

Evaluación de la adaptación aceptable en las regiones tropicales, de 5 variedades del sorgo dulce sorghum bicolor l.moench, y su calidad química para la producción de biocombustible etanol, como alternativa energética

María Arriaga, Alberto Betancourt, José Padilla, Eduardo Rodríguez y José Sánchez

M. Arriaga, A. Betancourt, J. Padilla, E. Rodríguez y J. Sánchez.
Universidad de Guadalajara,
Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Av Enrique Díaz de León Sur, Americana, Guadalajara, Jalisco.
Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo S/N, Los Frenos, 63155 Tepic, NAY.
marriaga@cucba.udg.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) Ciencias Agropecuarias, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

Sorghum is a crop that can be used for both human consumption and fodder for their great adaptability and versatility to cultivate, in addition the production of non-conventional energy, fossil know nasbiofuel. Sorghum it is a crop with high photosynthetic efficiency, high productivity, wide adaptability to different climates, rapid development, high sugar accumulation and biomass production. Sorghum sweet containing most lysucose(70-80%) ,that fructose and glucose, similar to sugar cane. This sugar can be fermented to produce ethanol or biofuel, used a sanad dative for internal combustion engines or to supplement and combine the use of fossil fuel, gasoline. The aim to use five varieties of sweet sorghum to produce ethanol and one for agevariety sorghum used as a control to determine: adaptation, growth cycle, degrees Brix(GB) and content of reducing sugars(AR). The genetic sorghum to temperate origin Theis, Topper, Dale, M81E have an acceptable adaptation in tropical regions, sorghum F-500 can be used in breeding programs to transfer genes to adapt to varieties of temperate origin sorghum and varietie sof grain sorghum. The five are suitable for bioethanol production.

15 Introducción

Es de vital importancia por la escasez de energía y el riesgo de contaminación del suelo y atmósfera, por empleo de productos fósiles no renovables, el buscar fuentes alternativas de origen vegetal renovables, limpias y sin utilizar cultivos alimenticios. En nuestro trabajo proponemos no utilizar cultivos alimenticios como el maíz en la producción de bioenergía, sobre todo porque existen fuentes de cultivos alternos tan buenos o mejores que el maíz, sugerimos sembrar sorgo en áreas no empleadas en producción de maíz, porque éste es un cereal básico de alta prioridad en la alimentación mexicana.

El sorgo dulce posee las características deseables que tienen los cultivos alternos, del cual proponemos utilizar solo su tallo para producir el biocombustible etanol y su grano destinarlo a la alimentación, de esta forma no se afectaría la canasta básica alimenticia de los países latinoamericanos. El descubrimiento prehistórico del etanol probablemente se llevo a cabo cuando se consumía fruta descompuesta y se observó que causaba intoxicación.

Este descubrimiento condujo presumiblemente a la fermentación intencional del jugo de frutas. El etanol se puede producir por la fermentación de los azúcares y almidones de muy diversas fuentes. Los granos como el maíz, trigo cebada y centeno se emplean mucho para obtenerlo, lo que le da el nombre de alcohol de grano.

Al igual que el metanol, el etanol es un combustible excelente para motores con una clasificación de octano arriba de 100. Se debe de ajustar el carburador del automóvil si ha de funcionar con etanol puro, pero las mezclas con aproximadamente 10% de etanol en la gasolina (“gasohol”) trabajan bien sin necesidad de ajuste alguno, como sucede en la actualidad en los países que emplean el etanol como oxígeno de la gasolina.

El etanol derivado del sorgo dulce contribuiría a reducir la contaminación, se generarían una gran cantidad de empleos similar a la de la industria petrolera y se obtendrían otros productos secundarios útiles como valor agregado.

El etanol es seguro, renovable y de alto octanaje, sus componentes se asimilan sin daños a la atmósfera y no contamina el agua. El sorgo dulce *Sorghumbicolor* L.Moench, el cual contiene el 15% de azúcar en su jugo contra el 7% del sorgo normal, es ideal para obtener etanol, a diferencia de la caña, se adapta al trópico y zonas templadas.

Objetivos de este trabajo

Objetivo General

Evaluar la adaptación aceptable en las regiones tropicales de 5 variedades del sorgo dulce *Sorghumbicolor* L.Moench, y su calidad química para la producción del biocombustible etanol, como alternativa energética.

Objetivos específicos

Determinar la adaptación de cinco variedades de sorgo dulce mediante la medición de las variables agronómicas, grados Brix y azúcares reductores del jugo del tallo como indicadores del potencial de estos materiales genéticos para producir el biocombustible etanol.

Llevar a cabo un análisis de correlación entre el contenido de grados Brix de esas variedades y su contenido con los azúcares reductores presentes en el jugo del tallo.

Desarrollar una ecuación de regresión para predecir el contenido de azúcares reductores mediante los grados Brix tanto a nivel general como a nivel individual o por variedad.

Estimar la proporción de glucosa con relación a otros azúcares presentes en el tallo en cada una de las 5 variedades.

15.1 Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno 2012 y primavera-verano 2013. Se utilizaron cuatro variedades de sorgo dulce aptas para producir etanol y una variedad de sorgo forrajera utilizada como testigo para determinar su adaptación, ciclo vegetativo, grados Brix (°Brix) y contenido de azúcares reductores (AR), se midieron otras variables agronómicas que pudieran correlacionarse con las principales variables medidas.

Tabla 15 Material genético

Variedad	Origen
Theis	Universidad de Mississippi Kansas State University
Topper (Topper-76-6)	Universidad de Mississippi Kansas State University
M81E	Universidad de Mississippi Kansas State University
Dale	Universidad de Mississippi Kansas State University
F-500 (testigo)	Instituto de Ciencia y Tecnología de Semillas (INCITES) Universidad de Guadalajara

Área de la parcela y densidad de población.

El área de la parcela estuvo conformada con surcos de 10m de longitud, separados a 80cm y 5 surcos por repetición, la densidad de población para todas las variedades fue de aproximadamente 312000 plantas por hectárea.

Manejo de campo o labores culturales.

Se realizaron todas las labores agronómicas, dosescardas, control de malezas manual y riegos espaciados cada 25 días de siembra a cosecha sólo en la estación de otoño invierno, para el ciclo primavera verano fue de temporal o seco.

Variabes agronómicas (datos no presentados). Se tomaron ocho variables de interés agronómico como altura apunta de la panoja (cm), altura base de la panoja (cm), el número de entrenudos de cada planta muestreada, número de hojas, altura hoja bandera (cm), días a floración (df) y la longitud de panoja(cm).

Datos para obtener en el laboratorio.1.- Grados Brix ($^{\circ}$ BrixoGB); 2.- Azúcares reductores (AR); 3.- Identificación de azúcares.

Métodos de muestreo para grados Brix. Se muestreó a madurez fisiológica (cuando el grano mostró un punto negro en el punto de inserción de la panícula) que de acuerdo a varios autores es donde el sorgo acumula la mayor cantidad de azucares. Las 5 plantas de cada parcela se obtuvieron al azar para medir el contenido de grados Brix, se utilizaron las 5 plantas de la muestra para contar con suficiente jugo en las determinaciones de laboratorio. El jugo se extrajo con un prensador manual “tipo casero” que se utiliza en la caña, este prensador manual se modifico manualmente para poder prensar con mas eficacia los tallos de sorgo que son de menor diámetro que la caña. Los grados Brix se midieron con un refractómetro manual de azucares. Azucares reductores. Los azucares reductores se midieron de acuerdo a la metodología propuesta por Laney Enyon empleando la solución de Fehling.

Reactivos y materiales

Materiales y aparatos. Bureta de 50ml graduada en 0.1ml, cápsula de níquel de capacidad adecuada, fuente de calor con regulador de temperatura, matraces aforados de 100ml, 200ml y 1000ml, matríz Erlenmeyer de 300ml, pipetas volumétricas de 5ml y 10ml, papel filtro para azúcar, papel filtro ayuda, termómetro con escala de 0°C a 100°C, y materiales comunes de laboratorio.

Aparatos: agitador eléctrico, balanza analítica con exactitud de +/-0.1mg.

Expresión de resultados

El cálculo se hizo con la siguiente formula: $r = \frac{K \times 80 \times 10000}{V \times m}$.r= porcentaje de reductores totales en la muestra; k=gramos de reductores necesarios resultantes de la titulación de la solución de Fehling; V= centímetros cúbicos de solución de reductores totales gastados en la titulación; m=gramos de muestra empleados.

Repetibilidad

La diferencia entre los volúmenes de solución de reductores totales gastados en dos titulaciones, realizadas una inmediatamente después de la otra, con el mismo analista, con la misma muestra y con los mismos aparatos no debe diferir de 0.1ml. El resultado es el promedio aritmético de las mismas.

Medición de azúcares

La medición del contenido de los azúcares: (glucosa, arabinosa, galactosa, xilosa y manosa) y el total de esos azúcares por cromatografía de alta resolución y/o espectrofotometría empleando los métodos peaknet/gluman con un detector. ED40.1AMP

Análisis Estadístico

Se llevaron a cabo los siguientes análisis estadísticos: (a)Análisis de varianza, (b)Prueba de medias de Tukey, (c)Análisis de correlación simple y (d)Análisis de regresión con el paquete estadístico SAS (StatisticalAnálisisSystem).

15.2 Resultados

En el cuadro 1, puede observarse que todas las variables mostraron diferencias estadísticas significativas con valores aceptables de coeficiente de variación y valores de R² que mostraron un buen ajuste de los datos del experimento, las diferencias estadísticas observadas sugieren que las variedades probadas poseen germoplasma diferente en su patrimonio genético, lo que permitiría establecer calendarios de siembra de acuerdo a los caracteres que posean.

Tabla 15.1 Análisis de varianza contenido de grados Brix, azúcares reductores y variables agronómicas del experimento de sorgo dulce.

Variable	Cuadrado medio	CV	R ²	Prob >F*
Grados Brix	7.4420	11.350	0.5226	0.0435
Azúcares reductores	1.3970	4.981	0.9848	0.0001
Altura punta de la panoja	0.1385	5.909	0.8043	0.0001
Altura base de la panoja	0.0807	7.939	0.7065	0.0040
Altura hoja bandera	0.9040	8.634	0.7638	0.0015
Numero de hojas	2.1456	7.513	0.7840	0.0006

*Cuando la Prob>F=ó<0.05 existen diferencias estadísticas significativas

Grados Brix en las diferentes variedades

La literatura menciona que los grados Brix del jugo del tallo dulce de sorgo es bajo antes del estadio de emergencia de la panoja, después de eso con el grano en formación, los grados Brix se incrementan en forma sostenida hasta el máximo en estadio de la cosecha, por tanto el sorgo dulce debe cosecharse cuando el grano está maduro, y se pueden obtener tanto un alto contenido de azúcar como alto rendimiento de grano.

Existen antecedentes también que los entrenados del 4 al 6 tomados desde la punta contienen mayor cantidad de grados Brix que el resto, en la presente investigación la planta total representó el promedio de grados Brix de todos los entrenados como lo sugieren estudios previos.

Comparación de grados Brix en las diferentes variedades

El análisis de varianza muestra que la diferencia fue significativa entre los grados Brix de diferentes variedades, la prueba de medias de Tukey indicó que las variedades Dale, F500, M81-E, y Topper fueron estadísticamente iguales, y diferentes a la Theis, ver en el cuadro.

Tabla 15.2 Prueba de medias de Tukey para grados Brix y azúcares reductores en las variedades de sorgo dulce y relación grados Brix azúcares reductores

Variedad	Promedio grados Brix	Promedio azúcares reductores	Relación Brix/azúcares reductores	grados	Agrupamiento Prueba de Tukey 0.05 Grados Brix Azúcares reductores
Dale	15.400	2.400	6.410		A A
F500(T)	14.000	1.114	12.567		A C
M81E	13.220	1.226	10.780		A C
Topper	12.840	1.406	9.132		A B
Theis	12.240	1.220	10.03		B C

Comparación de azúcares reductores y relación grados Brix/azúcares reductores

Con respecto a los azúcares reductores se formaron tres grupos estadísticos, sobresaliendo la variedad Dale, y enseguida la de Topper-76-6, el resto de las variedades fueron estadísticamente iguales para esta variable. Un aspecto interesante relacionado con el contenido de azúcares invertidos y su relación con grados Brix, se muestra en el cuadro; estudios recientes señalan que una variedad de sorgo dulce que puede ser procesada con éxito, debe demostrar una relación de grados Brix/azúcares reductores con un valor cuando menos de 9 y un valor de grados Brix de 12 a 15, todas las variedades evaluadas incluyendo al testigo con excepción de Dale mostraron valores superiores a 9 que las ubica como buenas opciones para emplearse como fuentes de etanol, la variedad Dale mostró la mayor cantidad de azúcares (grados Brix), pero su relación grados Brix/azúcares fue baja.

Correlación entre grados Brix y contenido de azúcares reductores

El contenido de azúcares comúnmente expresada con grados Brix del jugo, se ha encontrado que existe una relación entre este valor y contenido de azúcar, (11) para el caso del presente estudio los valores de correlación lineal encontrados fueron positivos y estadísticamente significativos como se muestra en el cuadro, esto puede proporcionar una base teórica para el mejoramiento genético del sorgo dulce y estudios de fermentación posteriores.

Tabla 15.3 Valores del coeficiente de correlación de Pearson entre grados Brix con azúcares reductores y otros caracteres agronómicos

	Azúcares Reductores	AHB	ABP	
GradosBrix	0.55536	0.46718	0.35227	valordelcoeficiente ²
GradosBrix	0.00400	0.01350	0.0842	niveldeprobabilidad

Puede observarse una correlación positiva y significativa entre los grados Brix, los azúcares reductores y las variables altura hoja bandera y altura a la base de la panoja, esto puede explicarse en el sentido que la hoja bandera es responsable del 20% de la fotosíntesis en el sorgo lo que permite acumular azúcares y fotosintatos a través de este proceso, lo anterior se confirma al observar la relación entre la altura hoja bandera y base de la panoja que variaron en forma proporcional y positiva con los valores siguientes: AHB contra ABP, 0.8960.0001 del coeficiente de correlación y nivel de probabilidades respectivamente.

Correlación lineal entre azúcares reductores y grados Brix

Por mucho tiempo se ha especulado sobre la relación entre grados Brix y azúcares totales en el sorgo dulce, así como entre grados Brix y azúcares reductores. La medición de azúcares reductores como totales son muy inconvenientes en la práctica, así es más deseable medir los grados Brix con un refractómetro del tipo WYT1 manual y convertirlos a azúcares reductores. El análisis de correlación lineal entre grados Brix y azúcares reductores mostró que existió una correlación lineal significativa como se mostró en el cuadro. La ecuación general de regresión tomando en cuenta las cinco variedades se calculó y obtuvo como sigue: $Y = -0.5427 + 0.1488R^2 = 30.84$. Faltaría probar la frecuencia de diferencias menores de 2-5% entre los azúcares reductores calculados y los medidos sobre un valor cercano al 80% lo cual sería muy aceptable. Las ecuaciones para cada variedad individual se calcularon y obtuvieron como sigue:

Tabla 15.4 Ecuaciones de predicción del contenido de azúcares reductores con base en las lecturas de grados Brix

Variedad	Ecuación	R ²
Theis	$Y = 1.2733 - 0.00436x$	0.3043
Topper	$Y = 1.6484 - 0.0188x$	0.2546
Dale	$Y = 1.8912 + 0.033x$	0.9701
M81E	$Y = 0.836 + 0.0294x$	0.4357
F500(testigo)	$Y = 0.3763 + 0.0527x$	0.9336

Basado en estas ecuaciones se puede predecir el contenido de azúcares reductores al medir los grados Brix fácilmente. Con el fin de utilizar las ecuaciones en forma más conveniente el contenido de azúcares reductores sería la variable dependiente (y) y los grados Brix (x) la independiente. Esto se podría utilizar en otras variedades de sorgo dulce además de las evaluadas. Algunos autores han encontrado mayor correlación entre el contenido de azúcares totales vs grados Brix que la encontrada en este trabajo con azúcares reductores, dado que las R² mostraron valores arriba de 90, en este estudio las ecuaciones que mostraron mejor nivel de ajuste al modelo fueron: variedad Daley el testigo, incidentalmente la primera mostró mayor cantidad de azúcares reductores que el resto del material probado, pero una relación Brix/azúcares reductores menor de 9.

Contenido de algunos azúcares principales

Existe una gran cantidad de azúcares en el tallo de sorgo, sin embargo cuantas clases de azúcares existen en el jugo aun permanece como incógnita, y los azúcares totales son mas que la simple suma de la glucosa, fructosa y sucrosa. Algunos reportes mencionan a la xilosa, ribosa, arabinosa, fructosa, galactosa, y manosa.

En el equipo utilizado en la presente investigación se encontraron: Rhamnosa, arabinosa, galactosa, Glucosa, y Xilosa, el azúcar que mostró mayor frecuencia en las muestras analizadas fue la glucosa, y la menor la manosa, la importancia de estos análisis de azúcares presentes en el jugo estriba en que algunos tienen propiedades inhibitorias en las bacterias responsables de la fermentación, lo que haría el proceso de obtención de alcohol mas limitado, este seria un criterio de selección de variedades de sorgo aptas para producir el etanol, y seria tema de estudios posteriores.

Tabla 15.5 Contenido en ppm algunos azúcares presentes en el jugo de las 5 variedades

Variedad	Rhamanosa	Arabinosa	Galactosa	Glucosa	Xilosa	Manosa
M81-E	1.720	5.63	3.57	96.65	12.52	4.000
Theis	1.717	5.86	4.72	109.37	18.97	0.000
Dale	1.106	2.53	3.96	65.39	8.52	0.000
Topper	4.009	4.49	7.43	94.64	12.70	0.000
F500(T)	0.000	8.05	9.10	110.38	16.16	0.000

Como se puede observar en el cuadro, la glucosa es el azúcar en mayor cantidad encontrada en las cinco variedades probadas y la manosa es casi inexistente, en orden decreciente los azúcares predominantes son: glucosa (que es fermentable) xilosa, galactosa casi en igual proporción, rhamanosa y finalmente manosa.

Glucosa.

La glucosa es una dextrosa que esta presente en todos los órganos de la planta y sus tejidos. La glucosa tiene dos cristales uno es alfa-glucosa separada del alcohol o solución de agua a temperatura ambiente con un punto de fusión de 146°C, la otra es la beta-glucosa que se separa de una solución caliente de piridina de 148–150°C. La glucosa es el material primario de la fotosíntesis de la planta. Para las especies C4 como el sorgo, a demás del ciclo de Calvin de la formación de la glucosa hay también un sendero de cuatro-carbonos para la fijación del CO₂ en las células del mesófilo, por tanto hay un gran potencial para la asimilación del CO₂. El sorgo dulce es un cultivo C4, con un punto de compensación de CO₂ más bajo, alto punto de saturación de luz y baja foto respiración, en los trópicos y zonas templadas, por lo mismo posee una alta productividad biológica, crece en muy poco tiempo como se observó en el desarrollo del presente trabajo. La glucosa es un sustrato de la respiración y también un componente de la sucrosa, almidón y celulosa. Como un azúcar reductor, la glucosa puede fermentarse utilizando *Sacharomyces* en la fermentación, véase esquema de obtención de alcohol en cuadro. Se producen un aldehído acético y CO₂ através de la descarboxilación del ácido pirúvico formado de la dehidrogenación de la glucosa, entonces el aldehído acético se deshidrogena y se produce el alcohol, el proceso completo es bajo condiciones anaeróbicas y condiciones enzimáticas lo que es conocido como producción de alcohol a través de la fermentación.

El cuadro, muestra los promedios de días a floración, siendo el más precoz la variedad Topper 76-6 y el más tardío el Dale, el testigo F-500 con 58 días, la figura muestra lo compacto de la variación dentro de cada tratamiento en evaluación. En la altura de planta los promedios fueron para la más alta Dale con 217.7cm y Theis con 174.9cm, el material testigo F-500 presentó una altura de 193.6cm considerada adecuada, dado que es una variedad forrajera.

La variable número de hojas el promedio para M81E con 7.44 hojas por planta y el promedio bajo lo presentó Topper76-6 con 6.84. La variable grados Brix el promedio más alto fue para el tratamiento Dale con 19.88, el promedio bajo el tratamiento M81E con 16.28, el testigo forrajero presentó 16.60 de °Brix, la figura muestra la variación dentro de cada tratamiento para los grados Brix.

Tabla 15.6 Promedios del material genético sembrado en La Huerta, Jalisco, México

Características	M81 E	Theis	Dale	Topper7 6-6	F-500
Días al 50% de antesis (d)	64	60.8	71.6+	56.2*	58
Altura de planta (cm)	198.3	174.9 *	217.7 +	197.2	193.6
Número de hojas	7.44+	6.88	7.04	6.84*	7.24
Número de granos por panoja	1783	1066 *	2675 +	1384	1707
Peso de 1000 granos (g)	19.02 *	23.46	21.18	22.74	40.36 +
Contenido de azúcar en el 5to. nudo del tallo en madurez fisiológica (°Brix)	16.28 *	17.44	19.88	17.88	16.60 +

+ = valor alto; * = valor bajo

Discusión

Las variedades de sorgo dulce mostraron excelente adaptación a las condiciones climática, con diferencias estadísticas significativas para grados Brix, azúcares reductores, altura de planta, altura de hoja bandera y número de hojas.

Se encontraron correlaciones estadísticas significativas importantes entre azúcares reductores y valores agronómicos como altura de la hoja bandera y altura a la base de la panoja, donde se concentra el 20% de la fotosíntesis de la planta de sorgo. Los grados Brix se midieron a la madurez comercial donde se acumula la mayor cantidad de azúcares en el tallo, se puede aprovechar así el tallo para etanol y el grano para alimento o etanol. El análisis de varianza y la prueba de medias mostraron diferencias estadísticas significativas para esta variable. Se encontró una correlación estadísticamente significativa entre grados Brix, azúcares reductores, por tanto una ecuación general de regresión y otras ecuaciones individuales por variedad pueden estimar el contenido de azúcares reductores con base en las lecturas de grados Brix en el campo.

El total del contenido de azúcares fue muy alto en el jugo del tallo, pero no todos son fermentables, la fermentable glucosa fue dominante sobre el resto de los azúcares identificados en el análisis de laboratorio.

Las cuatro variedades de sorgo dulce y la variedad de sorgo forrajera utilizada como testigo son aptas para obtener bioetanol debido a su elevado contenido en grados Brix del 12–15; en azúcares reductores 1.114–2.400; y su alta concentración de glucosa. La remolacha y la caña azucarera se siembran en grandes áreas de Europa, en México es prácticamente desconocida pero con un buen potencial como fuente de energía renovable.

Sin embargo al compararlo con estos dos cultivos el sorgo posee amplias ventajas: puede sembrarse en prácticamente todas las áreas templadas y tropicales, la caña solo prospera en los trópicos, requiere un ciclo más corto para producir (un ciclo de caña por tres o cuatro de sorgo), requiere menos agua y fertilizante que la caña, tolera las enfermedades y plagas y su cosecha es más limpia porque no se necesita la quema de las hojas para cosecharse, además de lo anterior produce grano alimenticio, jarabe, azúcar, forraje para el ganado, material de construcción, acondicionadores del suelo y biofertilizantes, biogás y papel de la pulpa lo que evitaría la tala de bosques, por lo anterior es un cultivo único en el mundo del que se puede obtener un biocombustible bioenergético renovable y altamente sostenible.

Es por tanto importante aprovechar las opciones que la ciencia y tecnología dispone para construir un país como México en una civilización sustentable para beneficio de sus habitantes. Por los resultados obtenidos podemos decir que fácilmente el sorgo dulce compite con el maíz y la caña.

15.3 Conclusiones

Los materiales genéticos de origen templado Theis; Topper-76-6; DaleyM81E tienen una adaptación aceptable en las regiones tropicales. Con el testigo F-500 se pueden realizar cruzamientos para mejor adaptación y productividad con los sorgos dulces de origen templado, así se incorporarán genes “dulces” a otros sorgos de grano y forrajeros potencialmente productivos, derivados del programa de mejoramiento genético del INCITES (Instituto de Ciencias y Tecnología de Semillas).

Los grados Brix se midieron a la madurez fisiológica del grano, donde se acumula la mayor cantidad de azúcares en el tallo, y se puede aprovechar tanto el tallo como el grano (si así se desea), para obtener etanol. En investigaciones posteriores se medirán los residuos para producción de biofertilizantes.

Las cuatro variedades de sorgo dulce y la variedad de sorgo forrajera utilizada como testigo son aptas para obtener bioetanol debido a su elevado contenido en grados Brix del 12–15; en azúcares reductores 1.114–2.400; y su alta concentración de glucosa.

La ecuación de regresión para la predicción del contenido de azúcares reductores presentó alta correlación sólo para dos tratamientos.

15.4 Referencias

Breedingsweetsorghumfortheproductionofsugar.1988.Afinalprojectreportsubmittedtothe UnitedStatesDepartmentofAgriculture,by the Nimbkar Agricultural Research Institute, Phaltan.44pp.

Breedingsorghumforgrainandsugar.1992.AfinalprojectreportsubmittedtotheIndianCouncilofAgriculturalResearch,NewDelhi,bytheNimbkarAgriculturalResearchInstitute,Phaltan.76pp.

Developmentofsweetsorghum[*Sorghumbicolor*(L.)Moench]linesgivinghighstalkyieldandgoodqualityjuiceforproductionofindustrialethylalcohol.1995.AfinalprojectreportsubmittedtotheMinistryofNon-conventionalEnergySources,NewDelhibytheNimbkarAgriculturalResearchInstitute,Phaltan,83pp.