material muerto y espigas están correlacionados de manera positiva con la mayor madurez de la planta, mientras que las hojas y la proteína cruda lo están de manera negativa. Los más altos IAF e IL se encontraron para la variedad Turquesa entre los 70 y 77 DDS y Saia entre 70 y 91 DDS, por lo que, con base en estos criterios, las variedades pueden cosecharse para forraje verde, proporcionando altos niveles de proteína. Desde el punto de vista de rendimiento total de biomasa se recomienda cosechar en el estado lechoso-masoso para ambas variedades, aunque con niveles menores de PC. La variedad con mejor aptitud forrajera fue Saia, ya que presentó mayor cantidad de hojas y por un periodo de tiempo más largo, lo que se vio reflejado en los mayores IAF e IL, cercanas a 95%. La radiación interceptada y el IAF pueden ser indicadores para determinar el momento óptimo de corte para forraje verde en estos cereales y si se correlacionan con la altura, ésta variable puede servir como un criterio práctico para la cosecha del forraje verde por parte del productor.

#### REFERENCIAS

- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU. 128 pp.
- Baron VS, 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.
- Calzada-Marín JM, Enríquez-Quiroz JF, Hernández-Garay A, Ortega-Jiménez E, Mendoza-Pedroza SI (2014) Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 5: 247-260.

- Cherney JH, Marten GC (1982) Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological, and anatomical determinants of quality. *Crop. Sci.* 22: 240-245.
- Curve Expert (2014) *Curve Expert Computer Software Vers 2.2* N.p. D.d. Web.
- Da Silva SC, Hernández GA (2010) Manejo del pastoreo en praderas tropicales. En Velasco-Zebadúa ME (Ed.) *Los Forrajes y su Impacto en el Trópico*. UNACH. Chiapas, México. pp. 63-95.
- Da Silva SC, Do Nascimento JD (2007) Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfo-fisiológicas e manejo do pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36: 122-138.
- Espitia-Rangel E, Villaseñor-Mir HE, 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. Méx. Cienc. Agric.* 3: 771-783.
- Fraschina J, Bainotti C, Salines J, Formica B (2000) *Evaluación de Variedades de Trigo en Siembra Directa*. Hoja Informativa. EEA Marcos Juárez, INTA. Uruguay. 4 pp.
- García E (1988) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 4ª ed. Instituto de geografía. UNAM. México. 217 pp.
- Hodgson J (1990) *Grazing Management. Science into Practice*. Longman. Harlow, RU. 204 pp.
- Juskiw PE, Helm JH, Salmon DF (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. *Proc. 22nd Int. Grassland Congress*. 15-19/09/2013. Sydney, Australia. pp. 15-19.
- Lemaire G (2001) Ecophysiology of grasslands: Dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. *Int. Grassland Congress 19*. Fesiq. São Paulo, Brasil. pp. 29-37.
- López-Castañeda C, Richards RA (1994) Variation in temperate cereals in rainfed environments I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Res.* 37: 51-62.
- Maloney TS, Oplinger ES, Albrecht KA (1999) Small grains for fall and spring forage. *J. Prod. Agric.* 12: 488-494.
- Mislevy P, Martín FG, Adjei MB, Miller JD (1997) Harvest management effects on quantity and quality of Erianthus plant morphological components. *Biomass Bioenergy* 13: 51-58.
- Niu JY, Gan YT, Zhang JW, Yang QF (1998) Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film. *Crop. Sci.* 38: 1562-1568.
- Parsons AJ, and Penning PD (1988) The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass Forage Sci.* 43: 15-27.
- Pérez-Amaro JA, Moya EG, Quiroz JFE, Carrillo ARQ, Pérez JP, Hernández GA (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 JJ, Villalobos-Villalobos G, Ortega-Gutiérrez JA (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.
- SAGARPA (2017) *Datos Estadísticos para el 2017*. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. (<http://www.sagarpa.gob.mx>).
- SAS (2009) *The SAS System. Release 9.1 for Windows*. SAS Institute, Inc. Cary, NC, EEUU.
- Sevilla GA, Pasinato A, García JM (2001) Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. *Arch. Latinoam. Anim. Prod.* 9: 91-98.
- Soil Survey Staff (2014) *Claves para la Taxonomía de Suelos*. 12ª ed. Natural Resources Conservation Service. USDA. Whashington, DC, EEUU. 410 pp.
- Villaseñor-Mir HE, 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. Méx.* 35: 487-92.
- Villaseñor-Mir HE, Espitia-Rangel E, Huerta EJ (2003) El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y aportaciones. En *60 Años de Investigación en el Campo Experimental Valle de México*. INIFAP. México. pp. 17-30.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.