

NOTA TÉCNICA

PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN SORGO Y MIJO: VARIABLES DE CRECIMIENTO¹

José C. Carrillo², Jaime Ruiz³

RESUMEN

Producción de forraje en sorgo y mijo: variables de crecimiento. Para identificar cultivares de sorgo y mijo con alta producción de materia seca (PMS) bajo condiciones de riego, y los posibles determinantes del rendimiento, se evaluaron seis variedades comerciales de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) y una de mijo perla (*Pennisetum americanum*), además de seis líneas de este cultivo provenientes del International Crop Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India. Se determinaron las tasas de crecimiento del cultivo (TCC), tasas de asimilación neta (TAN) y tasas de crecimiento relativo (TCR). La PMS mostró correlaciones positivas y altamente significativas con las TCC en ambos cortes, pero para el primer corte no existieron correlaciones significativas entre PMS y los otros dos parámetros derivados por análisis de crecimiento. Solo se observó una correlación significativa (-0,730) entre PMS y TAN en el segundo corte. La TCC del segundo corte estuvo altamente correlacionada ($r = 0,932$) con el índice de área foliar (IAF), mas no la del primer corte. La mayor correlación observada ($r = 0,763$) para la TCC del primer corte fue con la altura al momento del corte. Para ambos cortes, el IAF y el área foliar específica se correlacionaron de manera directa y altamente significativa con PMS, mientras que con la razón de peso foliar la correlación fue negativa ($r = -0,784$). Se concluyó que las TCC fueron las que más afectaron el rendimiento de forraje seco.

ABSTRACT

Forage production in sorghum and millet: growth variables. Six commercial varieties of sorghum (*Sorghum vulgare*) and one of millet (*Pennisetum americanum*), as well as six millet lines from The International Crop Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India, were evaluated to identify materials of sorghum and millet suitable for forage production during the spring-summer period, and to determine the determinants of crop yield. Crop Growth Rates (CGR), Relative Growth Rates (RGR) and Net Assimilation Rates (NAR) were estimated. Total Dry Matter (TDM) was positively and highly correlated to CGR in both harvests, but TDM was not significantly correlated with RGR or NAR during the first harvest. The only significant correlation during the second harvest was between TDM and NAR (-0.730). CGR in the second harvest was highly correlated ($r = 0.932$) to Leaf Area Index (LAI) during this harvest, but not during the first one. The largest correlation observed for CGR during this harvest was with crop height at first harvest ($r = 0.763$). For both harvests LAI and Specific Leaf Area correlated directly with TDM in a highly significant manner, while Leaf Weight Ratio correlated inversely TDM. It was concluded that CGR was the main determinant of dry forage yield.



INTRODUCCIÓN

En la región de los valles centrales de Oaxaca, debido al incremento de los hatos ganaderos y a la inci-

dencia frecuente de sequías, se estima un déficit anual de más de 300.000 t de forraje. La deficiencia más crítica ocurre en el período primaveral, dada la ausencia de lluvias y a la escasez de agua para riego (López *et al.*

¹ Recibido para publicación el 9 de diciembre del 2003.

² ITAO, Nazareno Xoxocotlán, Oax. Apdo. Postal 263, CP 68000. Correo electrónico: jcarrillo_rodriguez@hotmail.com

³ CIIDIR, OAXACA, Calle Hornos 1003, Sta. Cruz Xoxocotlán, Oax.México. CP 71230. Correo electrónico: jvega@ipn.mx

1992). Por esta razón, se requiere evaluar la capacidad de producción de materia seca y de adaptación a las condiciones ambientales de la región de distintas especies forrajeras.

La cantidad de materia seca producida por una planta es dependiente de una amplia gama de factores ambientales y genéticos. Dentro de los ambientales, se incluye a la luz, CO₂, temperatura, humedad disponible, y nutrientes, mientras que en los genéticos se incluye al tipo de fotosíntesis, la estructura del dosel y el índice de área foliar (Hopkins 1999). Sin embargo, la deficiencia de humedad es uno de los principales factores que a nivel mundial limitan los rendimientos, aún en zonas templado-húmedas (Raper y Kramer 1983). Bajo condiciones de buena humedad del suelo, pero alta demanda evapotranspirativa, la conductividad de las hojas y su tasa fotosintética pueden ser disminuidas (Hirasawa y Hsiao 1999).

Los mijos (*Panicum miliaceum*, *Setaria italica* y *Pennisetum americanum*) se reconocen como especies resistentes a sequía, ya sea por mecanismos de escape o de tolerancia (Kramer 1980, Turner y Jones 1980, Tapia 1985). El sorgo destaca también por su alta tolerancia a la sequía, especialmente en la etapa vegetativa, pues puede recuperarse de sequías impuestas incluso en la etapa de diferenciación floral sin menoscabos en el rendimiento (Castro *et al.* 2000).

Uno de los principales indicadores de la bioproduktividad de un ecosistema o cultivo es la producción primaria neta o el rendimiento total. Sin embargo, para una comprensión de los causales de tipo fisiológico que determinan la producción de materia seca debido a diferencias en variedades, cultivos o en manejo agronómico, se requiere aplicar el análisis del crecimiento (Beadle 1988). Este conjunto de técnicas permite la estimación de tasas de crecimiento *per se* (tasa de crecimiento del cultivo), con relación a la materia seca presente (tasa de crecimiento relativo) o área foliar acumulada (tasa de asimilación neta), además de indicadores de la distribución de la materia seca entre hojas y tallos (proporción de peso foliar o % de hojas), así como el área foliar por unidad de terreno (índice de área foliar).

En los estudios sobre selección para resistencia a sequía, todavía se presta mucha atención al rendimiento *per se*, pero sería recomendable la incorporación de variables fisiológicas (Castro *et al.* 2000). Algunas variables de tipo fisiológico empleadas como criterio de selección han sido la capacidad de ajuste osmótico, tolerancia a calor y capacidad de germinación a diferentes potenciales osmóticos. Sin embargo, bajo condiciones de riego de auxilio, donde los déficits hídricos no son extremos, podría ser más adecuado determinar qué

variables fenológicas y de tipo fisiotécnico se asocian con los mayores rendimientos.

La obtención de los parámetros del crecimiento puede realizarse por medio del ajuste de modelos a la distribución de los valores de peso seco y área foliar a través del tiempo, lo cual requiere de un número grande de muestras, o por el enfoque clásico, donde solo se requieren dos muestreos, obteniendo valores medios de dichos parámetros (Radford 1967). De preferencia, estos dos muestreos deben ubicarse en la porción lineal de la curva de acumulación de materia seca contra tiempo.

El objetivo primario del presente trabajo fue identificar materiales de sorgo y mijo forrajeros con altos rendimientos de materia seca durante el período primavera-verano bajo condiciones de riego parcial, así como determinar el grado de relación entre el rendimiento biológico, variables derivadas del análisis de crecimiento y variables fenológicas.

La hipótesis nula que se enuncia es que las tasas de crecimiento del cultivo no son las principales determinantes del rendimiento de materia seca de los cultivares forrajeros de mijo y sorgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en Nazareno Xoxocotlán, Oax., el 23 de marzo de 1998, en un suelo profundo de origen fluvial, de textura arcillo-limosa, bajo en materia orgánica y de fertilidad moderada. Se utilizaron seis variedades comerciales de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) una variedad de mijo perla (*Pennisetum americanum*) y seis líneas experimentales de este cultivo provenientes del International Crop Research Institute for the Semi-arid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India. La densidad de siembra para los genotipos de sorgo fue de 15 kg/ha, mientras que para los de mijo fue de 25 kg/ha.

Al momento de la siembra se aplicó la fórmula de fertilización 85-60-00 (kg/ha de N-P₂O₅-K₂O), para posteriormente aplicar otros 85 kg/ha de nitrógeno al momento de la primera labor, 20 días después. Se aplicaron cinco riegos, uno de siembra y cuatro riegos de auxilio, cada uno de una lámina de 15 cm aproximadamente, del 27 de marzo al 2 de junio, ya que durante este período no se presentan precipitaciones significativas en la región. Después del 2 de junio, ya no se aplicaron más riegos, por tenerse suficiente agua de lluvia. Los riegos se aplicaban cuando el cultivo mostraba síntomas de marchitez moderada durante el mediodía, práctica común entre los agricultores del área.

Se empleó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones y parcelas experimentales útiles de tres surcos de 3 m de largo y 70 cm de ancho. La parcela experimental constó de 5 surcos de 5 m de largo.

Durante el desarrollo del experimento se registraron las siguientes variables:

Días a emergencia: definido como el tiempo entre la siembra y la emergencia del 50 % de las plántulas.

Días a tres hojas: cuando el 50 % de las plantas tenían tres hojas liguladas visibles.

Días al encañe: Cuando se observó el primer nudo visible en 50 % de las plantas.

Días al embuche: ocurre cuando en el 50 % de las plantas la panícula presenta un crecimiento de 3 cm, para evaluarlos fue necesario abrir la parte superior de 10 plantas por tratamiento.

Días al 50 % de floración: cuando el 50 % de las plantas tenían inflorescencia visible.

Altura al 50% de floración y rendimiento de forraje seco (RFS): Se midió la altura en 20 plantas seleccionadas al azar en cada parcela, y posteriormente se cosechó la parcela útil, consistente en tres surcos centrales de 3 m de longitud para la medición de la producción de forraje verde. Una muestra de este se secó hasta peso constante en una estufa a 70 °C para estimar el porcentaje de materia seca presente. Se realizaron dos cortes al 50 % de floración, el primero se efectuó 54-70 días después de la siembra, mientras que el segundo se realizó de 24 a 58 días después del primero, dependiendo de la precocidad de los genotipos.

Area foliar al 50 % de floración: Se midió a partir de la lámina foliar de todas las plantas presentes en 0,50 m de surco al momento del muestreo, utilizando la relación:

$$A = \text{largo} \times \text{ancho de hojas} \times 0,75 \text{ (Stickler et al. 1961)}.$$

A partir de dichas variables se generaron las siguientes:

Razón de peso foliar (RPF) o % de hojas: equivale al peso seco del follaje sobre el peso seco total de parte aérea.

Índice de área foliar o área de hojas por unidad de superficie = IAF.

Área foliar específica (AFE) = A/Peso seco de hojas, en cm² g⁻¹.

Tasa Media de Crecimiento del cultivo (TCC):

Mide el incremento en peso seco por unidad de terreno y tiempo; se determinó por medio de muestreos para evaluar los cambios en peso inicial (P_1) y peso final (P_2) en un tiempo inicial (t_1) y final (t_2) para cada corte, aplicando la fórmula:

$$TCC = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1), \text{ en } g \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$$

En ambos cortes, el t_1 correspondió a la etapa de encañe; en la cual ya se observaba una cobertura del suelo mayor al 70 %. Los P_1 de cada corte se obtuvieron del muestreo de 10 plantas seleccionadas al azar, a partir de las cuales también se determinaron las áreas foliares iniciales A_1 .

Tasa Media de Crecimiento Relativo (TCR):

Permite estimar la materia seca acumulada por unidad de materia seca presente, por unidad de área y tiempo; se obtuvo por la fórmula:

$$TCR = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1), \text{ en } g \text{ g}^{-1} \text{ día}^{-1}$$

Tasa Media de Asimilación Neta (TAN):

Cuantifica la materia seca acumulada por IAF presente por unidad de área y tiempo; se estimó con la fórmula:

$$TAN = [(P_2 - P_1) / (A_2 - A_1)] \times [(\ln A_2 - \ln A_1) / (t_2 - t_1)], \text{ en } g \text{ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$$

El análisis estadístico incluyó análisis de varianza, comparaciones múltiples de medias (Tukey al 0,05 de probabilidad), así como análisis de correlación y regresión para establecer la validez estadística de la relación observada entre distintas variables y generar modelos de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y producción de materia seca

En cuanto a los días a emergencia y días a tres hojas, los mijos resultaron más precoces que el grupo de genotipos de sorgo, en promedio por 1,29 días en el primer caso y 2,56 días en el segundo (Cuadro 1). Tapia (1985), reportó que los mijos fueron los más precoces de varios cultivos evaluados en pruebas de germinación realizadas a distintos potenciales osmóticos.

Por lo que respecta a días al embuche, el sorgo más tardío fue Sweet Sioux con 58,25 días, mientras que el más precoz fue Domor con 48,5 días. El cultivar NELC C4, con 48,5 días al embuche (DAE), fue el más tardío de los mijos, siendo el más precoz Pabellón 88 con 38,7

Cuadro 1. Fenología de 13 genotipos forrajeros bajo condiciones de riego en los Valles Centrales de Oaxaca, México. 1998.

Genotipo	Fenología (días)		
	Emergencia	3ª hoja ligulada	Embuche
Sweet Sioux (S)*	5,3 ab**	11,0 a	58,3 a
Beefbuilder-T (S)	5,8 a	10,5 a	49,3 b
Grazer (S)	5,8 a	11,0 a	48,2 bc
Cow Vittles (S)	5,0 b	10,8 a	46,8 de
Dine a Mite (S)	5,0 b	10,3 ab	47,8 cd
Domor (S)	5,0 b	10,8 a	48,5 bc
NELC C4 (M)	4,0 c	8,0 def	48,3 bc
ICMH 83401 (M)	4,0 c	7,7 def	47,8 cd
ICMH 423 (M)	4,0 c	8,5 cde	45,0 f
ICMS 8283 (M)	4,0 c	9,2 bc	47,5 cd
ICMS 7704 (M)	4,0 c	7,3 f	44,2 f
ICTP 8203 (M)	4,0 c	7,5 ef	45,5 ef
Pabellón 88 (M)	4,0 c	8,8 cd	38,7 g

*S = sorgo, M = mijo perla

** Medias con letras iguales dentro de la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

días. Existió una correlación lineal significativa entre los días a floración (DAF) y los días al embuche ($r = 0,94$), obteniéndose la ecuación lineal:

$$DAF = 0,77 DAE + 24,90$$

En promedio, los materiales alcanzaron la floración a los 14 días después del embuche, es decir, el mijo mas precoz alcanzó la floración a los 53 días. En evaluaciones previas de mijos para grano en los Valles Centrales (Arredondo 1990), el mijo perla MB110 tuvo 50 días a la floración, contra 45 días del mijo proso IPM1096, el más precoz. La precocidad a floración confiere ventajas bajo condiciones de sequía terminal (González *et al.* 1999), lo cual también puede ser ventajoso cuando se dispone de poca agua de riego. Esta es una condición común para las siembras de primavera en los Valles Centrales de Oaxaca, al grado que se “castiga” moderadamente al cultivo, ya que se le riega hasta que muestra síntomas de sequía.

Por lo que toca a la producción de materia seca, el primer corte, realizado cuando las plantas iniciaron floración, NELC C4 produjo la misma cantidad que el genotipo de sorgo Beefbuilder-T, pero en el segundo corte su rendimiento disminuyó drásticamente, al igual que el de los otros mijos (Cuadro 2). Se sabe que la disminución en rendimiento a medida que se realizan mas cortes, especialmente en gramíneas anuales, se debe al

agotamiento de las reservas y a una menor producción de hijuelos debido a la pérdida de puntos de crecimiento en cada corte (Scott y Hines 1991).

La producción de materia seca total (PMS) se relacionó significativa y directamente con los días al embuche, obteniéndose una $r = 0,818$ ($P < 0,01$). También existieron altas correlaciones de PMS con los días al corte, siendo mayor la correlación en el segundo corte ($r = 0,89$, $P < 0,01$) que en el primer corte ($r = 0,77$, $P < 0,01$). En promedio, los sorgos tuvieron 63 días al primer corte, mientras que para los mijos se requirieron 59 días. La producción de materia seca de los mijos fue un 76 % de la obtenida con sorgo en el primer corte, pero en el segundo corte solamente representó un 54 % de la obtenida con este cultivo. En Texas, Muir *et al.* 1999, encontraron que los días al primer corte en sorgo para ensilaje fueron mayores que para mijo, pero que la producción de materia seca del mijo fue solamente un 60 % de la obtenida con sorgo. Para el segundo corte la producción disminuyó en ambos a cerca del 50 %.

Considerando los dos cortes, los sorgos forrajeros más sobresalientes fueron Sweet Sioux y Beefbuilder-T, con una producción de alrededor de 32 y 30 t/ha de materia seca, respectivamente. Estos fueron los materiales mas tardíos, con 127 y 121 días al segundo corte y no disminuyeron significativamente su rendimiento

Cuadro 2. Producción de materia seca por corte (inicio de floración) y total en genotipos de sorgo y mijo forrajeros bajo condiciones de riego en los Valles Centrales de Oaxaca, México. 1998.

Genotipo	Materia seca		
	Primer corte (t/ha)	Segundo corte (t/ha)	Suma de cortes (t/ha)
Sweet Sioux (S)*	16.410 a**	15.720 a	32.130 a
Beefbuilder-T (S)	14.190 abc	15.760 a	29.950 a
Domor (S)	15.27 ab	11.430 c	26.700 b
Grazer (S)	12.170 cd	13.320 b	25.490 b
Dine a Mite (S)	11.560 cde	13.260 b	24.820 b
Cow Vittles (S)	9.340 ef	11.280 c	20.620 c
NELC C4 (M)	13.760 bc	7.170 de	20.930 c
ICMS 8283 (M)	12.310 cd	7.040	19.350 c
ICMH 423 (M)	11.640 cde	7.420 d	19.060 c
ICMH 83401 (M)	10.680 de	7.260 de	17.940 d
ICTP 8203 (M)	12.260 cd	5.590 e	17.850 d
ICMS 7704 (M)	10.690 de	6.630 de	17.320 d
Pabellón 88 (M)	7.760 f	3.380 f	11.140 e

*S = sorgo, M = mijo perla

** Medias con letras iguales dentro de la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

en este. Se sabe que los cultivares con mayor ciclo de vida, también tienen un mayor potencial productivo (Stoskopfv 1981).

NELC C4, además de ICMS 8283, fueron los mijos más sobresalientes, ya que en dos cortes produjeron un total de cerca de 20 t/ha de materia seca pero disminuyeron su rendimiento un 46 % en el segundo corte. Sin embargo, se requirieron solo 43 días para el primer corte y 104 días para el segundo. En contraste, los sorgos más sobresalientes requirieron de 58 días de la siembra al primer corte.

Variables de crecimiento y producción

La mayor correlación para la variable indicadora de la producción (PMS) se observó con las Tasas de Crecimiento del Cultivo (0,949 a 0,970, $P < 0,01$). En la Figura 1 se presenta esta relación para los dos cortes, obteniéndose una $R^2 = 0,766$ con la inclusión de un término cuadrático. Se han reportado correlaciones lineales entre las TCC y la producción de materia seca en varios cultivos, especialmente durante el período de cobertura total del suelo al inicio de la floración (Bull y Glasziou 1978, Shibles *et al.* 1978). Este período coincide con la porción lineal de la curva de acumulación de materia seca contra tiempo en sorgo y maíz (Wong *et al.* 1983, Hanway *et al.* 1986).

No existieron correlaciones significativas de PMS con la tasa de asimilación neta o con la tasa de crecimiento relativo (TCR) durante el primer corte, pero sí durante el segundo corte, con valores de $r = -0,678$ ($P < 0,01$) con TAN y $-0,729$ ($P < 0,01$) con TCR. Se sabe que la correlación negativa de PMS con TAN y TCR

puede resultar de un efecto de “dilución” del material fotosintético al incrementarse el área y peso foliar a medida que la planta se desarrolla (Hesketh *et al.* 1981).

No existieron correlaciones significativas entre TCR y el IAF, pero la relación entre la TAN e IAF resultó significativa, obteniéndose coeficientes de correlación de $-0,618$ ($P < 0,05$) y $-0,896$ ($P < 0,01$) para el primer y segundo corte, respectivamente. La relación negativa entre IAF y TAN es común en muchas especies y contribuye a la relación pobre entre TAN y rendimiento (Bhagsari y Brown 1986). Wells *et al.* (1988) encontraron una disminución de la correlación entre TAN y el área foliar por planta a medida que la planta producía más hojas, lo cual apoya la hipótesis del efecto de “dilución” del aparato fotosintético de Hesketh *et al.* 1981.

La TCC del segundo corte estuvo altamente correlacionada ($r = 0,932$, $P < 0,01$) con el IAF, mas no durante el primer corte ($r = 0,489$, $P > 0,05$). Durante el primer corte el IAF promedio fue de 8,96, mientras que en el segundo disminuyó a 5,60, lo cual pudo determinar la mayor correlación observada en el segundo corte al disminuir el IAF a valores más cercanos al óptimo. De acuerdo a Shibles *et al.* (1978), el IAF para el aprovechamiento del 95 % de la radiación solar es 3,1 a 4,5, dependiendo de la densidad de siembra y el arreglo topológico. La producción de área foliar es muy importante para determinar el crecimiento inicial (Potter y Jones 1977), pero esta asociación puede perderse al incrementarse la competencia por luz, lo cual resalta la necesidad de un manejo adecuado de la densidad de siembra y de otras prácticas durante el desarrollo temprano del cultivo (Wells *et al.* 1988).

Krishnamurthy (1973) encontró una relación lineal estrecha entre las TCC y el IAF durante la etapa vegetativa en tres genotipos de sorgo variando las TCC desde 16.071 hasta 31.871 $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para 56 a 70 días después de la siembra, respectivamente.

La mayor correlación observada para la TCC del primer corte fue con la altura al momento del corte ($r = 0,763$, $P < 0,01$). Pareek (2002) ha reportado una correlación significativa entre altura y potencial productivo en mijo perla. Esto implica que se debe aplicar un manejo que favorezca tanto el desarrollo del área foliar, como el desarrollo en altura antes del primer corte. Se sabe que una densidad y fertilización adecuadas, especialmente la nitrogenada, tienden a favorecer estas características. Krishnamurthy (1973) reporta que se obtuvieron mayores valores de IAF, duración de área foliar, producción de materia seca, contenido de clorofila y TAN en sorgo fertilizado con 120 kg/ha de nitrógeno que en aquel fertilizado con 60 kg/ha . Al cambiar la densidad de población de 133.000 a 177.000 plantas/ha la altura de planta

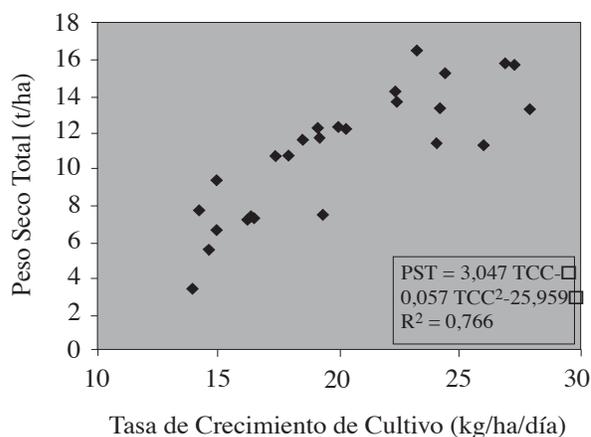


Figura 1. Relación observada entre la producción de materia seca y la tasa de crecimiento del cultivo para dos cortes de genotipos de sorgo y mijo bajo condiciones de riego en los Valles Centrales de Oaxaca. 1998.

se incrementó en 9 cm, disminuyendo el área foliar por planta de 1.827 a 1.727 cm² y el número de hojas de 8,7 a 8,1.

En el primer corte, las variedades con mayores valores de TCC fueron los sorgos Domor, Sweet Sioux y Beefbuilder, pero no difirieron estadísticamente de los mijos NELC C4, ICTP 8203 y ICMS 8283. Sin embargo, para el segundo corte, los sorgos Dineamite, Sweet Sioux y Beefbuilder ocuparon el primer grupo de significancia estadística, ocupando el último lugar los mijos sobresalientes en el primer corte. Las TCC promedio tendieron a ser mayores durante el segundo corte, especialmente para los sorgos. Sweet Sioux y Dineamite, con cerca de 27 g⁻¹ m⁻²día⁻¹ (Cuadro 3); pero se han reportado tasas de crecimiento máximas para mijo y sorgo de 54 y 51 g⁻¹ m⁻²día⁻¹, respectivamente (Begg 1965, Loomis *et al.* 1971).

También los valores de TCR, y especialmente los de TAN, resultaron mayores durante el segundo corte, oscilando los primeros de 0,105 a 0,242 g g⁻¹ m⁻² día⁻¹ y los segundos de 2.814 a 10.083 g m⁻²día⁻¹. Krishnamurthy (1973) reportó, para tres híbridos de sorgo cultivados durante el verano, valores medios de 0,159 g g⁻¹ m⁻² día⁻¹ para la TCR; mientras que para condiciones de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca, datos de Galomo (1990) y Arredondo (1990) arrojan estimaciones de valores promedio de TAN de 2,85 y 4,76 g m⁻² día⁻¹ para sorgo y mijo, respectivamente.

En general, el IAF promedio fue mayor para el primer corte, lo cual pudo resultar en mayor competencia por luz y en una menor TAN. Desde los 50's Watson (1952) ya mencionaba que la disminución de la TAN al progresar el desarrollo del cultivo se debía al incremento del sombreado mutuo de las hojas al incrementarse el área foliar.

Por lo que respecta a las variables derivadas del área foliar, el IAF se correlacionó de manera positiva y altamente significativa con la PMS y con el AFE (Cuadro 4). Watson (1952) encontró que la producción de materia seca de distintas especies se relacionaba más con el IAF que con la TAN. Jaaffar y Gardner (1988), encontraron que en tres variedades de cacahuete, la producción total de materia seca era paralela al desarrollo del IAF y a el porcentaje de intercepción de luz.

En cuanto a AFE, Akmal y Zulfiqar (2002) encontraron que una variedad de mijo con mayor AFE también mostró la mayor PMS y número de hojas. Se han reportado correlaciones positivas entre fotosíntesis aparente y AFE (Bhagsari *et al.* 1977, Ojima y Kawashima 1968), pero la relación es poco consistente, encontrándose también correlaciones negativas (Shipley 2002, Kaplan y Koller 1977).

La RPF se correlacionó negativamente ($r = -0,783$, $P < 0,01$) con PMS, indicando que a medida que se asigna más materia seca a las hojas, menor es la producción.

Cuadro 3. Tasas de crecimiento del cultivo (TCC), de asimilación neta y de crecimiento relativo para genotipos de sorgo y mijo forrajeros, durante dos cortes realizados al inicio de floración, bajo condiciones de riego en los Valles Centrales de Oaxaca, México. 1998.

Genotipo evaluado	TCC (g ⁻¹ m ⁻² día ⁻¹)		TAN (g m ⁻² día ⁻¹)		TCR (g g ⁻¹ m ⁻² día ⁻¹)	
	Primer corte	Segundo corte	Primer corte	Segundo corte	Primer corte	Segundo corte
Domor (S)	24.382 a	24.075 abc	4.950 bc	6.352 f	0,118 ab*	0,149 e
Sweet Sioux (S)	23.208 ab	27.303 a	3.817 e	6.708 f	0,105 b	0,129 f
NELC C4 (M)	22.331 ab	16.507 cd	4.493 bcde	8.509 bc	0,118 ab	0,152 de
Beefbuilder-T (S)*	22.298 ab	26.900 a	4.110 cde	5.173 g	0,115 ab	0,127 f
ICTP 8203 (M)	20.229 abc	14.563 d	4.313 bcde	8.046 bcd	0,118 ab	0,166 bc
ICMS 8283 (M)	19.978 abc	16.208 d	6.044 a	8.954 ab	0,116 ab	0,152 de
ICMH 423 (M)	19.206 abc	19.331 bcd	4.880 bcd	8.515 bc	0,117 ab	0,174 b
Grazer (S)	19.124 abc	24.420 abc	4.903 bcd	8.126 bcd	0,112 ab	0,133 f
DineaMite (S)	18.458 abc	27.930 a	5.127 ab	7.044 def	0,113 ab	0,153 cde
ICMH83401(M)	17.920 abc	16.335 d	4.036 de	10.083 a	0,118 ab	0,149 e
ICMS7704 (M)	17.349 bc	14.917 d	3.993 de	9.879 a	0,114 ab	0,147 e
Cow Vittles (S)	14.913 c	25.970 ab	4.177 bcde	7.213 def	0,110 ab	0,163 bcd
Pabellón88(M)	14.226 c	13.942 d	2.814 f	7.598 cde	0,123 a	0,242 a

*S = sorgo, M = mijo perla

** Medias con letras iguales dentro de la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05).

Cuadro 4. Correlaciones observadas entre variables derivadas del área foliar y de la acumulación de materia seca en genotipos de sorgo y mijo. 1998.

Variables	PMS	AFE	RPF	TCC
Índice de área foliar (IAF)	0,804**	0,785**	-0,624*	0,534 n. s.
Producción de materia seca (PMS)		0,394 n. s.	-0,784**	0,834**
Área foliar específica (AFE)			-0,542 n. s.	0,146 n. s.
Razón de peso foliar (RPF)				-0,629*

* significativo, ** altamente significativo, n. s. no significativo.

Esto puede resultar de que dicha materia seca no se asigne a expansión foliar, repercutiendo en las TCC. Se observó que la TCC se correlacionó negativamente con la RPF ($r = -0,629$, $P < 0,05$), que a su vez se correlacionó negativamente con el IAF ($r = -0,624$, $P < 0,05$). Delaney y Dobrenz (1974) reportaron correlaciones negativas entre la tasa de fotosíntesis y el IAF en alfalfa. Kaplan y Koller (1977) reportaron una correlación positiva entre la tasa de expansión foliar y la TCC.

CONCLUSIONES

Los mijos resultaron más precoces que el grupo de genotipos de sorgo en cuanto a los días a emergencia, días a tres hojas, días al embuche y días a floración, por lo que tendrían más posibilidades de producir bajo condiciones de escasez de agua. Sin embargo, su producción promedio en el primer corte fue un 14 % menor a la de los sorgos forrajeros, reduciendo su rendimiento a menos de la mitad durante el segundo corte.

Los sorgos forrajeros más sobresalientes fueron Sweet Sioux y Beefbuilder-T, siendo los materiales más tardíos con 58 días al primer corte. NELC C4, además de ICMS 8283, fueron los mijos más sobresalientes, pero disminuyeron su rendimiento un 46 % en el segundo corte. Sin embargo, requirieron de solo 43 días para el primer corte.

El Índice de Área Foliar (IAF) mostró correlaciones directas y altamente significativas con Producción de Materia Seca (PMS) y el Índice de Área Foliar Específica. La Relación de Peso Foliar se correlacionó en una forma altamente significativa, pero inversa, con PMS.

La producción de Materia Seca Total en ambos cortes estuvo altamente relacionada por las Tasas de Crecimiento del Cultivo ($r = 0,834$), por lo que se rechaza la hipótesis planteada.

LITERATURA CITADA

- AKMAL, M.; ZULFIQAR, M. 2002. Production and quality evaluation of millet (*Pennisetum typhoidum* L.) Germplasms for Fodder. Pakistan Jour. Biol. Sci.5(5): 539-542.
- ARREDONDO, C. 1990. Cultivos de alternativa al maíz. In: Loeza, G.; Galomo, T.; Arredondo, C. (eds.) Memorias de Investigación 1970-1990. Publicación Especial No. 3, Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP-SARH. p. 21.
- BEADLE, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. In: J. Coombs *et al.* (eds.), Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Traducción del Inglés, Colegio de Posgraduados, Chapingo, Mex. pp. 17-21.
- BHAGSARI, A. S.; BROWN, R. H. 1986. Leaf photosynthesis and its correlation with leaf area. Crop Sci. 26: 127-132.
- BHAGSARI, A. S.; BROWN, R. H.; BOERMA, H. R. 1977. Leaf photosynthetic characteristics of determinate soybean cultivars. Crop Sci. 17: 929-932.
- BEGG, J.E. 1965. High photosynthetic efficiency in a low latitude environment. Nature 205: 1025-1026.
- BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. 1978. Sugar cane. In: L. T. Evans (ed.). Crop Physiology: Some case histories. Cambridge University Press, London. pp. 51-72.
- CANO G., M., LÓPEZ G., J., ROJO S., J. ARREDONDO V., C. Y RUIZ V., J. 1992. Los sistemas de producción agropecuaria en los Valles Centrales de Oaxaca. In: Navarro, H.; Colin, J.P.; Mileville, P. (eds.) Coloquio mesoamericano sobre sistemas de producción y desarrollo agrícola. Texcoco, Mex. CP-CEDERU, ORSTOM. pp. 233-237.
- CASTRO, J.; ORTÍZ, J.; MENDOZA, MA. DEL C.; ZAVALLA, F. 2000. Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. Rev. Fitotec. Mex 23: 321-334.
- DELANEY, R.; DOBRENZ, A. K. 1974. Morphological and anatomical features of alfalfa leaves as related to CO₂ exchange. Crop Sci. 14: 444-447.
- GALOMO, T. 1990. Evaluación de variedades de sorgo forrajero de temporal. In: Loeza R. G.; Galomo, T.; Arredondo, C. (eds.) Memorias de Investigación 1970-1990. Publicación Especial No. 3, Campo Agrícola Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP-SARH. p. 79.

- GONZÁLEZ, A.; MARTÍN, I.; AYERBE, L. 1999. Barley yield in water-stress conditions: The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Res.*: 62: 23-34.
- HESKETH, J. D.; OGREN, W. L.; HAGEMAN, M. E.; PETERS, D. B. 1981. Correlations among leaf CO₂ – exchange rates, areas, and enzyme activities among soybean cultivars. *Photosynthesis Res.* 2: 21-30.
- HANWAY, J. J.; RITCHIE, W.; BENSON, G. O. 1986. How a corn plant develops. Special Report No. 48, Iowa state University, Ames. 22 p.
- HIRASAWA, T.; HSIAO, T. 1999. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Res.* 62: 53-62.
- HOPKINS, W. G. 1999. Introduction to plant physiology. 2^a. Ed. John Willey & Sons, Inc., New York. 512 p.
- JAAFFAR, Z.; GARDNER, F. P. 1988. Canopy development, yield and quality in peanut as affected by genotype and planting pattern. *Crop Sci.* 28: 299-305.
- KAPLAN, S. L.; KOLLER, H. R. 1977. Leaf area and CO₂-exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean plants. *Crop Sci.* 17: 35-38.
- KRAMER, P. J. 1980. Drought, stress and the origin of adaptations. *In*: N. C. Turner and P. J. Kramer (eds.), *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* John Wiley and Sons, New York. pp. 7-20.
- KRISHNAMURTY, K. 1973. Investigations on the structure of yield in cereals (maize and sorghum). Agronomy Department, University of Agricultural Sciences, Bangalore, India. 374 p.
- LÓPEZ, J.; ROJO, J.; CANO, M.; ARREDONDO, C.; RUIZ, J. 1992. Los sistemas de producción agropecuaria en los Valles Centrales de Oaxaca II. Identificación y funcionamiento. Resúmenes del Coloquio Mesoamericano sobre Sistemas de Producción y Desarrollo Agrícola. Texcoco, Méx. p. 68.
- LOOMIS, R. S.; WILLIAMS, W. A.; HALL, A. E. 1971. Agricultural productivity. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 22: 431-468.
- MUIR, J. P.; PROSTKO, E.; STOKES, S. 1999. The effect of dairy manure on summer annual grasses grown as alternative silages on the cross timbers. *Stephenville Agric. Res. and Ext. Center. University of Texas A&M.* 8 p.
- OJIMA, M.; KAWASHIMA, R. 1968. Studies on the seed production of soybean: varietal differences in photosynthetic rate. *Crop Sci. Soc. Japan Proc.* 37: 667-675.
- PAREEK, S. 2002. Correlation and path analysis in pearl millet *Pennisetum glaucum*. *Res. on Crops* 3(1): 75-77.
- POTTER J. R.; JONES, J. W. 1977. Leaf area partitioning as an important factor in growth. *Plant Physiol.* 59: 10-14.
- RADFORD, P. J. 1967. Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Sci.* 7: 171-175.
- RAPER, C. D.; KRAMER, P. J. 1983. Crop reactions to water and temperature stresses in humid, temperate climates. Western Press, Boulder. 370 p.
- SHIBLES, R.; ANDERSON, I. C.; GIBSON, A. H. 1978. Soybean. *In*: L. T Evans (ed.), *Crop physiology: some case histories.* Cambridge University Press, London. pp. 151-189.
- SHIPLEY, B. 2002. Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology* 16: 682-690.
- SCOTT WR.; HINES, S E. Effects of grazing on grain yield of winter barley and triticale: the position of the apical dome relative to the soil surface. *New Zealand J Agric Res* 1991; 34:177-184.
- STICKLER, F.; WEARDEN, S.; PAULI, A. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. *Agron. J.* 53: 187-188.
- STOSKOPFV, N. C. 1981. Understanding crop production. Reston Publishing Co. Inc., Reston Virginia. 433 p.
- TAPIA, M. 1985. Cultivos de alternativa: Una posible solución al problema de la sequía en la Mixteca Oaxaqueña. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo. 130 p.
- TURNER, N. C.; JONES, M. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. *In*: N. C. Turner and P. J Kramer (eds.), *Adaptation of plants to water and high temperature stress.* John Wiley and Sons, New York. pp. 57-103.
- WATSON, D. J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.* 4: 101-145.
- WELLS, R.; MEREDITH JR, R.; WILLIFORD, J. R. 1988. Heterosis in upland cotton. II. Relationship of leaf area to plant photosynthesis. *Crop Sci.* 28: 522-525.
- WONG, R.; MUÑOZ, A.; MENDOZA, L. 1983. Efecto de la sequía sobre las características vegetativas, reproductivas y de eficiencia en variedades de sorgo. *Agrociencia* 51: 101-114.