

Nota técnica

## FENOLOGÍA, BIOMASA Y ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE CULTIVARES DE SORGO FORRAJERO EN VALLES ALTOS

Alejandra Pérez Hernández\*, Adrián Raymundo Quero Carrillo\*,  
José Alberto Salvador Escalante Estrada<sup>1</sup>\*, María Teresa Rodríguez González\*,  
Santiago Garduño Velázquez\*\*, Leonor Miranda Jiménez\*

**Palabras clave:** *Sorghum*; fenología; tasa de crecimiento; tasa de asimilación neta; índice de área foliar.

**Keywords:** *Sorghum*; phenology; growth rate; net assimilation rate; leaf area index.

**Recibido:** 22/05/17

**Aceptado:** 16/10/17

### RESUMEN

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa de descripción e interpretación del desarrollo vegetal, determinado por condiciones genético-ambientales. El objetivo fue conocer el desarrollo en 4 cultivares de sorgo forrajero (caña dulce, Silo miel, Esmeralda y Fortuna) mediante a acumulación de biomasa (BT), altura de planta (AP), nudos por planta (NNP), índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y tasa de asimilación neta (TAN), con el fin de determinar la producción y momento óptimo de corte, bajo condiciones de secano en el Altiplano Central, Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. El diseño experimental fue bloques al azar en parcelas divididas, con arreglo factorial. Por muestreo, se tomó una planta de cada cultivar con 4 repeticiones y se midió BT, AP, NNP y IAF a 115 días después de la siembra (dds). La caña dulce presentó mayor AP (202 cm), IAF (3,8) y BT (14,35 t.ha<sup>-1</sup>); en contraste,

### ABSTRACT

**Phenology, biomass and growth analysis in forage sorghum cultivars for highplateaus.** Growth analysis is a quantitative approach for description and interpretation of life cycle in plants, defined by genetic and environmental factors interaction. The objective of the study was to quantify total biomass accumulation for plant height (AP), total biomass (BT), leaf area index (IAF), crop growth rate (TCC), and net assimilation rate (TAN) for 4 forage sorghum cultivars: Caña dulce, Silo miel, Esmeralda, and Fortuna. The study was conducted under rain-fed conditions, and unsuitable soils for conventional agriculture, at the central high plateau area, Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. The experimental design was a randomized block split-plots design with factorial arrangement, and 4 replications. To 25, 55, 85 and 115 days after sowing (dds) AP, BT, IAF, TRC, and TAN showed significant differences among cultivars

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: jasee@colpos.mx

\* Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas-Campus Montecillo, Estado de México.

\*\* Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Fortuna presentó menor AP (90 cm), BT (3,96 t.ha<sup>-1</sup>) e IAF (2,1). La caña dulce en el periodo 25-55 dds, presentó mayores TCC (24,2 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) y TAN (10,2 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>); por su parte Fortuna presentó menor TCC (5 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) y TAN (5,51 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). La BT se correlacionó positivamente con AP, IAF, TCC ( $p \leq 0,001$ ) y TAN, con TCC ( $p \leq 0,001$ ). El mejor cultivar para producción de forraje y condiciones del estudio fue Caña dulce; lo anterior, debido a que presentó los mejores parámetros a lo largo del ciclo del cultivo para AP, NNP, BT, IAF, TCC y TAN. La máxima acumulación de biomasa se observó a 115 dds y coincide con la etapa fenológica reproductiva en inicio de floración, con plantas de 200 cm de longitud; posteriormente, tanto TAN (0,1 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) como el IAF (3,9), TCC (0,3 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) disminuyeron considerablemente; por tanto, el momento óptimo de corte es a 115 dds en el cultivar: Caña dulce.

( $p \leq 0,05$ ). Caña dulce showed the greater AP (202 cm), LAI (3.8) and BT (14.35 ton.ha<sup>-1</sup>); in contrast to Fortuna with AP (90 cm) and BT (3.96 ton.ha<sup>-1</sup>) a 115 dds. For the 25-45 dds period Caña dulce showed higher TCC (24.2 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) and TAN (10.2 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>); on the other hand, Fortuna showed lower TCC (5 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) and TAN (5.51 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>). The BT was positively correlated with AP, IAF, TCC ( $p \leq 0.001$ ), and TAN with TCC ( $p \leq 0.001$ ). The best variety for forage production under studied conditions was Caña dulce due to higher value for parameters shown for AP, NNP, BT, IAF, TCC, and TAN during the whole cropping cycle. Maximum total biomass accumulation was registered 115 dds, during anthesis stage with AP of 200 cm, TAN (0.1 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>), IAF (3.9), TCC (0.3 gm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>), followed by a marked reduction, hence, the optimal moment for forage harvest occurred to 155 dds for the best cultivar: Caña dulce.

## INTRODUCCIÓN

*Sorghum bicolor* (L.) Moench. (Sorgo) es una gramínea C<sub>4</sub>, originaria de África, que se utiliza como forraje para rumiantes y resistente a sequía (Wang *et al.* 2014). Es considerado el quinto cereal más cultivado del mundo (Dinesh *et al.* 2016). Se siembra bajo condiciones de riego y lluvias estacionales (Dahlberg *et al.* 2011). Similarmente, es un recurso valioso para ganaderos tropicales y atractivo para ganaderos de altiplanos templados intertropicales; lo anterior, debido a su potencial de producir más de 2 cortes a intervalos de varias semanas entre ellos, mejor adaptación a condiciones desafiantes de producción, en comparación con maíz y su capacidad de crecimiento a temperaturas elevadas. Su forraje puede consumirse en pastoreo, henificado o ensilado (Reyes *et al.* 2009). La producción de sorgo forrajero en México varía de 13 a 30 t.ha<sup>-1</sup> de materia seca (MS) (Martínez *et al.* 2005, Bolaños *et al.* 2012, Rocateli *et al.* 2012).

En México, en el ciclo agrícola 2015, se sembraron 192 mil ha de sorgo con producción de 3,8 millones de t MS, solamente menor a aquella para avena forrajera, maíz forrajero y alfalfa. Los principales estados productores por superficie cultivada fueron Sinaloa, Chihuahua, Coahuila y Durango, con 38, 33, 30, 20 mil ha respectivamente, 63% de la superficie cultivada y rendimiento promedio de 19,7 t.ha<sup>-1</sup> MS (SIAP 2018).

La fenología vegetal indica eventos periódicos naturales involucrados en su ciclo: emergencia, aparición de hojas y órganos reproductivos (Solórzano 2007), etapas que se registran cuando cada fase fenológica ocurre en 50% de la población. El ciclo biológico cambia por efecto del genotipo, factores climáticos y su interacción (Soto *et al.* 2009). El producto de mayor interés en el sorgo es la cantidad de MS cosechada; al respecto Calzada *et al.* (2014) consideran esta apreciación incorrecta, debido a que la cuantificación final de MS no permite conocer el efecto de factores ambientales en la capacidad productiva

del forraje, a través de su ciclo biológico. Para la comprensión de los factores fisiológicos que determinan el rendimiento, se debe discriminar entre cultivares y manejo agronómico; para lo cual, resultan útiles las metodologías de análisis de crecimiento (ANCRE) aplicadas por etapa fenológica del cultivo, lo cual es importante para tomar decisiones basadas en el desarrollo fenológico y determinar el momento óptimo de cosecha. Lo anterior, debido a la acumulación de carbohidratos estructurales que disminuyen su calidad conforme avanza la madurez del forraje (Araya y Boschini 2005, Egli 2017).

El ANCRE permite definir la relación entre crecimiento vegetal (BT) e índice de área foliar (IAF) para cuantificar la estructura de la cubierta vegetal de los cultivos (Rosenthal y Vanderlip 2004, Narayanan *et al.* 2013), al explicar el comportamiento biológico mediante parámetros como tasa de crecimiento del cultivo (TCC), que mide la ganancia en peso de una población de plantas por unidad de área de suelo y unidad de tiempo; tasa media de asimilación neta (TAN), como indicador de la eficiencia fotosintética del dosel (Escalante y Kohashi 2015).

En valles altos (1700 a 3000 msnm) intertropicales, estudios sobre el comportamiento productivo del sorgo son escasos y estos se han realizado enfocados a resistencia a frío (León *et al.* 2009), pero no a la cuantificación del crecimiento. En estos valles, la temperatura y disponibilidad de agua apropiada para crecimiento y rendimiento de los cultivos limita la siembra a la segunda semana de abril, con un riego inicial para lograr la emergencia, dada la probabilidad de heladas y el retraso de lluvias hasta mediados de junio. Lo anterior, limita la duración del crecimiento y, en consecuencia, la producción total de MS. El objetivo del estudio fue conocer el ciclo de desarrollo de 4 cultivares de sorgo, acumulación de biomasa, altura de planta, número de nudos por planta, índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta en el tiempo, con estos datos determinar el momento óptimo de corte, bajo condiciones de

secano con riego único a la siembra, en el Altiplano Central de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el área experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 51' O, 2250 msnm), clima BS<sub>1</sub>, el menos seco de los áridos, con lluvias en verano, temperatura media anual 14,6°C, 559 mm de precipitación anual (García 2005), suelo franco arcilloso, CE 3,44 dSm<sup>-1</sup>, alcalino, pH 9,0 y pobre en materia orgánica 1,29%. Se sembró el 23 de abril de 2014, con un riego (lámina 40 mm), para emergencia de plántulas. Los tratamientos consistieron en relacionar la fenología y la cuantificación del crecimiento del Sorgo en 4 cultivares forrajeros: Caña dulce, Silo miel, Esmeralda y Fortuna. Las unidades experimentales consistieron de 5 surcos de 5 m de longitud y como parcela útil 3 m de los 3 surcos centrales. El diseño experimental fue bloques completos al azar, mientras que el arreglo de tratamientos fue en parcelas divididas, con un arreglo factorial, en el que se tomó en cuenta los muestreos y cultivares, la siembra se realizó manualmente con depósito continuo de semilla (chorrillo), distancia entre surcos de 70 cm; 25 días post-siembra (dds) se realizó aclareo manual, hasta alcanzar una densidad de 17 plantas m<sup>-2</sup>, tal como se siembra en la región. A 40 dds, se aplicaron 80 kg.ha<sup>-1</sup> N en el primer cultivo, control de maleza manual, no se aplicó ningún pesticida al cultivo. Se registró la temperatura semanal máxima (T máx; °C), mínima (T mín; °C) y la suma semanal de precipitación (PP; mm), durante todo el ciclo del cultivo; esta información fue proporcionada por la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Al realizar las visitas a campo se registró la fase fenológica, cuando 50% de las plantas presentaban el estadio correspondiente, se registraron los días a ocurrencia de etapa vegetativa y reproductiva (Solórzano 2007). Las evaluaciones fueron periódicas y destructivas, se tomó una planta por unidad experimental, se cortó a ras de suelo para medir AP desde la

parte basal de la planta hasta la última hoja, o bien, inflorescencia; mientras que el número de nudos se contabilizó al retirar hojas y vainas del tallo, por exposición de nudos de los fitómeros. El área foliar se determinó con integrador de área foliar LI-COR 3100 (área en  $\text{cm}^2$ ). Para determinar MS, la planta se separó en componentes morfológicos: hoja, tallo, inflorescencia y material muerto, y se sometieron a secado hasta alcanzar peso constante, en estufa de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$  por 72 horas; posteriormente, se pesó en balanza analítica. Se calculó el índice de área foliar (IAF) a partir de la siguiente relación (Apáez *et al.* 2011):  $\text{IAF} = (\text{AF} / \text{NP}) * \text{DP} / 10,000 \text{ cm}^2$ , donde AF = área foliar ( $\text{cm}^2$ ); NP= número de plantas muestreadas y DP= número de plantas por  $\text{m}^2$ . Los cálculos se realizaron para las fechas de corte: 24, 55, 84, y 115 dds; tasa media de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC), mediante:  $\text{TAN} = [(\text{PS}_2 - \text{PS}_1) / (\text{AF}_2 - \text{AF}_1)] / [(\ln \text{AF}_2 - \ln \text{AF}_1) / (\text{T}_2 - \text{T}_1)]$ , donde:  $\text{PS}_2$  y  $\text{PS}_1$  representan el peso de MS del cultivo,  $\ln \text{AF}_2$  y  $\ln \text{AF}_1$  logaritmo natural del área foliar en el tiempo  $\text{T}_2$  y  $\text{T}_1$ , respectivamente y, finalmente  $\text{TCC} = [(\text{PS}_2 - \text{PS}_1) / (\text{T}_2 - \text{T}_1)]$ , donde:  $\text{PS}_2$  y  $\text{PS}_1$  representan peso de MS de la planta en el tiempo

$\text{T}_2$  y  $\text{T}_1$ , respectivamente (Escalante y Kohashi 2015). A las variables en estudio se les aplicó análisis de varianza y aquellas con diferencia significativa, la separación de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) y análisis de correlación de Pearson, con el paquete para análisis estadístico InfoStat (Di *et al.* 2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Elementos de clima.** La temperatura fluctuó de  $2^\circ\text{C}$  a  $31^\circ\text{C}$  ( $\text{T}_{\text{máx}}$ ) y  $5^\circ\text{C}$  a  $14^\circ\text{C}$ . ( $\text{T}_{\text{mín}}$ ) durante el ciclo de desarrollo del sorgo. La PP total fue 765 mm; 90% (624 mm), de los cuales ocurrieron en el ciclo del cultivo: 55% (377 mm) durante la etapa vegetativa y 36% (247 mm) durante la reproductiva. Bueno *et al.* (2009), reportan que el sorgo requiere lluvias moderadas (450-500 mm, óptimo entre 600-750 mm) y temperatura promedio de  $27^\circ\text{C}$ , para crecimiento. En el sitio experimental, el cultivo sufrió estrés hídrico de mayo hasta mediados de junio, periodo con precipitación de 122 mm y temperaturas máximas de  $32^\circ\text{C}$ , lo que provocó un atraso en la etapa vegetativa de 4 semanas en el cultivar Fortuna (Figura 1).

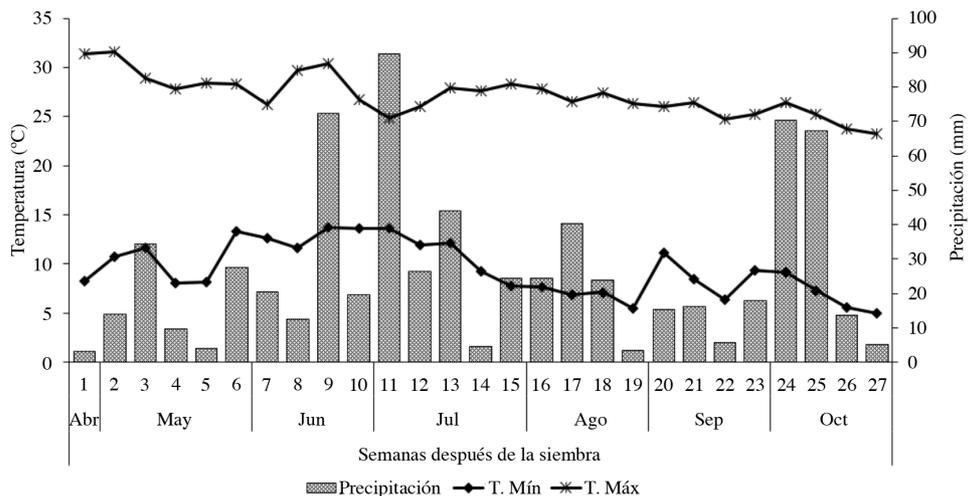


Fig. 1. Media semanal de temperaturas máximas y mínimas y suma semanal de precipitación, durante el desarrollo de 4 cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

**Etapas fenológicas.** En las primeras fases fenológicas (Solórzano 2007; V-1, V-2) los 4 cultivares mostraron desarrollo similar; sin embargo, tras incrementarse los días (grados calor acumulados) Fortuna se retrasó en sus fases fenológicas. La etapa vegetativa duró, en promedio, 98 días y, la reproductiva, 72 días; mientras que la fase de emergencia (V-I) a grano masoso (R-9) duró de 158 a 189 dds; lo anterior puede ser indicativo de su mayor necesidad de horas calor para

desarrollarse adecuadamente. Los cultivares precoces fueron Esmeralda, Caña dulce y Silo miel con 158, 169 y 167 dds; mientras que Fortuna presentó ciclo más largo (189 dds; Cuadro 1). Esmeralda alcanzó madurez vegetativa y reproductiva más rápido, debido a que fue genéticamente seleccionado para doble propósito (grano y forraje); mientras que cultivares para grano presentan ciclo de cultivo más corto, respecto a cultivares seleccionados específicamente para forraje.

Cuadro 1. Presentación de etapas fenológicas en 4 cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

Cultivares	Etapa vegetativa (dds)					Etapa reproductiva (dds)			
	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	R-6	R-7	R-8	R-9
Caña dulce	8	35	48	74	84	95	106	137	169
Silo miel	8	35	48	74	84	95	106	137	167
Esmeralda	8	34	46	70	80	90	102	129	158
Fortuna	8	35	58	87	102	114	125	160	189

Etapas fenológicas: vegetativas (V-1=Emergencia, V-2=Tercer hoja ligulada, V-3=Quinta hoja ligulada, V-4=Octava hoja ligulada, V-5=Hoja bandera visible) y reproductivas (R-6=Panícula extendida dentro de la vaina de hoja bandera, R-7=Floración, R-8=Grano masoso suave, R-9=Grano masoso duro).

Soto y Hernández (2012), al estudiar la fenología de sorgo cultivar ISIAP-Dorado, encontraron que la etapa de emergencia a floración fluctuó de 56 a 71 dds y la de floración a madurez, de 35 a 37 dds. González *et al.* (2005) reportan 57-69 dds a inicio de floración en 9 cultivares de sorgo forrajero. Mohankumar *et al.* (2013), al evaluar 48 líneas de sorgo, reportan de 67 a 95 días a floración. La duración de las etapas fenológicas del sorgo está determinada por genotipo y ambiente dentro de los cuales, temperatura y precipitación muestran mayor influencia y pueden atrasar o alargar el ciclo de vida de las plantas (Solórzano 2007). Las condiciones de temperatura del experimento resultaron en mayor duración de los ciclos vegetativos y

reproductivos, respecto a aquella reportada por la literatura, principalmente de valles bajos con mayor temperatura media.

**Altura de planta (AP) y número de nudos por planta (NNP).** En las fechas evaluadas, altura de planta en centímetros (AP) y número de nudos por planta (NNP), presentaron diferencias significativas entre cultivares ( $p < 0,005$ ; Cuadro 2). A 55 y 115 dds, Caña dulce presentó mayor AP y NNP, seguido de Silo miel, Esmeralda y Fortuna con el valor más bajo. Amador y Boschini (2000), para *Sorghum alnum*, reportan AP de 274 cm a 150 dds; Afzal *et al.* (2012) reportan AP de 194 cm en sorgo forrajero, a 150 días.

Cuadro 2. Altura de planta (cm) y número de nudos por planta a 55 y 115 dds, en 4 cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

Cultivares	AP(cm)	NNP	AP(cm)	NNP
	55 dds		115 dds	
Caña dulce	111 a	3 a	202 a	8 a
Silo miel	92 b	3 a	142 b	6 a
Esmeralda	94 ab	2 ab	110 c	6 a
Fortuna	63 c	1 b	90 c	3 b
Media	90,0	2,3	136,0	5,8
CV (%)	9,3	23,5	9,4	19,1
	***	***	***	***

Literales distintas en la misma columna indican diferencias significativas, Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) =  $p \leq 0,05^*$ ;  $0,01^{**}$ ;  $0,001^{***}$ ; NS, no significativo; CV, coeficiente de variación; AP, altura planta; NNP, número de nudos por planta; cm, centímetros.

**Índice de área foliar (IAF).** El IAF indica el crecimiento de hoja en el tiempo por unidad de superficie (Escalante y Kohashi 2015); a mayor IAF, mayor acumulación de MS. El IAF de los cultivares en estudio se incrementó conforme avanzó la etapa de crecimiento, hasta un máximo a 115 dds (Figura 2). Tan temprano como 25 dds, los cultivares que

destacaron en mayor IAF fueron Caña dulce y Silo miel; mientras que Fortuna presentó el IAF más bajo en todo el ciclo. Caña dulce presentó el IAF más alto (3,79) a 115 dds. Shenkut *et al.* (2013) evaluaron un cultivar de sorgo Gambella-1107 y reportan IAF en etapa vegetativa (4,2), floración (4,9) y madurez fisiológica (1,6).

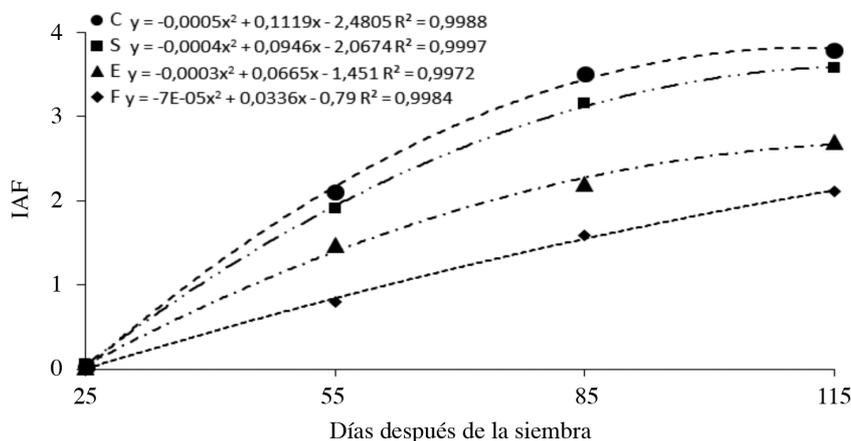


Fig. 2. Dinámica del índice de área foliar (IAF), durante el desarrollo de 4 cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

**Biomasa (BT, t.ha<sup>-1</sup>).** En los cultivares bajo estudio, BT se incrementó conforme avanzó la estación de crecimiento. La máxima BT se observó a 145 dds en todos los cultivares. Los cultivares Caña dulce, Silo miel y Esmeralda presentaron su máximo crecimiento del día 55 al 85 dds, con acumulación de 7,24, 4,90 y 3,05 t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que el cultivar Fortuna, fue de 86-115 dds; lo anterior está relacionado con la etapa de elongación de entrenudos en sorgo, debido a que a partir de la quinta hoja ligulada, el sorgo presentó un aumento significativo

en AP, tal como lo reportan Sher *et al.* (2013). Caña dulce presentó mayor BT en menor tiempo ( $p \leq 0,05$ ), al alcanzar su máxima producción a 115 dds, con 14,27 t.ha<sup>-1</sup> (Figura 3); lo anterior es importante debido a que entre más corto el ciclo del cultivo y mayor producción de BT, se pueden realizar mayor número de cortes. Vargas (2005), al evaluar 15 cultivares de sorgo reporta de 3,3 a 6,1 t.ha<sup>-1</sup> de MS. Bolaños *et al.* (2012), obtuvo 17,1; 16,1 y 13,8 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en sorgo forrajero Sweet Virginia, Big Kahuna y Sucro-sorgo, bajo condiciones de trópico húmedo, respectivamente.

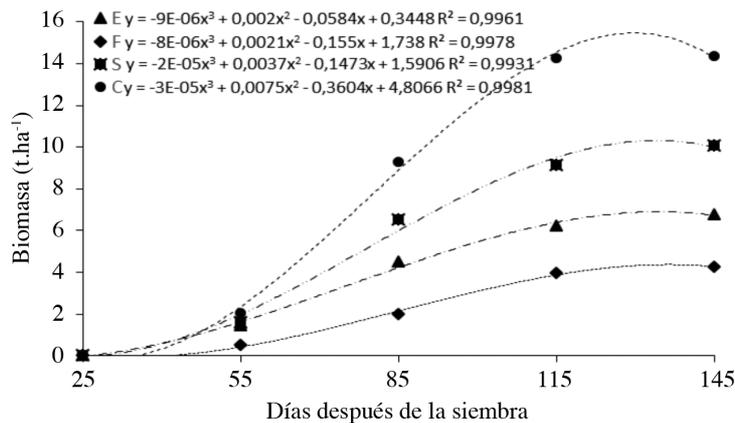


Fig. 3. Dinámica de producción de biomasa (t.ha<sup>-1</sup>), de 4 cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

**Tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>).** Los cultivares Caña dulce, Silo miel y Esmeralda presentaron máxima TCC de 25-55 dds con 24, 16 y 10 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, respectivamente; Fortuna presentó máxima TCC entre 56-85 dds con 6,5 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> (Cuadro 3). Debido a que el cultivar Caña dulce presentó mayor TCC, propició mayor acumulación de BT a 115 dds, con 14,27 t.ha<sup>-1</sup> (Figura 3). Al respecto, Carrillo y Ruiz (2004) reportan bajo condiciones de riego y hasta antes de floración TCC de 14, 18, 19, 24 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>. Por otra parte, Fazeli *et al.* (2012) evaluaron la producción de pasto Sudán (*Sorghum sudanense*)

en regiones áridas y semiáridas con riego a una densidad de siembra 37 plantas por m<sup>2</sup>, reportan TCC de 40 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, esta tasa de crecimiento se debe a las condiciones de riego, porque la planta no se somete a estrés y esto le permite acumular materia seca de manera eficiente.

**Tasa media de asimilación neta (TAN, g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>).** En los cultivares bajo estudio, la TAN disminuyó conforme avanzó el ciclo de crecimiento (Cuadro 3). Los cultivares Caña dulce, Esmeralda, Fortuna y Silo miel presentaron su máxima TAN en el periodo 0-24

dds con 17, 14, 12, 10 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, en los periodos siguientes, la TAN disminuyó en todos los cultivares. Sin embargo, el cultivar Caña dulce, debido a su eficiencia en etapas tempranas, acumuló mayor cantidad de BT. Los cultivares Silo miel y Esmeralda no mostraron diferencias significativas en ningún periodo de crecimiento; al respecto Carrillo y Ruiz (2004) evaluaron 6 cultivares de sorgo forrajero, con

riego, para ensilado y cortado antes de floración (63 dds), por lo que se reportaron valores de TAN en el cultivar Sweet Sioux de 6,7 y 7 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> para DineaMite para un periodo 0-63 dds. Mientras que Sher *et al.* (2013), en un experimento bajo condiciones controladas en fase vegetativa, encontraron para los cultivares JS-202, Chakwal S y JS-263, TAN de 5,8; 5,2 y 4,1 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> respectivamente.

Cuadro 3. Tasa de crecimiento del cultivo TCC (g m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>) y tasa media de asimilación neta TAN (g m<sup>2</sup>d<sup>-1</sup>), en 4 cultivares de sorgo forrajero en Texcoco, México.

Cultivares	Periodo (dds)	TCC (g m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	TAN (g m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )
Caña dulce	0-24	6,8 cd	17,3 a
	25-55	24,2 a	10,2 c
	56-85	16,5 ab	4,5 def
	86-115	0,28 d	0,08 h
Silo miel	0-24	5,3 cd	10 c
	25-55	16,4 ab	6,7 d
	56-85	8,7 bcd	2,5 efgh
	86-115	3,1 cd	0,7 gh
Esmeralda	0-24	4,8 cd	14,2 ab
	25-55	10,2 bc	5,6 de
	56-85	5,7 cd	2,3 fgh
	86-115	1,8 cd	0,5 gh
Fortuna	0-24	1,6 cd	11,5 bc
	25-55	5 cd	5,5 def
	56-85	6,5 cd	3,6 defg
	86-115	0,9 d	0,4 gh
CV		37,8	20,8
Cultivar		***	***
Periodo		***	***
Cultivar*Periodo		***	***

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según Tukey ( $\alpha=0,05$ )= p $\leq$  0,05\* 0,01\*\* 0,001\*\*\*. CV: coeficiente de variación.

**Análisis de correlación.** La BT presentó alto grado de correlación con IAF, AP, NNP y TCC (Cuadro 4). Lo anterior, indica que para lograr mayor BT se requiere mayor tamaño y duración de la maquinaria fotosintética, TCC más alta, generada por plantas de mayor altura y mayor número de nudos. Relaciones semejantes

entre BT y IAF han sido reportadas en pasto sudán por Fazeli *et al.* (2012). Asimismo, las correlaciones positivas significativas entre IAF con AP y NNP, indican que se requiere plantas de mayor altura para lograr mayor tamaño y duración del dosel vegetal; por tanto una TAN más alta, conduce a mayor TCC.

Cuadro 4. Análisis de correlación de Pearson a 85 dds, entre BT, IAF, TAN, TCC, AP y NNP, en cultivares de sorgo forrajero Texcoco, México.

	BT	IAF	TAN	TCC	NNP
IAF	0,96***				
TAN	0,31	0,27			
TCC	0,77***	0,75***	0,93***		
NNP	0,79***	0,82***	0,11	0,54*	
AP	0,91***	0,89***	0,44*	0,82***	0,84***

Significancia de correlación  $p \leq 0,05^*$   $0,01^{**}$   $0,001^{***}$

## CONCLUSIONES

Los cultivares de sorgo forrajero presentaron diferencias en ocurrencia de fases fenológicas, biomasa, altura de planta, índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta. El cultivar Esmeralda presentó el ciclo de cultivo más corto y Fortuna el más tardío. El cultivar Caña dulce presentó la mayor producción de biomasa, se recomienda cortar a 115 dds, debido a máxima acumulación de biomasa, altura de planta, índice área foliar, tasa media de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo; estas variables se correlacionan positivamente con el rendimiento del cultivo; por tanto, para las condiciones climáticas de Montecillo, se recomienda el cultivar Caña dulce.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca de posgrado otorgada a Alejandra Pérez Hernández (506812), lo que permitió la realización de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Afzal, M; Ahmad, A; Ahmad, AU. 2012. Effect of nitrogen on growth and yield of sorghum forage (*Sorghum bicolor* (L.) Moench CV). Under three cuttings system. Cercetări Agronomice în Moldova 45(4):57-64.
- Amador, AL; Boschini, C. 2000. Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) para alimentación animal. Agronomía Mesoamericana 11(2):79-84.

- Apáez, BP; Escalante, EJ; Rodríguez, GM. 2011. Crecimiento y rendimiento del frijol chino en función del tipo de espaldera y clima. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(3):307-315.
- Araya, MM; Boschini, FC. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 16(1):37-43.
- Bolaños, AE; Claude, EJ; Guillaume, A. 2012. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café\*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(2):441-449.
- Bueno, G; Cordovés, M; Delgado, G. 2009. Sorgo dulce: sus potencialidades productivas. ICIDCA. Sobre sus derivados de la caña de azúcar 43(3):15-21.
- Calzada, MJ; Enríquez, QJ; Hernández, GA; Ortega, JE; Mendoza, PS. 2014. Análisis de crecimiento del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 5(2):247-260.
- Carrillo, JC; Ruiz, J. 2004. Producción de forraje en sorgo y mijo: variables de crecimiento. *Agronomía Mesoamericana* 15(1):69-76.
- Dahlberg, J; Berenji, J; Sikora, V; Latkovic, D. 2011. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica* 56:85-92.
- Dinesh, J; Vijaya, S; Van, OE; Mace, E; Jordan, D; Hammer, G. 2016. *Genetic manipulation of root system architecture to improve drought adaptation in Sorghum*. In: *The Sorghum Genome*. Cham, Switzerland, Springer. p. 207-226.
- Di, RJ; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 p.
- Egli, DB. 2017. Seed biology and yield of grain crops. 2<sup>nd</sup> Edition. CABI. Wallingfor, UK. 232 p.
- Escalante Estrada, JA; Kohashi, SJ. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 84 p.
- Fazeli, RM; Yarnian, FM; Rahimzadeh, KF. 2012. Effect of polymer and irrigation regimes on matter yield and several physiological traits of forage sorghum. *African Journal of Biotechnology* 11(48):10834-10840.
- García, EL. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta Edición. Ciudad de México, México, UNAM. 217 p.
- González, TR; Sequera, WY; Graterol, EY. 2005. Comportamiento de nueve cultivares de sorgo forrajero en Portuguesa, Venezuela. *Pastos* 35(2):151-162.
- León, VH; Mendoza, OL; Castillo, GF; Cervantes, ST; Martínez, GA. 2009. Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis. *Agrociencia* 43(6):609-623.
- Martínez, VJ; Silva, RS; Cuellar, VE. 2005. Guía para cultivar sorgo forrajero de riego para pastoreo, verdeo y henificado en el norte y centro de Coahuila. Folleto para productores N°. 7. Coahuila, México. Inifap. 10 p.
- Mohankumar, HK; Ramasamy, P; Robert, MA; Thomas, JH; Scott, RB; Christopher, RL. 2013. Analyses of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) lines and hybrids in response to early-season planting and cool conditions. *Can. J. Plant Sci* 93:773-784.
- Narayanan, S; Aiken, MR; Vara, PP; Zhanguo, X; George, P; Jianming, Y. 2013. A simple quantitative model to predict leaf area index in sorghum. *Crop Ecology & Physiology* 106(1):219-226.
- Reyes, N; Tito, FB; Mena, N; Cardona, J; Pezo, D. 2009. Elaboración y utilización de ensilados en la alimentación del ganado bovino. Primera edición. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Managua, Nicaragua. (Serie técnica. Manual técnico / CATIE; N°. 91). 98 p.
- Rocateli, AC; Raper, RL; Balkcom, KS; Arriaga, FJ; Bransby, DI. 2012. Biomass sorghum production and components under different irrigation/tillage systems for the southeastern U.S. *Industrial Crops and Products an international Journal* 36(1):589-598.
- Rosenthal, WD; Vanderlip, RL. 2004. Simulation of individual leaf areas in grain sorghum. *Agronomy Sciences* 24(8):493-501.
- Shenkut, A; Tesfaye, K; Abegaz, F. 2013. Determination of water requirement and crop coefficient for sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at Melkassa, Ethiopia. *Science, Technology and Arts Research Journal* 2(3):16-24.
- Sher, A; Barbanti, L; Ansar, M; Azim, MM. 2013. Growth response and plant water status in forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivars subjected to decreasing levels of soil moisture. *Australian Journal of Crop Science* 7(6):801-808.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México). 2018. Avance de Siembras y Cosechas, resumen por cultivo (Sorgo). Ciudad de México, México. Consultado 23 feb. 2018. Disponible en [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenDelegaciondo](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegaciondo)

- Solórzano, EV. 2007. Guías fenológicas para cultivos básicos. México DF, Ed. Trillas. 152 p.
- Soto, CF; Hernández, CN. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. ISIAP Dorado). Cultivos Tropicales 33(2):50-55.
- Soto, F; Plana, R; Hernández, N. 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum* ssp. ativum) y triticale (*Triticum secale* Wittmack) y su relación con el rendimiento. Cultivos Tropicales 30(3):32-36.
- Vargas, RF. 2005. Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp*). Agronomía Mesoamericana 16(2):215-223.
- Wang, YH; Upadyaya, HD; Kole, C. 2014. Genetics, Genomics and Breeding of Sorghum. CRC Press. Taylor & Francis Group. 336 p.

