

# Content of sugars in varieties of sorgo (*Sorghum bicolor* L.) for ethanol in the center of Chiapas, Mexico

## Contenido de azúcares en variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) para etanol en el centro de Chiapas, México

Espinosa-Paz, Néstor<sup>1</sup>; Montes-García, Noe<sup>2</sup>; Martínez-Sánchez, Jesús<sup>1</sup>; Ariza-Flores, Rafael<sup>3</sup>; Cadena-Iñiguez, Pedro<sup>1\*</sup>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas. <sup>2</sup>Campo Experimental Rio Bravo. <sup>3</sup>Campo Experimental Iguala.

\*Autor para correspondencia: cadena.pedro@inifap.gob.mx

### ABSTRACT

**Objective:** To evaluate varieties of sweet sorgo (*Sorghum bicolor* L.) for their sugar content and stability in different environments.

**Design/methodology/approximation:** The experiments were established in the localities of Ocozocoautla and Suchiapa of the Center of Chiapas during the years 2015, 2016 and 2017. The varieties RB-Cañaverl, RB-Tehua, RB-Cañero, RB-Norteño, RB-Paloma and Fortuna were evaluated, under the experimental design of randomized complet blocks with four repetitions. The sugar conten (°Brix) in the phenological stages of flowering and physiological maturity of the grain was quantified. A combined analysis of variance was modeled using the site regression method (SREG).

**Results:** The analysis of variance showed highly significant differences ( $P < 0.01$ ) between environments, varieties and for genotype  $\times$  environment interaction. In the flowering stage, the varieties RB Cañaverl and Fortuna stood out with 15.92 and 14.28 °Brix; while in physiological maturity of the grain the varieties RB-Cañaverl, Fortuna, RB-Paloma and RB-Tehua stood out with values of 17.9, 15.86, 14.82 and 14.69 °Brix, respectively.

**Limitatons of the study/implications:** It is desirable to promote these varieties in environments with drought problems in the Center of Chiapas.

**Finding/Conclusions:** The varieties RB-Cañaverl and Fortuna were the ones that produced the highest sugar content on average of the five environments. The RB-Cañaverl variety showed stability through the environments for the production of sugar.

**Keywords:** varieties, stability, sugar, sorgo.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar variedades de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L.) por su contenido de azúcares y estabilidad en ambientes diferentes.

**Diseño/metodología/aproximación:** Los experimentos se establecieron en las localidades de Ocozocoautla y Suchiapa del Centro de Chiapas durante los años 2015, 2016 y 2017. Se evaluaron las variedades RB-Cañaverl, RB-Tehua, RB-Cañero, RB-Huasteco, RB-Norteño, RB-Paloma y Fortuna, bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se cuantificó el contenido de azúcares (°Brix) en las etapas fenológicas de floración y madurez fisiológica del grano. Se realizó un análisis de varianza combinado. La interacción genotipo ambiente y la estabilidad de la producción de azúcares se modeló con el método de regresión en los sitios (SREG).

**Agroproductividad:** Vol. 12, Núm. 10, octubre, 2019, pp. 53-58.

**Recibido:** abril, 2019. **Aceptado:** septiembre, 2019.

**Resultados:** El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre los ambientes, variedades y para la interacción genotipo  $\times$  ambiente. En la etapa de floración destacaron las variedades RB-Cañaveral y Fortuna con 15.92 y 14.28 °Brix; mientras que en madurez fisiológica del grano sobresalieron las variedades RB-Cañaveral, Fortuna, RB-Paloma y RB-Tehua con valores de 17.9, 15.86, 14.82 y 14.69 °Brix, respectivamente.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** Es deseable la promoción de estas variedades en ambientes con problemas de sequía del Centro de Chiapas.

**Conclusiones:** Las variedades RB-Cañaveral y Fortuna fueron las que produjeron mayor contenido de azúcares en promedio de los cinco ambientes. La variedad RB-Cañaveral mostró estabilidad a través de los ambientes para la producción de azúcares.

**Palabras clave:** variedades, estabilidad, azúcares, sorgo.

jugo de sorgo dulce representan 53-85, 9-33 y 6-21% para sacarosa, glucosa y fructosa, respectivamente.

El sorgo dulce es un cultivo que no compite con los granos básicos, se puede sembrar en áreas no aptas para estos cultivos y ofrece en algunos casos grano y forraje, ya que el tallo es el principal órgano aprovechado, el cual presenta un alto contenido de azúcar (Almodares y Hadi, 2009). Con el sorgo dulce se puede hacer azúcar refinada (Rajvanshi et al., 1993), papel y miel (Schaffert, 1992). Dentro de los principales usos ha sido su amplia utilización en la producción de alimentos balanceados (Undersander et al., 1990). También, puede ser transformado biológicamente en alcohol etílico de primera generación, etanol celulósico o producir energía (House et al., 2000; Lemus and Parrish, 2009) o aditivo (Freman et al., 1973). El agregar un 10% de etanol a la gasolina reduce hasta en 30% las emisiones de monóxido de carbono y entre 6 y 10% las de bióxido de carbono (Smith y Buxton, 1993; Gnansounou et al., 2005).

Prasad et al. (2007) así como Almodares and Hadi (2009) reportan un rango de producción de tallo que va de 50 a 120 t ha<sup>-1</sup>. Este material tiene alrededor de 73% de humedad y se obtiene de 50 a 70% de jugo. De acuerdo a lo observado en el campo mexicano, se podrían llegar a extraer 42.5 t de jugo por hectárea (Chuck-Hernández et al., 2011).

El rendimiento de etanol en las variedades de sorgo es relativamente diferente: El mejor desempeño se da obviamente cuando se usan cada una de las porciones obtenidas de la planta, sobre todo el material lignocelulósico, jugo e incluso el grano

## INTRODUCCIÓN

La producción de biocombustibles ha emergido como una alternativa a los combustibles fósiles, en especial para propósitos de transporte. El bioetanol es un tipo de combustible biológico, que puede ser producido por la fermentación de materia orgánica con altos contenidos en almidón (Montes, 2010).

En la región de Centro de Chiapas se tienen requerimientos agroecológicos óptimos para el cultivo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L.). Este es nativo de África (Chuck-Hernández et al., 2011), uno de los cultivos más antiguos y actualmente uno de los cereales de mayor importancia en el mundo (Serna-Saldivar, 2010). Es eficiente en ambientes cálidos y con intensidad luminosa alta, como los prevalecientes en regiones semiáridas (Rooney y Serna-Saldivar, 2000). De acuerdo a Taylor et al. (2006), es el mejor cereal en términos de resistencia a la sequía. En regiones con clima óptimo, es posible obtener varias cosechas de sorgo por año (Saballos, 2008; Turhollow et al., 2010).

En México se han incursionado trabajos de mejoramiento genético para formar variedades con alto contenido de azúcares en el tallo, para la elaboración de bioetanol como combustible, ya que es una alternativa para contrarrestar los efectos del cambio climático, producto de la contaminación ambiental (Montes et al., 2010).

El sorgo dulce tiene una alta eficiencia en el uso del agua, bajos requerimientos de fertilizante y amplia adaptación (Prasad et al., 2007; Turgut et al., 2005) y presenta ventajas en relación a otros cultivos usados comúnmente para la obtención de biocombustibles (Montes et al., 2010).

El contenido de azúcares totales del jugo de sorgo dulce puede llegar a ser semejante al de la caña de azúcar. Sin embargo, el porcentaje de sacarosa en la caña con relación a glucosa y fructosa es más alto (90 vs. 6%, respectivamente). De acuerdo con Gnansounou et al. (2005), los azúcares simples en el

(Chuck-Hernández et al., 2011). En muchas ocasiones esta última fracción no se puede obtener de forma completa, ya que la cosecha se hace antes de la madurez fisiológica del grano (Montes et al., 2010).

En el noreste de México se alcanza el máximo de °Brix en el tallo para la tercera hasta la quinta semana de floración en las variedades tardías de sorgo (Dávila-Gómez, 2011). Posterior a esto, los cambios en °Brix no fueron significativos, que es muy semejante a lo observado por Nan et al., (1994), quienes reportaron la mayor producción de azúcar para la cuarta semana post anthesis. En estudios realizados en Tamaulipas (riego durante el ciclo Ol y temporal en el ciclo PV, el mayor contenido de azúcar en el tallo se logró alrededor de 20 días después de la floración (Montes et al., 2010).

Si se considera un promedio de 15 °Brix, se producirían 6.4 t ha<sup>-1</sup> de azúcares fermentables (Chuck-Hernández et al., 2011), aunque Montes et al. (2010) establecen un rango de 3.6 a 6.2 t ha<sup>-1</sup>. Este material servirá para obtener 4,132 L de etanol. Kim y Day (2010) reportan la producción de 3,296 L ha<sup>-1</sup>, mientras que Almodares and Hadi (2009) reportan 3000 L ha<sup>-1</sup>, cuando se procesa jugo extraído de variedades productoras de 39 a 128 t ha<sup>-1</sup> de tallos. Wu et al. (2010), a pesar de no reportar rendimientos de etanol por hectárea, expresan el rendimiento de azúcares fermentables, con las cuales se pueden obtener de 4,750 a 5,220 L ha<sup>-1</sup>. Esto equivale a la conversión de 12 a 13 t de maíz, cuando la productividad media de este cereal en México y Estados Unidos es de 3.2 y 10.3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar variedades de sorgo dulce por su contenido de azúcares en el tallo y su estabilidad a través de ambientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se establecieron durante los ciclos agrícolas primavera-verano (PV) 2015 y 2016 en las localidades de Ocozocoautla (800 msnm) y San Luis, Suchiapa (550 msnm) y 2017 en Ocozocoautla, ubicados en la región Central del estado de Chiapas. En ambos sitios, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y presencia de sequía intraestival. El suelo es de textura arcillosa, profundo, de mediana fertilidad, plano y sin pedregosidad.

Las variedades evaluadas fueron: RB-Cañaveral, RB-Tehua, RB-Cañero, RB-Huasteco, RB-Norteño, RB-Paloma y Fortuna.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de cinco metros de longitud y 0.8 de separación (16 m<sup>2</sup>), mientras que la parcela útil estuvo formada por los dos surcos centrales (8 m<sup>2</sup>).

Las siembras se realizaron durante la segunda quincena de julio en todos los experimentos. Se aplicaron 80 kg de nitrógeno y 50 kg de fósforo por hectárea en todos los sitios experimentales. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y gusano alfiler (*Spodoptera exigua*) se aplicó clorpirifos (Losrban 840 E) en dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup>. Para el control del pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*) se aplicó Imidacloprid a 100 mL ha<sup>-1</sup>. La maleza se controló con atrazina a 0.5 kg i.a. ha<sup>-1</sup> en emergencia y paraquat en 0.5 kg i.a. ha<sup>-1</sup> en pos emergencia. La siembra se realizó con 6 kg ha<sup>-1</sup> de semilla para las variedades RB-Cañaveral, RB-Cañero y RB-Tehua de mayor altura, mientras que las variedades RB-Huasteco, RB-Norteño, RB-Paloma y Fortuna fue de 10 kg ha<sup>-1</sup>.

La variable medida fue el contenido de azúcares (°Brix) en tres entrenudos del tallo en una muestra de diez tallos por repetición, en las etapas fenológicas de floración y madurez fisiológica del grano. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza combinado variedades y ambientes. La interacción genotipo ambiente y la estabilidad de la producción de azúcares se modeló con el método de regresión en los sitios (SREG). El análisis de varianza se realizó con el sistema SAS mientras que para el modelo SREG se usó el programa GEA-R (Martínez et al., 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes, variedades (genotipos) y para la interacción genotipo  $\times$  ambiente, para el contenido de azúcares en el tallo en las etapas fenológicas de floración y madurez fisiológica del grano. Estos resultados indican que los ambientes fueron contrastantes por sus condiciones edafoclimáticas, siendo el factor principal la presencia de la sequía intraestival o "canícula" (Espinosa-Paz et al., 2017; Martínez et al., 2017), la cual se presentó con mayor intensidad en el ciclo agrícola PV 2015. Las variedades mostraron diferente respuesta en el contenido de

azúcares, resultados que coinciden con los consignados por Montes *et al.* (2010). La significancia de la interacción genotipo  $\times$  ambiente indica una respuesta diferencial de las variedades en los diferentes ambientes de prueba, la cual es una ventaja que permitirá seleccionar la mejor variedad por su mayor producción de azúcares y buena estabilidad a través de los ambientes (Montes *et al.*, (2010).

En la etapa fenológica de floración, el primer componente principal (CP1) explicó el 75.4% de la varianza, mientras que el segundo componente (CP2) explicó el 19.1%, que en conjunto son 94.5% (Cuadro 2). Hubo diferencias significativas para cada componente principal (Cuadro 1), resultados que coinciden con los reportados por Martínez *et al.* (2017).

En madurez fisiológica del grano, el primer componente principal (CP1) explica el 81.1% de la varianza, mientras que el segundo componente (CP2) explica el 9.2%, en conjunto explican 90.3% (Cuadro 3). Hubo diferencia significativa para cada uno de los dos componentes principales.

Los promedios del contenido de azúcares en el tallo de las siete variedades de sorgo fueron de 18.4 y 17.9 °Brix en floración y 20.2 y 20.2 en madurez fisiológica, para los ambientes de Suchiapa 2016 y Ocozocoautla 2016, respectivamente (Cuadro 1). Lo anterior se debió probablemente a que durante el ciclo agrícola PV 2016 en ambas localidades registraron mayor precipitación (1600 mm) versus en el ciclo 2015 (750 mm). Mayor cantidad de agua en el suelo favorece una mayor absorción, lo cual se traduce en una mayor transpiración y, finalmente una mayor tasa fotosintética que acumula más azúcares en los entrenudos del tallo (Espinosa-Paz *et al.*, 2017). En madurez fisiológica del grano, el contenido de azúcares en todas las variedades fue mayor. Lo anterior indica que a mayor madurez del grano hay mayor concentración de azúcares solubles totales, tal como lo señala Montes *et al.* (2010).

En la etapa de floración, sobresalieron las variedades RB-Cañaveral y Fortuna con 15.92 y 14.28 °Brix, respectivamente (Cuadro 2). En madurez fisiológica del grano desta-

caron las variedades RB-Cañaveral, Fortuna, RB-Paloma y RB-Tehua con valores de 17.9, 15.86, 14.82 y 14.69 °Brix, respectivamente (Cuadro 2). Las variedades RB-Cañaveral y Fortuna fueron sobresalientes en el ciclo agrícola 2015 en ambos sitios (Espinosa-Paz *et al.*, 2017). RB-Cañaveral y Fortuna son variedades que producen más biomasa y esto está ligado a una mayor cantidad de material lignocelulósico para la producción de bioetanol. Los °Brix registrados para la variedad RB-Cañaveral son muy similares a los reportados por Montes *et al.* (2010).

De acuerdo al modelo SREG, RB-Cañaveral (1) se considera como el genotipo más estable en relación al contenido de °Brix en el tallo en las etapas de floración y madurez fisiológica del grano (Figuras 1 y 2).

### CONCLUSIÓN

Las variedades RB-Cañaveral y Fortuna fueron las que produjeron mayor contenido de azúcares en promedio de los cinco ambientes de evaluación. La variedad RB-Cañaveral mostró estabilidad a través de los ambientes para la producción de azúcares.

**Cuadro 1.** Contenido de azúcares en la etapa de floración de variedades de sorgo dulce evaluadas en cinco ambientes de la región Centro de Chiapas, México.

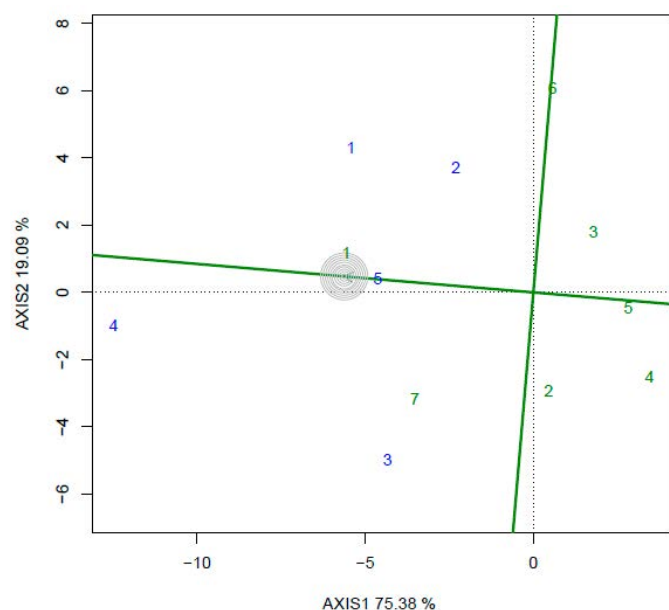
Variedad	Ambientes						CP1	CP2
	Ocoz 2015	Ocoz 2016	Ocoz 2017	Such 2015	Such 2016	Promedio		
RB-Cañaveral	9.7	20.4	12.05	16.2	21.25	15.92	-0.82	-0.85
RB-Tehua	5.1	15.9	12.6	5.65	20.2	11.89	-0.08	0.78
RB-Cañero	5.95	18.75	8.75	4.15	17.3	10.98	0.59	0.01
RB-Norteño	2.3	15.3	9.25	3.05	15.65	9.86	0.1	0.53
RB-Huasteco	3.1	17.8	8.8	3.75	15.85	9.1	0.33	0.26
RB-Paloma	9.55	19.75	6.35	5.4	18.9	11.99	0.89	-0.8
Fortuna	7.25	17.15	14.25	13.1	19.65	14.28	-1	0.07
Promedio	6.1	17.9	10.3	7.3	18.4			
CP1	0.53	0.71	-0.32	-1	0.18			
CP2	-0.45	-0.4	0.93	-0.55	0.22			

Ocoz = Ocozocoautla; Such = Suchiapa; CV = 11.0%.

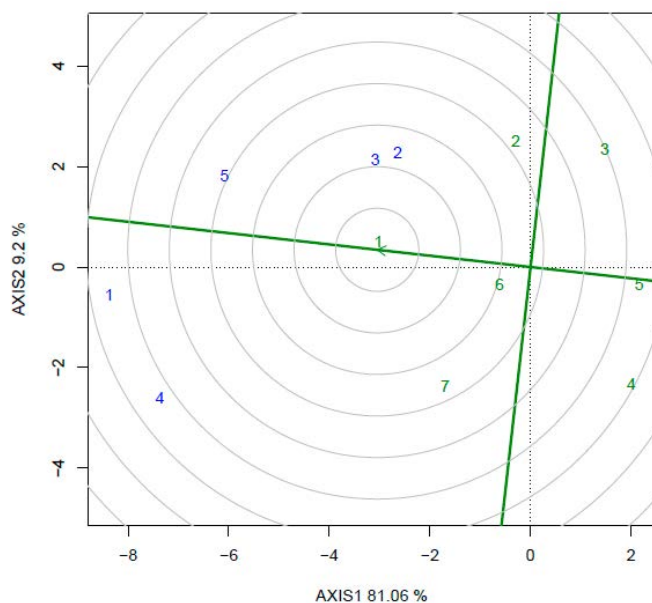
**Cuadro 2.** Contenido de azúcares en la etapa de madurez fisiológica del grano de variedades de sorgo dulce evaluadas en cinco ambientes de la región Centro de Chiapas.

Variedad	Ambientes					Promedio	CP1	CP2
	Ocoz 2015	Ocoz 2016	Ocoz 2017	Such 2015	Such 2016			
RB-Cañaveral	10.65	22.2	20.6	12.45	23.6	<b>17.9</b>	-0.5	-0.02
RB-Tehua	6.8	19.6	18.65	5.6	22.8	<b>14.69</b>	0.17	1
RB-Cañero	2.8	21.8	17.45	4.6	18.45	<b>13.02</b>	0.91	-0.26
RB-Norteño	2.65	17.1	15.6	5.6	17.2	<b>11.79</b>	0.04	-0.13
RB-Huasteco	2.4	19	16.2	4.45	16.9	<b>11.6</b>	0.5	-0.24
RB-Paloma	8.35	21.75	15.65	7.75	20.6	<b>14.82</b>	-0.28	-0.19
Fortuna	9.25	19.9	17.3	11.25	21.6	<b>15.86</b>	-0.83	-0.16
<b>Promedio</b>	<b>6.1</b>	<b>20.2</b>	<b>17.4</b>	<b>7.4</b>	<b>20.2</b>			
CP1	-0.9	1	0.82	-0.87	-0.03			
CP2	0.21	-0.63	0.26	-0.73	0.89			

Ocoz = Ocozocoautla; Such = Suchiapa; CV = 11.0%.



**Figura 1.** Ranking de genotipos de sorgo dulce con respecto al genotipo "ideal" en la etapa de floración (Ambientes 1 = Ocozocoautla-2015; 2 = Ocozocoautla-2016; 3 = Ocozocoautla-2017; 4 = Suchiapa-2015; 5 = Suchiapa-2016; Genotipos 1 = RB-Cañaveral; 2 = RB-Tehua; 3 = RB-Cañero; 4 = RB-Norteño; 5 = RB-Huasteco; 6 = RB-Paloma; 7 = Fortuna).



**Figura 2.** Ranking de genotipos de sorgo dulce con respecto al genotipo "ideal" en la etapa de madurez fisiológica del grano (Ambientes 1 = Ocozocoautla-2015; 2 = Ocozocoautla-2016; 3 = Ocozocoautla-2017; 4 = Suchiapa-2015; Suchiapa-2016; Genotipos 1 = RB-Cañaveral; 2 = RB-Tehua; 3 = RB-Cañero; 4 = RB-Norteño; 5 = RB-Huasteco; 6 = RB-Paloma; 7 = Fortuna).

## LITERATURA CITADA

- Almodares, A. & Hadi, M.R. (2009). Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4(2), 772-780.
- Chuck-Hernández, C., Pérez-Carrillo, E., Rooney, W. L. & Serna-Saldivar, S.O. (2011). Sorgho como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 529-549.
- Dávila-Gomez, F. J. (2011). Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). *Industrial Crops and Products*, 33, 611-616.

- Espinosa, P. N., Martínez, S. J., Ariza, F. R., Cadena, I. P., Hernández, M. M. & Ramírez, C. A. L. (2017). Germinación de semillas de variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) bajo déficit hídrico. *Agroproductividad*, 10(9), 41-47.
- Freeman, K.C., Broadhead, D.M. & Zummo, N. (1973). Culture of sweet sorghum for sirup production. *USDA Agric. Handb. 441*, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, pp. 19-20.
- Gnansounou, E., Dauriat, A. & Wyman, C. E. (2005). Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology*, 96, 985-1002.

- House, H.R., Gomez, M., Murty, O.S., Sun, Y. & Verma, B.N. (2000). Development of some agricultural industries in several African and Asian countries. pp 131-190. *In: Sorghum: Origin, history, technology and production.* Smith et al. (ed.). John Wiley & Sons: New York, USA.
- Kim, M. & Day, D. (2010). Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2010, 1-5.
- Lemus R., & Parrish D.J. (2009). Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(57). doi: 10.1079/PAVSNNR20094057
- Martínez S. J., Espinosa, P. N. & Cadena, I. P. (2017). Caracterización morfológica de poblaciones de maíz nativo (*Zea mays* L.) del Centro de Chiapas. *Agroproductividad*, 10(9), 26-33.
- Montes G. N., Salinas G., J. R., González, A., Loredo P., R. & Díaz P., G. (2010). Guía técnica de producción de sorgo dulce en Tamaulipas. Folleto Técnico No. 49. Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Tamaulipas, México.
- Nan, L., Best, G. & De Carvalho-Neto, C. C. (1994). Integrated energy systems in China. The cold Northeastern region experience.
- Prasad, S., Singh, A., Jain, N., & Joshi, H.C. (2007). Ethanol Production from Sweet Sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. *Energy Fuels*, 21(4), 2415-2420.
- Rajvanshi, A. K., De, T. K., Jorapur, R. M., & Nimbkar, N. (1993). Jaggery and syrup from sweet sorghum. Publication No. NARI-GUR, published by Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Phaltan, India.
- Rooney, L. & Serna-Saldívar, S. (2000). Sorghum. *En: Handbook of Cereal Science and Technology*, (Kulp, K., Ponte, J., eds.). Marcel Dekker, New York, USA.
- Saballos, A. (2008). Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop. *En: Genetic Improvement of Bioenergy Crops*, (Vermerris, W., ed.). pp. 211-248. Springer. USA.
- Serna-Saldívar, S. (2010). Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Schaffert, R. E. (1992). Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. pp. 131-137. *In: Utilization of sorghum and millets: proceedings of the International workshop on policy, practice, and potential relating to uses of sorghum and millets*, 8-12 Feb. 1988, ICRISAT Center, Bulawayo, Zimbabwe.
- Smith, G. A. & Buxton, D. R. (1993). Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Technology*, 43(1), 71-75.
- Taylor, J. R. N., Schober, T. J. & Bean S. R. (2006). Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44, 252-271.
- Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A., & Acikgoz, E. (2005). Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica B*, 55(3), 236-240.
- Turhollow, A. F., Webb, E.G. & Downing, M.E. (2010). Review of Sorghum Production Practices: Applications for Bioenergy. Oak Ridge National Laboratory. Department of Energy.
- Undersander, D. J., Smith, L. H., Kaminski, A. R., Kelling K. A., & Doll J. D. (1990). Sorghum- Forage. *Alternative Field Crops Manual*. <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/forage.html>
- Wu, X., Staggenborg, S., Propheter, J.L., Rooney, W.L., Yu, J. & Wang, D. (2010). Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. *Industrial Crops and Products*, 31, 64-170.

