

Título del proyecto:

**Estudio del Sorgo Dulce como alternativa de cultivo energético
en la producción de energías alternas renovables**

Palabras claves: Sorgo dulce, energías renovables, energías alternas, bioetanol, estudio genotipo ambiente, *Sorghum bicolor* (L.) Moench

Ing. Ramón Varela Morales, M.Sc.
CERTA Research & Consulting, Inc.
rvarela@certa.cc
rvarela.certa@gmail.com
©2007-2010 Todos los derechos reservados

Resumen

Las características del Sorgo Dulce, que incluyen un contenido energético comparable al de la caña de azúcar, considerando hasta tres cosechas por año en climas tropicales, y una mejor adaptabilidad a suelos pobres, hacen de esta planta un candidato ideal para la producción de biocombustibles; en particular, bioetanol.

Así, en la primera etapa se validó la adaptabilidad de diversas variedades a distintos suelos y condiciones climáticas encontradas en Panamá, comparando el rendimiento de las mismas en tres diferentes regiones del país.

El objetivo general era seleccionar, de un total de quince variedades de sorgo dulce importadas de Colombia, los genotipos mejor adaptados (en términos de rendimiento de biomasa y producción de azúcar) para la producción de alcohol carburante en tres distintas ecoregiones de sorgo de Panamá (Divisa, provincia de Herrera; El Ejido, provincia de Los Santos; y Alanje, provincia de Chiriquí) y conocer algunos detalles de su manejo agronómico.

Luego de concluida la primera de tres etapas, se escogieron las dos variedades que, considerando las tres localidades seleccionadas, alcanzaron los mayores rendimientos y mostraron mejor adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas específicas de cada lugar; éstas resultaron: LASPHT-81 y LASPHT-40.

En la segunda etapa se multiplicó la semilla de las dos variedades sobresalientes, para iniciar la tercera etapa, cuyo objetivo fue lograr un *primer acercamiento* al manejo agronómico de estas variedades (arreglos topológicos, número de cultivos por año, mejores épocas de siembra, manejo de la fertilización, entre otras) con el objetivo de mejorar el rendimiento de la cosecha.

Abstract

The characteristics of Sweet Sorghum, that include a comparable energy content to that of sugar cane, considering up to three harvests per year in a tropical climate, and better adaptability to poor soil, make this plant an ideal candidate for the production of bioethanol.

Thus, on the first phase of this project, we studied the adaptability of several varieties to different soils and climatic conditions found in Panama, obtaining crop yields in three regions, validating its potential for use in our country.

The general objective was to select, from a total of 15 sweet sorghum varieties imported from Colombia, the genotypes better adapted (in terms of biomass and sugar yield), suitable for the production of bioethanol, in three different sorghum eco-regions of Panama (Divisa, Province of Herrera; El Ejido, Province of Los Santos; and Alanje, Province of Chiriquí), and to understand some details concerning their agronomic management.

After concluding the first of three phases, two varieties were chosen, considering all three test locations, which showed the highest yields and exhibited the best adaptability to the particular climatic conditions of each experimental site. These were: LASPHT-81 and LASPHT-40.

Seed of these two outstanding varieties were produced during the second phase, in order to reach the third phase for which the objective was to obtain a first approach to the agronomic management (topological arrangements, number of crops per year, best planting dates, fertilizer management, among other characteristics) required to improve the crop's yield.

I. Introducción

La crisis desencadenada a partir del incremento brusco en los precios internacionales del petróleo, añadida al ya evidente calentamiento global, hacen que ya no se dude en buscar alternativas viables para disminuir la dependencia energética del petróleo y disminuir la capacidad contaminante de sus derivados.

El Sorgo Dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) está siendo utilizado en algunos países que han incursionado en la producción y uso de etanol como complemento energético a los derivados del petróleo, independientemente de que sea la caña de azúcar la más utilizada pues, dado su uso durante muchísimo tiempo en la producción de azúcar, sus características y comportamiento agronómico son bien conocidas.

Las características del Sorgo Dulce, que incluyen un contenido energético comparable a la caña de azúcar, considerando hasta tres cosechas por año en climas tropicales y una mejor adaptabilidad a suelos pobres, hacen de esta planta un candidato ideal para la producción de combustibles a partir de fuentes renovables. Actualmente los mayores cultivadores de Sorgo Dulce en el mundo son India, China y Estados Unidos.

En Colombia se han venido realizando importantes estudios con diversas variedades de Sorgo Dulce, los cuales han logrado maximizar la producción energética ajustándose al clima y a las condiciones locales.

El objetivo de nuestro estudio, en colaboración con la empresa CAMG de Colombia, que ha participado en varios de los estudios efectuados en ese país en conjunto con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), es comprobar la adaptabilidad de esas variedades a distintos suelos y condiciones climáticas encontradas en Panamá, comprobando el rendimiento de las mismas en esas regiones y validando su utilización potencial en nuestro país.

Beneficios y principales beneficiarios

1. La población del país en general sería beneficiada, ya que la producción de bioetanol en Panamá disminuiría nuestra dependencia del petróleo sin encarecer el combustible, mejorando a la vez la calidad de los gases resultantes de la combustión de la gasolina y el diesel
2. También se beneficiaría la población de las áreas donde se establezcan los cultivos y las plantas de producción de alcohol carburante, ya que el proyecto brindaría muchas oportunidades de trabajo directas e indirectas en regiones con carencias de puestos de trabajo y de agroindustrias
3. La economía del país en general sería beneficiada, ya que se ahorra la importación del producto reemplazado, y además se podría exportar el excedente, aumentando nuestras exportaciones y mejorando nuestra balanza comercial

Impacto esperado

Panamá debe incorporarse lo más rápidamente posible a la generación de energías renovables diferentes a la hidráulica, la cual ha sido tradicionalmente utilizada en Panamá, dado que la producción de energía eléctrica, como un todo, es sólo aproximadamente un tercio de la energía utilizada en el país, lo cual implica que de no haber reemplazo del petróleo y sus derivados continuaríamos dependiendo de los combustibles fósiles para 2/3 de la energía utilizada.

Además, abrir en forma definitiva la puerta a otras posibilidades de producción energética es de gran impacto, no sólo por los resultados de la investigación específica, sino por la reiteración de la capacidad de Panamá de incursionar en vías innovadoras para el país.

En este caso concreto nos estamos apartando del molde tradicional que señala a la caña de azúcar como prácticamente la única alternativa económica viable en nuestro clima para la producción de alcohol carburante.

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Evaluar variedades mejoradas de sorgo dulce para la producción de alcohol carburante en tres regiones en Panamá y evaluar un primer acercamiento a técnicas de manejo agronómico para mejorar la producción de las variedades seleccionadas.

Para lograr este objetivo se realizó una validación con base en un estudio de clima y suelos de acuerdo a los requerimientos del Sorgo Dulce y de la producción y comercialización agroindustriales futuras. Se incorporó en el proyecto a una entidad oficial (IDIAP) con el objeto de obtener una validación de los resultados finales del estudio.

Objetivos específicos

- Hacer un estudio preliminar de clima y suelos para validar la selección de las áreas específicas para las siembras. Para ello se adquirieron los mapas de suelo y clima disponibles en Panamá y se tomó en cuenta, además, las características del área para la producción y distribución del producto final.
- Obtener variedades de sorgo dulce con adaptación específica al país, en las regiones escogidas para la producción de alcohol carburante.
- Establecer un primer acercamiento a las estrategias de manejo agronómico con el objetivo de optimizar la producción de biomasa vegetal y óptimos niveles de azúcares totales del sorgo dulce para las variedades seleccionadas.
- Evaluar el contenido de azúcares del jugo (^oBrix) para la obtención de alcohol a partir del Sorgo Dulce, y obtener valores para el rendimiento de las siembras.

Colaboradores del proyecto

Jaime Bernal. I.A. MSc. Ecofisiología: Es el experto en el manejo agronómico y la fisiología de la planta frente a diferentes condiciones ambientales.

Jorge Guzmán N. Ingeniero Químico: El Ing. Guzmán se ocupó de la coordinación del trabajo agroindustrial con la empresa CAMG.

Ing. Ramón Varela Morales, M.Sc.: Es Ingeniero Electro-mecánico, con maestría en Ciencias Computacionales, y panameño de nacionalidad. Tiene conocimientos de los procesos de generación de energía y de montaje industrial y operación de plantas de molienda de caña de azúcar y destilación de alcohol. Tuvo a su cargo asegurar la mayor transferencia de tecnología posible y de administrar el proyecto.

Ing. Javier García: Es Ingeniero Mecánico-Industrial, con Maestría en Gerencia Ejecutiva y post grado en Finanzas. El Ing. García prestó apoyo al trabajo del gerente del proyecto.

Por el IDIAP los investigadores durante la primera etapa fueron Román Gordón M, Coordinador del Proyecto, Ovidio Castillo y José A. Quintero, Equipo Técnico de Investigación del Proyecto, y José A. Yau, Coordinador de las Pruebas Genotipo / ambiente IDIAP. Durante la tercera etapa, los investigadores fueron Nivaldo de Gracia y Ovidio A. Castillo, coordinados por Marco Navarro.

II. Materiales y métodos

ETAPA 1

En esta etapa se realizó la selección de los tres sitios de siembra, la importación de la semilla y la siembra inicial. Así mismo, se procedió a evaluar la producción inicial y validar los rendimientos obtenidos. Según dichos rendimientos se efectuó la selección de variedades para ir mejorando los mismos en las próximas etapas mediante técnicas de manejo agronómico.

Para el desarrollo de esta etapa se importó la semilla de las variedades de Sorgo Dulce que han presentado resultados promisorios en la producción de biomasa y contenido de azúcares totales en Colombia, para sembrarlas en tres localidades previamente seleccionadas en Panamá. Lo ideal en esta etapa era seleccionar áreas que han tenido alguna tradición de siembras con el cultivo de sorgo, maíz y / o caña de azúcar, óptima localización geográfica y que tengan disponibilidad de los recursos necesarios para la ubicación del proyecto agroindustrial de producción de alcohol carburante, comida para ganado y generación de energía eléctrica.

Objetivos específicos Etapa 1:

1. Caracterización del suelo en donde se va a realizar la siembra de los materiales de sorgo.
2. Caracterización climática de la zona de estudio.
3. Preparación del suelo para el establecimiento apropiado del cultivo.
4. Elaboración del plan de fertilización del cultivo con base en los resultados del análisis químico de suelos.
5. Siembra manual de los genotipos en las parcelas asignadas a cada genotipo.
6. Mantenimiento de los ensayos durante la etapa de crecimiento y desarrollo del cultivo.
7. Visitas periódicas para tomar datos sobre épocas de floración y cosecha de los materiales, y registro de plagas y enfermedades que afectan el desarrollo del cultivo.
8. Cosecha y análisis de las características y rendimiento de los diferentes materiales.
9. Análisis estadístico de la información y selección de los mejores materiales.

Productos de la Etapa 1:

1. Informe de rendimiento de las primeras cosechas. Los parámetros principales son el rendimiento de biomasa y niveles de azúcares (grados Brix) de la cosecha.
2. Informe de acciones y mejoras a tomar en cuenta en la segunda etapa, con el objetivo de mejorar los factores antes indicados, así como cualquier otro elemento que afecte los mismos.

Localización de los experimentos:

El presente estudio se estableció en tres localidades ubicadas en regiones con clima y suelo contrastante

de Panamá. Los ensayos fueron sembrados en fincas experimentales del IDIAP. En el Cuadro 1, se presenta las localidades, donde se hicieron las evaluaciones durante el ciclo de siembra.

Cuadro 1. Localidades donde se evaluaron los cultivares de sorgo dulce. IDIAP 2007.

Localidades	Distritos	Provincia	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Fecha de Siembra	Fecha de cosecha
1. Alanje	Alanje	Chiriquí	N 8° 23'47''	O 82° 33'34''	32	9/11/07	4/03/08
2. Divisa	Sta. María	Herrera	N 8° 07'34''	O 80° 41'32''	19	29/08/07	3/01/08
3. El Ejido	La Villa	Los Santos	N 7° 54'13''	O 80° 22'30''	30	25/09/07	9/01/08

Material genético:

El grupo de variedades de sorgo dulce evaluadas proceden de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), localizado en la comunidad de Villavicencio, Colombia. Todas corresponden a variedades de polinización abierta (Cuadro 2). Se incluyó el híbrido comercial forrajero 955 F como testigo local.

Cuadro 2. Variedades de sorgo dulce evaluadas. Panamá, 2007.

Variedad	Origen
1. LASPHT-8	CORPOICA
2. LASPHT- 22	CORPOICA
3. LASPHT- 33	CORPOICA
4. LASPHT-40	CORPOICA
5. LASPHT- 44	CORPOICA
6. LASPHT- 45	CORPOICA
7. LASPHT- 46	CORPOICA
8. LASPHT- 71	CORPOICA
9. LASPHT- 74	CORPOICA
10. LASPHT- 77	CORPOICA
11. LASPHT- 78	CORPOICA
12. LASPHT- 81	CORPOICA
13. LASPHT-94	CORPOICA
14. LASPHT -98	CORPOICA
15. LASPHT-108	CORPOICA
16. 955 F	Pioneer

Caracterización edáfica:

Antes de la siembra del ensayo se tomaron varias muestras de suelo para su análisis físico-químico en cada una de las localidades. Las mismas fueron extraídas en cada uno de los bloques a una profundidad de 0-20 cm. Estas fueron homogenizadas y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP, en donde se realizó el análisis según Díaz-Romeu y Hunter (1978). En el Cuadro 3 se presentan los resultados de estos análisis de suelo por localidad evaluada.

Cuadro 3. Resultados de los análisis de suelo de las localidades, Panamá 2007.

Localidad	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu	M.O. %	Textura (%)
		(mg/l)	(cmol/kg)			(mg/l)						
El Ejido	4.3	2.0	74	4.6	2.9	0.2	36	14	0.1	3	1.8	48-18-34
Divisa	5.1	6.0	74	4.4	2.0	0.4	43	26	107	2	1.8	40-20-40
Alanje	5.4	5.0	90	2.9	1.0	0.1	3	6	1	1	16.1	64-30-06

El análisis de suelo de El Ejido y Divisa son parecidos con la diferencia de que El Ejido es muy ácido (pH=4.3) mientras que Divisa es ácido (pH=5.1); en lo que respecta a la fertilidad, son muy bajos en fósforo, medio en potasio, calcio, manganeso y cobre. Bajos en aluminio, hierro y zinc. Ambos son altos en magnesio y con una textura franco-arcillo-arenosa y franco arcillosa, respectivamente. Ambos suelos son de un contenido muy bajo de materia orgánica. Presentan baja saturación de bases. La localidad de Alanje resultó ser de un pH ácido, muy bajo en fósforo, moderado en potasio, calcio y magnesio, bajo en manganeso, aluminio, hierro, zinc y cobre y un contenido elevado de materia orgánica. La textura es clasificada como franco-arcillo-arenosa. Son suelos con influencia volcánica. De acuerdo a estos análisis de suelo, a cada ensayo se le aplicó a la siembra 227 kg ha⁻¹ de 13-26-6-7 en forma de abono completo. La fertilización suplementaria consistió de dos aplicaciones de nitrógeno en forma de urea, la primera a los 21 días después de siembra (dds) y la segunda a los 37 dds (159 y 204 kg ha⁻¹, respectivamente).

Características climáticas:

Se tomaron datos de la precipitación pluvial de las tres localidades durante el desarrollo del cultivo. Los datos se presentan en el Cuadro 4 y en el mismo se puede observar la diferencia en precipitación entre las tres localidades, siendo El Ejido la más seca (951 mm), seguida por Divisa (2044 mm) y Alanje (3195 mm). La alta precipitación en noviembre y diciembre en Divisa y Alanje fueron causantes de la alta incidencia de enfermedades en el desarrollo del cultivo.

Cuadro 4. Precipitación pluvial (mm) en estaciones experim. del IDIAP, Panamá 2007.

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Alanje	30	0	32.5	195	445	245	312.5	365	460	640	240	230	3,195
Divisa	0	0	0	83	304	227	206	332	251	164	328	148	2,044
El Ejido	0	0	0	0	105	46	66	136	141	224	139	94	951

Manejo agronómico:

El sistema de preparación del suelo en todos los experimentos consistió en dar de dos a tres pases de semi-roma, hasta dejar el suelo desmenuzado o suelto. Siguiendo el procedimiento recomendado por la contraparte técnica del IDIAP, se realizó la siembra inicial a chorro a razón de unas 150 semillas por hilera, para luego, una vez se establecieron las plántulas, entresacar o ralea, dejando 10 plantas por metro lineal. El control de malezas consistió en la aplicación en pre-emergencia de atrazina y glifosato a razón de 1.50 y 1.84 kg i.a./ha, respectivamente. No se realizó ningún control de plagas durante el desarrollo del cultivo.

Diseño Experimental:

La parcela experimental consistió en 2 hileras de 5 metros de largo, con una separación de 0.60 m entre hilera. La parcela efectiva estuvo constituida por la sección central de ambos surcos (2.0 m), dejando de borde 1.50 m en ambos extremos, para obtener un área efectiva de 2 m²

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$X_{ijk} = \mu + G_i + B_j + A_k + (GA)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

en donde:

X_{ijk} = Valor del carácter estudiado	A_k = Efecto de ambiente
μ = Media general	$(GA)_{ik}$ = Efecto de la interacción Genotipo por ambiente
G_i = Efecto de Genotipo	ϵ_{ijk} = Error Experimental
B_j = Efecto de repetición	

Los datos tomados incluyeron variables cuantitativas, que son altamente influenciadas por el ambiente como son: altura de planta (en el estado de grano lechoso a pastoso), enfermedades, diámetro a 1 y 2 metros de altura de un tallo cortado al azar desde la base (en el estado de grano lechoso a pastoso), biomasa total (tallos + hojas + panojas) en el estado de grano lechoso a pastoso, y la medida separada del peso de tallos, hojas y panojas. Se tomó el peso de dos tallos defoliados seleccionados al azar, el peso y volumen del jugo extraído de estos dos tallos así como el Brix del jugo extraído. También se midió los días a floración y la población de plantas al momento de la cosecha. A los datos se les realizó un análisis de varianza y las medias se separaron utilizando la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS).

ETAPA 2

Los materiales de mejor comportamiento en la primera evaluación se multiplicaron para contar con semilla suficiente para realizar las pruebas en la etapa final.

Se sembró ½ hectárea de dos variedades con mejor comportamiento agronómico para realizar un análisis de viabilidad económica de las variedades seleccionadas por su capacidad de producción de alcohol carburante. Ésta se realizará en la tercera etapa. Se tiene proyectado realizar esta siembra manualmente, a menos que en la región se cuente con maquinaria apropiada para realizar la siembra con sembradora abonadora.

Objetivos específicos Etapa 2:

1. Obtener semilla suficiente de las variedades de mejor rendimiento de cara a la tercera etapa.

Productos de la Etapa 2:

1. Informe de la producción de semilla de las variedades de mejor rendimiento de cara a la tercera etapa, así como de cualquier acción o mejora recomendada de cara a la tercera etapa.

Se solicitó a CAMG-CORPOICA que se produjera en Colombia semilla de las dos variedades con mejor comportamiento agronómico y rendimiento, según los resultados de la primera etapa. El trabajo de la segunda etapa fue coordinado por el Ing. Jaime Bernal Riobo.

Producción de semilla de las variedades LASPHT-81 y LASPHT-40:

La semilla fue producida en lotes de polinización controlada; se realizó el manejo agronómico y en el momento de floración se procedió al embolsado de las panojas para protegerlas de contaminación con polen extraño y asegurar de esta manera la pureza del material.

Durante el tiempo de embolsado, al interior de la bolsa se le aplicó una mezcla de insecticida y fungicida para proteger el grano. La cosecha se realizó cada material por separado; las panojas fueron llevadas al sitio de trilla en donde se realizó el desgrane de las panojas con una trilladora experimental. Una vez terminada la trilla se procedió a limpiar la trilladora para evitar la contaminación del siguiente material.

Luego de esto se separaron unos 100 gramos de semillas, las que fueron enviados al laboratorio del ICA para el análisis especial requerido por las autoridades fitosanitarias de Panamá, sobre la presencia de fitopatógenos, con resultados negativos. Estos resultados fueron enviados junto con la documentación que acompañó al envío de semillas. El resto de las semillas se trató con una mezcla de insecticida y fungicida, y posteriormente las semillas fueron enviadas directamente al IDIAP, en Panamá, según el protocolo acordado.

ETAPA 3

Se realizó un primer acercamiento a las técnicas de manejo agronómico para optimizar el rendimiento de las variedades seleccionadas. Los estudios sobre manejo agronómico del cultivo se realizaron con los dos mejores materiales seleccionados de las evaluaciones realizadas en la primera etapa. La valoración agronómica comprendió los siguientes aspectos importantes a considerar:

1. Densidad y distancia de siembra de los genotipos, para alcanzar mayor producción de azúcares fermentables por área de cultivo;
2. Ajuste del plan de fertilización de acuerdo al material seleccionado y a la fertilidad del suelo utilizado;
3. Épocas recomendadas de siembra en el cultivo de sorgo dulce, para medir la capacidad productiva del cultivo de acuerdo a la oferta climática y edáfica. Igualmente nos permitirá identificar las necesidades de riego suplementario.

Objetivos específicos, Etapa 3:

- Obtener una primera aproximación hacia las prácticas de manejo agronómico del cultivo de sorgo dulce en Panamá.

Productos esperados, Etapa 3:

1. Informe sobre recomendaciones de una primera aproximación hacia las prácticas de manejo agronómico del cultivo de sorgo dulce en Panamá.
2. Informe final sobre el potencial del cultivo en Panamá del Sorgo Dulce como biomasa (Ton/ha), volumen de jugo y grados Brix, para la producción de alcohol carburante, incluyendo los requerimientos de clima y suelo mínimos que se necesitan para alcanzar un crecimiento y desarrollo apropiado del cultivo.

Actividades desarrolladas en la tercera etapa:

La tercera etapa se concibió para lograr un primer acercamiento al manejo agronómico recomendado con el objeto de mejorar el rendimiento logrado en la primera etapa, con base a la consideración de densidad y distancia de siembra de los genotipos, ensayo con variaciones de fertilización y las consideraciones clima y suelo, así como las necesidades de riego.

Cabe notar que la fecha típica para la siembra en sorgo en Panamá es entre el mes de julio y septiembre. Por tanto, se requirió la inclusión de riego durante el ensayo para llevar a cabo la tercera etapa durante los meses secos (enero a abril 2010). Adicionalmente, cabe señalar que el año 2009 fue un año extremadamente seco, y no era posible llevar a cabo la tercera etapa sin riego, y tampoco resultaba factible esperar hasta la estación lluviosa de 2010 para iniciar la tercera etapa.

Se había planeado llevar a cabo los ensayos correspondientes a la tercera etapa en dos localidades, Divisa y El Ejido, uno como respaldo del otro. No obstante, la semilla de sorgo dulce es muy delicada y la espera de tantos meses por demoras fuera de nuestro control hizo que la germinación resultara disminuida al punto que el ensayo en Divisa tuviera que ser cancelado, ya que la germinación fue muy escasa y no se contaba con semilla disponible para repetirlo.

Así, se llevó a cabo el ensayo en El Ejido, con una germinación inicial baja, que se compensó con resiembra, llegando a valores aceptables para el ensayo con la variedad LASPHT-81, la de mejor rendimiento en la etapa I, y resultados parciales para la variedad LASPHT-40.

Con respecto al ensayo de fertilización, se utilizó además del fertilizante químico utilizado tradicionalmente, una combinación en diferentes proporciones con un fertilizante orgánico potenciado con micorrizas.

Dicho fertilizante, Abonotec^{Plus}, es un nuevo fertilizante disponible localmente, el cual está compuesto por un sustrato orgánico producto de compostaje de materia orgánica, industrialmente esterilizado con métodos biológicos, al cual en su etapa final de elaboración se le agrega una proporción adecuada de esporas de micorrizas que potencia su capacidad.

El componente orgánico fortalece el suelo y su biota, obteniéndose mejoras a mediano y largo plazo, y las micorrizas tienen un efecto sobre la raíz aumentando la capacidad de absorción radicular de los nutrientes y mejorando el proceso fotosintético.

Para determinar el arreglo espacial más adecuado se utilizó el diseño experimental de franjas divididas no aleatorizadas con tres repeticiones (se fijaron las franjas para facilitar el manejo de los circuitos de riego), se analiza de manera similar al diseño de parcelas divididas; pero, con la salvedad de que no es válido comparar las parcelas grandes (distancia entre surcos), ni la comparación de estas para los niveles específicos de los tratamientos de parcelas pequeñas. Los tratamientos para la parcela grande: **distancia de siembra entre hileras (50, 60 y 70 centímetros)** y para la parcela pequeña: **distancias de siembra entre plantas (10, 15 y 20 centímetros)**. Cabe destacar que este diseño se aplica cuando el interés es buscar mayor precisión en la respuesta de las parcelas pequeñas (distancias entre plantas e interacción). Esto implica que las parcelas grandes no son notorias en la búsqueda del objetivo del ensayo.

El modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + r_i + dh_j + e(r*dh)_{ij} + de_k + (dh*de)_{jk} + e(r*dh*de)_{ijk}$$

donde:

Y_{ij} = variables de respuesta

M = Media general

r_i = efecto de la i -ésima repetición

dh_j = efecto de la j -ésima distancia entre hileras

e $(r*dh)_{ij}$ = error aleatorio asociado a la parcela grande (error a)

d_k = efecto de la k -ésima distancia entre planta

$(dh*de)_{jk}$ = Efecto de la interacción de la i -ésima distancia entre hilera por la k -ésima distancia entre planta.

e $(r*de)_{ijk}$ = error aleatorio asociado a la parcela pequeña (error b)

La baja germinación se compensó con resiembras para obtener la densidad deseada. Se usó riego por goteo durante el ciclo del cultivo hasta la cosecha y ésta se realizó a los 90 y 100 días después de siembra.

La fertilización se realizó con abono completo 13-26-6-7 a razón de 3 qq ha⁻¹ a la siembra (16.32 Kg de N; 32.65 Kg de P₂O₅ y 16.32 Kg de K₂O ha⁻¹ respectivamente) y 5 qq ha⁻¹ de Abonotec^{plus}. Se realizaron dos aplicaciones de 3.5 qq/ha de urea (73.23 kg N ha⁻¹), a los 21 y 37 días después de siembra. El Control de maleza se hizo con Gesaprin, a razón de 2 litros/ha. Controles manuales según fuera necesario.

Las variables estudiadas fueron: Floración (días), Altura de planta, enfermedades foliares, Peso verde total, Peso verde tallo, Peso verde hoja, Peso verde panoja, Diámetro a 1 metro, Diámetro a 2 metros, peso del jugo, Volumen del jugo, Contenido de azúcar (BRIX) y Rendimiento de materia seca.

En la prueba de fertilización se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Se evaluaron 5 proporciones de dos fuentes de fertilizantes. Se usó la variedad LASPHT-81, de sorgo dulce. Los semilleros se hicieron el 11 de Diciembre del 2009, en casa de vegetación (bandejas germinadoras). Fueron trasplantadas en campo 11 días después y sometidas a riego por goteo durante el ciclo del cultivo hasta la cosecha. Esta osciló entre los 90 a 100 días después de siembra.

Las fuentes de fertilizante usadas: Abono completo 13-26-6-7 (A) y ABONOTEC-PLUS, un fertilizante orgánico mineral potenciado con micorrizas (B) en el cuadro 1.

Cuadro 1. Fuentes de fertilizantes utilizadas (Tratamientos).

T1	T2	T3	T4	T5
100% A	70% A	50% A	30% A	
	30% B	50% B	70% B	100% B

Se utilizó 5 quintales de la mezcla de abono completo formula 13-26-6-7, y ABONOTEC PLUS por hectárea al momento de la siembra, en diferentes proporciones o tratamiento (Cuadro 2). Se aplicaron 3.5 qq de Urea a los 21 días después de siembra y, posteriormente, a los 37 días se aplicó

en banda 4.5 quintales por hectárea a todos los tratamientos.

Cuadro 2. Descripción de la proporción de las fuentes de fertilizantes por Tratamientos.

Tratamientos	13-26-6-7 Kg/ha	ABONOTEC- PLUS
1	227	0
2	159	68
3	113	113
4	68	159
5	0	227

Todos los tratamientos se mezclaron para una sola aplicación, al momento de la siembra. Pero la mezcla se aplicó inmediatamente, de lo contrario, con el paso de las horas, se hacía “pegote”, y dificultaba la aplicación. La urea se aplicó a los 21 y 37 días después de siembra, a razón de 3.5 y 4.5 qq/ha respectivamente.

El Control de Malezas se realizó de forma manual con azadón y se le realizaron varios controles de insectos por lo apetecible del cultivo.

La unidad experimental (parcela): 4 hileras de 5 metros de largo por 0.60 metros entre hileras y 0.15 metros entre plantas. La parcela efectiva constituida por las dos hileras centrales de 5 metros de largo y 1.20 metros de ancho, con área efectiva de 6.0 m². Se cosechó un metro lineal de cada tratamiento, para realizar los análisis.

Las variables de respuestas: Número de plantas, Altura de planta, Numero de tallos, Plantas por metro lineal, Peso por metro lineal, Peso total de las plantas, peso de los tallos, peso de las hojas, Peso de panoja, Diámetro a un metro de altura y dos metros de altura., Peso del jugo en Kg, Volumen del jugo en MM. y el Brix en porcentaje. Estas variables fueron tomadas sobre la base del cuadro solicitado a los 90 días después de siembra.

III. Resultados y Discusión

Etapa I

Análisis de Varianza:

En el Cuadro 5, se presentan los resultados de la significación de la prueba F de las características agronómicas y composición morfológica evaluada en 16 cultivares de sorgo dulce en tres localidades. Se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para el efecto de localidades en todas las características incluidas en el análisis, excepto para la variable diámetro a 2.0 m (D2m) y volumen del jugo (VJu). Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para la variable plantas por metro cuadrado (Pm²). En relación a los genotipos, se presentaron diferencias altamente significativas para todas las variables medidas excepto para la variable diámetro a 2 metros (D2m). Finalmente, la interacción genotipo x ambiente, mostró significación en todas las variables del estudio.

Cuadro 5. Significación de la prueba F para las características agronómicas y composición morfológica de 16 cultivares de sorgo dulce en tres localidades. 2007

Fuentes	G.L.	Flor	Alpt	Enf	Pm ²	RTo	RTa	RHj	RPa	D1m	D2m	PJu	VJu	Brix	RMS
Loc	2	**	**	**	*	**	**	**	**	**	n.s	*	n.s	**	**
Genotipo	15	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
Loc x Gen	30	**	**	**	*	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**

* = P<0.05; **P<0.01; * ; n.s.= no hay diferencias significativas; Flor = Floración; AlPt = Altura de planta; Enf = Enfermedades foliares; Pm² = Plantas por metro cuadrado; RTo=Peso verde total; RTa= Peso verde tallo; RHj= Peso verde hoja, RPa= Peso verde panoja; D1m= Diámetro a 1 metro; D2m= Diámetro a 2 metros; PJu= Peso del jugo; VJu= Volumen del jugo; Brix= contenido de azúcar; RMS= Rendimiento de materia seca.

Efecto de Ambientes:

El promedio de cada una de las variables medidas en las localidades se puede observar en el Cuadro 6. Con relación a la floración, los cultivares fueron más precoces en Alanje, mientras que en El Ejido y Divisa fueron muy similares y con una duración por encima de los 75 dds. Las calificaciones de las enfermedades fueron menores en Alanje que en las otras dos localidades, la siembra tardía de este ensayo pudo ser el factor que influyó en la menor incidencia de éstas en dicha localidad. En cuanto al rendimiento total así como el de los distintos componentes (tallo, hojas y panojas fue superior en la localidad de El Ejido, le siguió Alanje con valores muy similares (sin diferencias significativas) y con valores muy por debajo de ambos el ensayo sembrado en Divisa. Las mayores producciones de jugo (peso y volumen) se lograron en Alanje y Divisa y ambas fueron superiores estadísticamente a los valores obtenidos en El Ejido. En la localidad de Alanje se obtuvo el mayor contenido de Brix aunque este no difirió estadísticamente del encontrado en El Ejido.

Cuadro 6. Rendimiento y otras características de sorgo dulce por localidad, Panamá. 2007.

Localidad	Flor (días)	Alpt (cm)	Enf (1-9)	Pm ²	RTo (t/ha)	RTa (t/ha)	RHj (t/ha)	RPa (t/ha)	D1m (cm)	D2m (cm)	VJu (cc)	PJu (g)	Brix	RMS (t/ha)
El Ejido	78	296	3.1	18.07	47.37	33.55	8.84	3.50	1.42	1.20	94.8	0.09	11.3	15.26
Divisa	76	.	3.1	.	28.43	22.87	3.45	1.73	1.60	1.38	119.3	0.15	10.6	9.01
Alanje	46	337	1.0	15.07	44.45	33.38	7.18	3.21	1.38	1.26	132.0	0.17	13.6	14.24
Promedio	67	317	2.4	16.57	40.08	29.93	4.04	2.81	1.47	1.28	115.4	0.14	11.8	12.83
DMS	0.4	13	0.7	2.00	4.21	4.12	0.52	0.48	0.14		42.90	0.04	0.68	1.21

Flor = Floración; AlPt = Altura de planta; Enf = Enfermedades foliares; Pm² = Plantas por metro cuadrado; RTo=Peso verde total; RTa= Peso verde tallo; RHj= Peso verde hoja, RPa= Peso verde panoja; D1m= Diámetro a 1 metro; D2m= Diámetro a 2 metros; PJu= Peso del jugo; VJu= Volumen del jugo; Brix= contenido de azúcar; RMS= Rendimiento de materia seca.

Efecto de Fenotipos:

Los promedios combinado de las tres localidades de todas las variables en estudio para cada uno de los cultivares evaluados se presenta en el Cuadro 7. Los resultados muestran que la floración (Flor) osciló entre 46 y 76 días, en donde la más precoz fue la LASPHT-22, mientras que las más tardías fueron LASPHT-33 y LASPHT-40, registrándose diferencias altamente significativas (P<0.01) entre las distintas variedades evaluadas. En relación a la altura de planta (Alpt), ésta fluctuó de 94 cm en LASPHT-108 a 232 cm en LASPHT-40. En este estudio los cultivares presentaron una baja incidencia de enfermedades foliares (Enf). Los cultivares LASPHT- 46, LASPHT-45, LASPHT-78 y LASPHT-8 registraron las mayores calificaciones (4.8, 4.3, 4.2 y 3.8 respectivamente) aunque su severidad no superó el 5 en la escala de 1 a 9.

Cuadro 7. Rendimiento de materia seca, características agronómicas y composición morfológica de 16 cultivares de sorgo dulce en tres localidades. 2007.

	Nombre	Flor (días)	Alpt (cm)	Enf (1-9)	Pm ²	RTo (t/ha)	RTa (t/ha)	RHj (t/ha)	RPa (t/ha)	D1m (cm)	D2m (cm)	VJu (cc)	PJu (g)	Brix	RMS (t/ha)
1	LASP HT-81	75	220	1.3	14.58	53.93	43.28	3.76	3.18	1.69	1.46	207.5	0.21	11.6	12.72
2	LASP HT-40	76	232	1.7	17.29	52.94	41.82	4.18	2.76	1.65	1.37	208.4	0.20	12.8	17.08
3	LASP HT-44	64	224	2.7	20.21	48.34	32.38	4.59	3.28	1.52	1.32	43.8	0.12	12.6	17.01
4	LASP HT-94	69	231	1.5	15.37	45.95	35.66	3.80	2.85	1.66	1.46	185.8	0.18	12.5	15.91
5	LASP HT-46	70	221	4.8	18.02	44.72	33.69	4.02	2.74	1.59	1.45	82.8	0.09	11.5	13.42
6	LASP HT-33	76	241	3.4	20.73	43.86	34.08	3.27	2.45	1.34	1.21	99.0	0.12	14.5	17.54
7	LASP HT-45	70	217	4.3	21.04	43.21	31.10	4.83	3.24	1.53	1.39	49.3	0.06	11.5	14.13
8	955 F	56	209	1.0	19.22	41.49	28.31	3.82	5.05	1.36	1.12	113.8	0.13	7.8	13.42
9	LASP HT-77	72	218	2.0	17.03	41.47	29.34	5.35	3.18	1.42	1.79	58.0	0.10	12.1	15.45
10	LASP HT-78	68	223	4.2	19.58	39.04	29.07	4.34	2.65	1.37	1.12	74.6	0.10	13.2	12.46
11	LASP HT-98	60	222	1.3	17.92	38.69	29.34	4.27	3.14	1.34	1.06	114.5	0.11	10.3	11.23
12	LASP HT-8	75	230	3.8	16.56	35.40	27.65	2.88	2.57	1.51	1.30	157.6	0.16	12.0	12.56
13	LASP HT-71	66	203	1.2	9.85	35.28	27.04	4.68	2.30	1.53	1.17	167.4	0.22	12.7	10.81
14	LASP HT-22	46	204	2.5	17.19	29.78	20.83	3.75	2.75	1.39	1.17	95.7	0.16	10.7	8.19
15	LASP HT-74	62	190	1.0	9.48	27.70	21.88	3.44	1.61	1.43	1.18	145.0	0.16	12.0	7.46
16	LASP HT-108	64	94	1.4	11.09	19.52	13.44	3.62	1.28	1.17	0.87	43.3	0.05	11.3	5.94
	Promedio	67	211	2.4	16.57	40.08	29.93	4.04	2.81	1.47	1.28	115.4	0.14	11.8	12.83
	DMS	1	11	0.7	5.65	9.26	6.71	0.91	0.95	0.18	0.46	55.1	0.08	1.5	2.93

Flor = Floración; Alpt = Altura de planta; Enf = Enfermedades foliares; Pm² = Plantas por metro cuadrado; RTo= Peso verde total; RTa= Peso verde tallo; RHj= Peso verde hoja; RPa= Peso verde panoja; D1m= Diámetro a 1.0 m; D2m= Diámetro a 2.0 m; Pju= Peso del jugo; Vju= Volumen del jugo; Brix= contenido de azúcar; RMS= Rendimiento de materia seca.

Con respecto al número de plantas al momento de la cosecha (Pm²) se encontraron poblaciones entre 9.48 y 21.04 plantas/m² para LASPHT-74 y LASPHT-45, respectivamente con una media general de 16.57 plantas/m². Para la variable rendimiento verde total (RTo) se presentaron diferencias entre las variedades, sobresaliendo la LASPHT- 81, LASPHT-40, LASPHT-44, LASPHT-94 y LASPHT-46 con rendimientos de 53.93, 52.94, 48.34, 45.95 y 44.72 tha⁻¹, respectivamente; de todas estas variedades, las dos primeras superaron significativamente al testigo 955F.

De igual manera para las variables D1 m, D2m, VJu y PJu la DMS indicó que hubo diferencias al 1% de probabilidad. Con respecto a rendimiento de materia seca (RMS), las variedades LASPHT-33, LASPHT-40, LASPHT-44 y LASPHT-94 presentaron los mejores rendimientos. En relación al contenido de Brix, sobresalieron los cultivares LASPHT-33 y LASPHT-78 con 14.5 y 13.2 respectivamente. Por otro lado, para la variable volumen del jugo se destacaron LASPHT-81, LASPHT-40, LASPHT- 94, LASPHT-71 y LASPHT-8 con 207.5, 208.4, 185.8, 167.4 y 157.6 cc, respectivamente.

Interacción Genotipo-Ambiente:

En el Cuadro 8, se presenta un resumen del rendimiento de peso verde total (Rto) de los cultivares en las diferentes localidades, destacándose los cultivares que ocuparon las cuatro primeras posiciones en cada localidad, así como en el combinado. Se encontró que el cultivar **LASPHT-81** (que presentó el mayor promedio de rendimiento a través de las tres localidades) fue el mejor en las localidades de Alanje y Divisa y ocupó el cuarto lugar en el Ejido, aunque no difiere estadísticamente con el de mejor rendimiento en esta localidad. Por otro lado, el cultivar **LASPHT-40** (que ocupó el segundo puesto a través de to-

das las localidades) fue el segundo en Alanje, el mejor en El Ejido y el cuarto en Divisa pero no difiere del mejor en esta localidad. El cultivar **LASPHT-44** (que ocupa la tercera posición en el combinado) fue el tercero en El Ejido y quinto en Divisa. También observamos que el cultivar **LASPHT-94**, cuarto en el combinado, ocupó la cuarta posición en Alanje y la segunda en Divisa y el Ejido; finalmente, el genotipo **LASPHT-46**, quinto en el combinado, ocupó el tercero en Divisa, el cuarto en Alanje y el quinto en El Ejido.

Cuadro 8. Rendimiento total, volumen de jugo y Brix de las 16 variedades de sorgo dulce por localidad, Panamá, 2007

Variedad	Rendimiento Total				Volumen de jugo				Brix			
	3 loc	Alanje	Divisa	El Ejido	3 loc	Alanje	Divisa	El Ejido	3 loc	Alanje	Divisa	El Ejido
LASPHT-81	53.9	62.2	38.7	60.9	207.5	307.5	136.5	178.5	11.6	14.8	10.9	9.3
LASPHT-40	52.9	59.4	28.9	70.6	208.4	340.0	139.0	146.3	12.8	15.8	11.2	11.5
LASPHT-44	48.3	53.2	28.7	63.1	43.8	33.8	59.5	38.0	12.6	12.9	12.0	13.0
LASPHT-94	46.0	38.1	34.0	65.7	185.8	237.5	168.0	152.0	12.5	17.5	9.3	10.8
LASPHT-46	44.7	43.9	29.5	60.8	82.8	117.5	65.0	66.0	11.5	14.0	9.4	11.0
LASPHT-33	43.9	50.7	29.3	51.5	99.0	145.0	39.3	112.8	14.5	17.1	12.2	14.1
LASPHT-45	43.2	51.2	24.7	53.7	49.3	77.5	41.5	29.0	11.5	13.1	13.1	8.3
955 F	41.5	47.9	25.5	51.1	113.8	80.0	150.0	111.3	7.8	6.6	7.0	9.6
LASPHT-77	41.5	51.4	26.0	47.1	58.0	49.0	84.5	40.5	12.1	12.0	11.9	12.5
LASPHT-78	39.0	49.3	24.2	43.6	74.6	135.8	39.0	49.0	13.2	12.3	15.7	11.5
LASPHT-98	38.7	45.6	25.8	44.6	114.5	108.8	145.0	89.8	10.3	11.4	8.0	11.6
LASPHT-8	35.4	40.2	21.3	44.7	157.6	257.5	119.0	96.3	12.0	15.8	9.1	11.3
LASPHT-71	35.3	34.2	42.1	29.5	167.4	97.5	298.3	106.5	12.7	13.4	12.9	11.8
LASPHT-22	29.8	33.1	21.6	34.7	95.7	65.0	81.8	140.3	10.7	11.6	8.5	12.0
LASPHT-74	27.7	31.3	28.1	23.8	145.0	32.0	280.0	123.0	12.0	16.0	8.2	11.8
LASPHT-108	19.5	19.5	26.4	12.7	43.3	28.0	63.3	38.5	11.3	13.3	9.8	11.0
Promedio	40.1	44.5	28.4	47.4	115.4	132.0	119.3	94.8	11.8	13.6	10.6	11.3
DMS	9.3	16.8	6.2	21.9	55.1	126.3	72.8	84.4	1.5	2.7	2.0	3.2

Cuadros verdes corresponden al 4to cuartil; Cuadros amarillos corresponden al 3er cuartil; Cuadros blanco/celeste corresponden al 2do cuartil; cuadros lila corresponden al 1er cuartil.

En relación al volumen jugo extraído de las muestras sobresale el hecho que tres de los anteriormente mencionados (LASPHT-81, LASPHT-40 y LASPHT-94) producen la mayor cantidad de jugo en dos de las tres localidades evaluadas (Alanje y El Ejido). La variedad LASPHT-44 a pesar de presentar un buen rendimiento de forraje total produjo un bajo volumen de jugo en las tres localidades del estudio (menos de 60 cc/muestra). Al considerar el Brix, de los cuatro cultivares sobresale la variedad LASPHT-40 cuyo valor estuvo entre los cuatro primeros a escala regional y por encima del promedio en las tres localidades

El informe final del desarrollo de la 1era etapa se presentó a Senacyt a finales del mes de mayo de 2008, donde se escogieron las variedades de mejor rendimiento en las tres áreas de prueba, siendo ellas las LASPHT-81 y LASPHT-40.

Etapa II

Producción de semilla de las variedades LASPHT-81 y LASPHT-40:

Las semillas fueron producidas en Colombia según se indicó anteriormente y fueron enviadas directamente al IDIAP, en Panamá, según el protocolo acordado, incluyendo los resultados negativos de la pre-

sencia de fitopatógenos, según exámenes de laboratorio efectuados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en Colombia.

Etapa III

Ensayo de densidad de siembra. Lo planteado en la metodología se refleja en el análisis estadístico; la distancia entre surcos y la interacción (distancia entre surcos X distancia entre plantas), aportan en nada ($P < 0.05$), a las variables de respuesta: altura de planta, diámetro a uno y dos metro, cantidad de jugo producida (volumen), Brix y la materia seca. Es decir, cualquiera de las distancias entre surcos usadas darán la misma respuesta, incluso afectan la interacción como se ilustra en el cuadro 1. Como se mencionó, este diseño tiene mayor precisión y permite sacar mejor conclusiones sobre los tratamientos de las parcelas pequeñas (distancia entre plantas), sobre las variables de respuestas: **VOLUMEN DEL JUGO, PLMKGHA, VETOKGH, VETAKGHA, VEHOKGHA, VEPAKGHA, PJUGOKGHA.**

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables estudiadas.

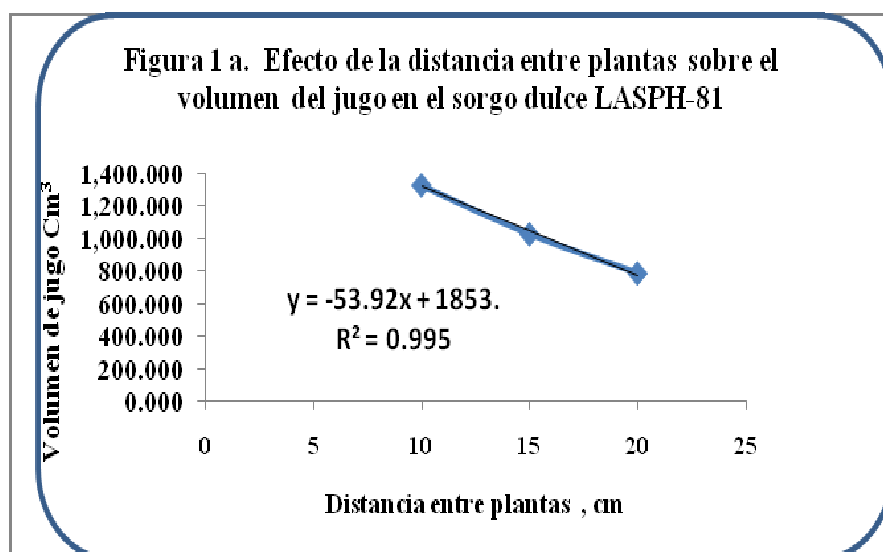
VARIABLES DE ESTUDIO	DISTANCIA ENTRE SURCOS	DISTANCIA ENTRE PLANTAS	INTERACCIÓN DES*DEPL	CV %
ALTURA DE PLANTA	0.0912 NS	0.7109 NS	0.4899 NS	6.20
DIAMETRO 1	0.3166 NS	0.6485 NS	0.9957 NS	13.05
DIAMETRO 2	0.5362 NS	0.3890 NS	0.6330 NS	10.27
VOLUMEN DEL JUGO	0.7640 NS	0.0003 **	0.7680 NS	18.78
BRIX	0.2637NS	0.8731 NS	0.8308 NS	22.81
MATERIA SECA	0.4053 NS	0.3151 NS	0.0918 NS	10.29
PESO POR METRO LINIAL (KG/HA)	0.6936 NS	0.0003 **	0.7577 NS	18.20
PESO VERDE TOTAL, (KGHA)	0.3207 NS	0.0001 **	0.3161 NS	11.38
PESO DE TALLO, (KGHA)	0.4362 NS	0.0001 **	0.7449 NS	18.39
PESO DE HOJA (KGHA)	0.4362 NS	0.0001 **	0.1324 NS	12.76
PESO DE PANOJA (KGHA)	0.9506 NS	0.0026 **	0.1444 NS	21.02
PESO DE JUGO (KGHA)	0.1425 NS	0.0002 **	0.6221 NS	18.79

NS= No significativo al 95 % de probabilidad

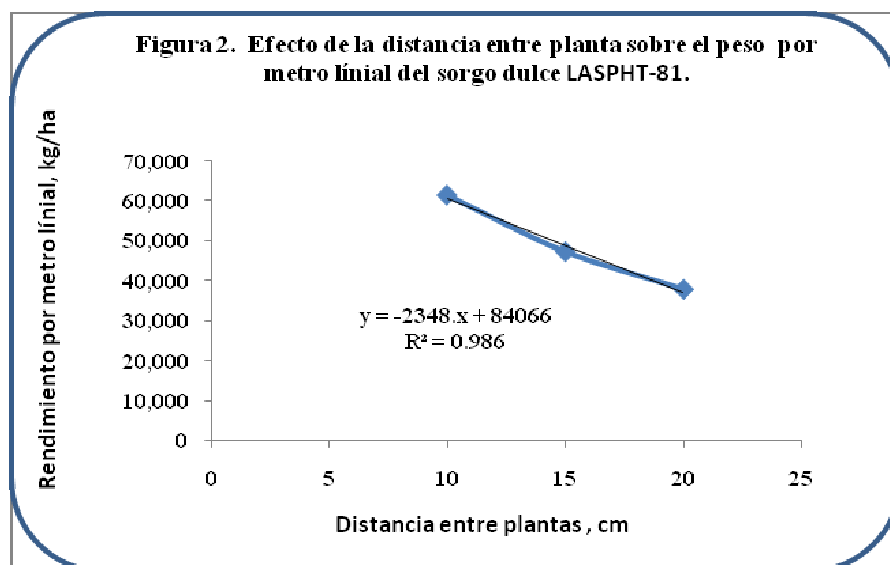
** = Altamente significativo al 99 % de probabilidad

Sobre la base del análisis de varianza se determinará el arreglo espacial (distancia entre plantas) más adecuado para el establecimiento del sorgo dulce LASPHT-81. En este sentido, la ecuación de regresión plantea la tendencia del comportamiento del sorgo dulce LASHT-81 y predice una reducción de 53.926, (cm^3) del volumen de jugo, cuando se aumenta la distancia entre planta (figura 1). Esta información es clave y proyecta recomendar la distancia entre planta de 10 cm. En término de densidad (plantas ha^{-1}), representaría los arreglos espaciales: 50x10 cm (200,000); 60x10 cm (166,666) y 70x10 cm (142,857),

plantas ha^{-1} , respectivamente. Sin embargo, se requiere afinar esta información, para ser más concluyente.

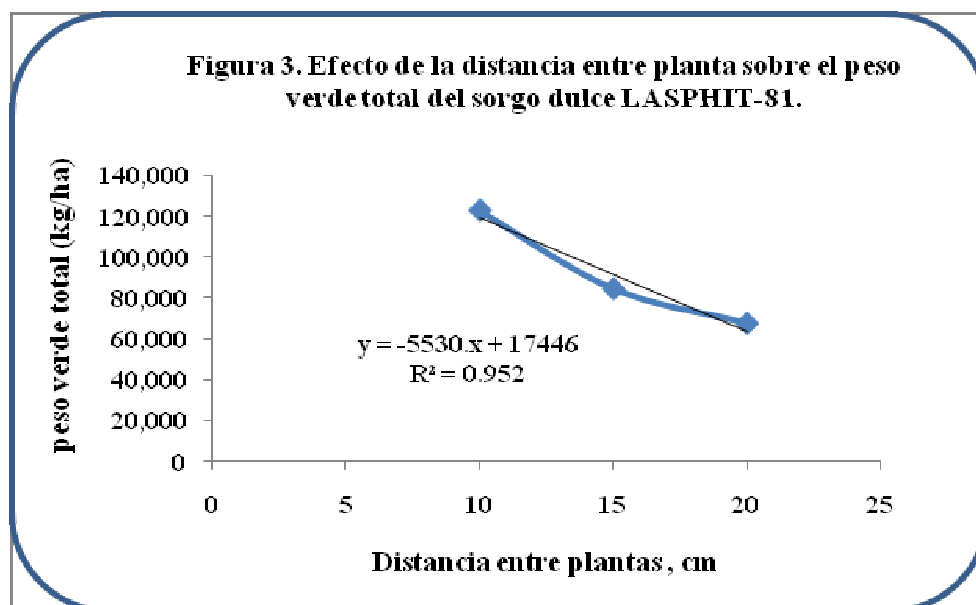


La distancia de siembra tiene un efecto negativo sobre el peso por metro lineal expresado en kg por hectárea, la ecuación predice una reducción de 2,348.5 kg, en la medida que se incrementan las distancias entre planta (Figura 2). La repercusión se proyectaría como una merma importante en la producción del sorgo dulce LASPHT-81, cuando se utiliza un arreglo espacial inadecuado.

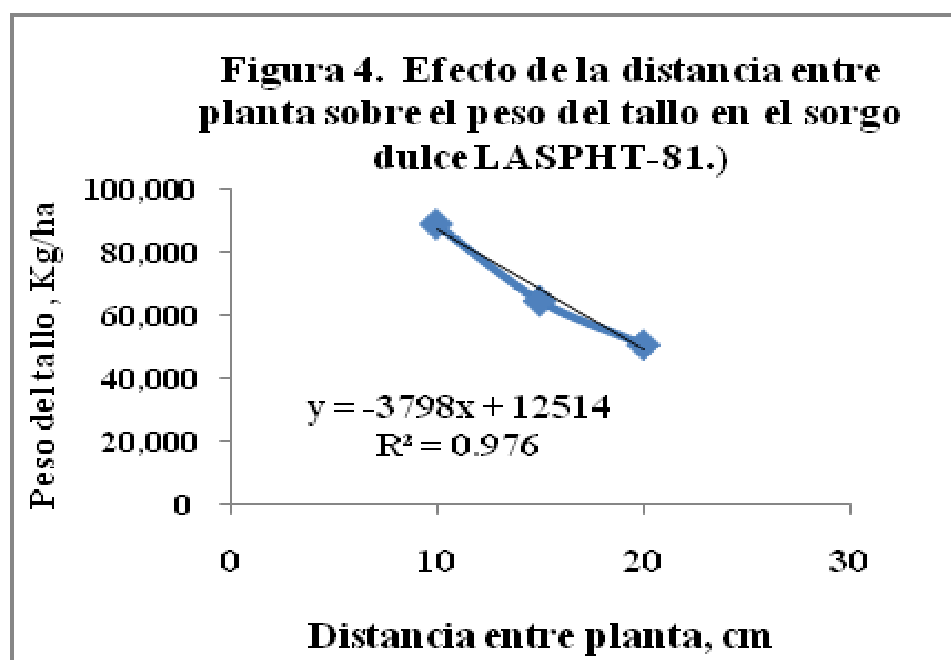


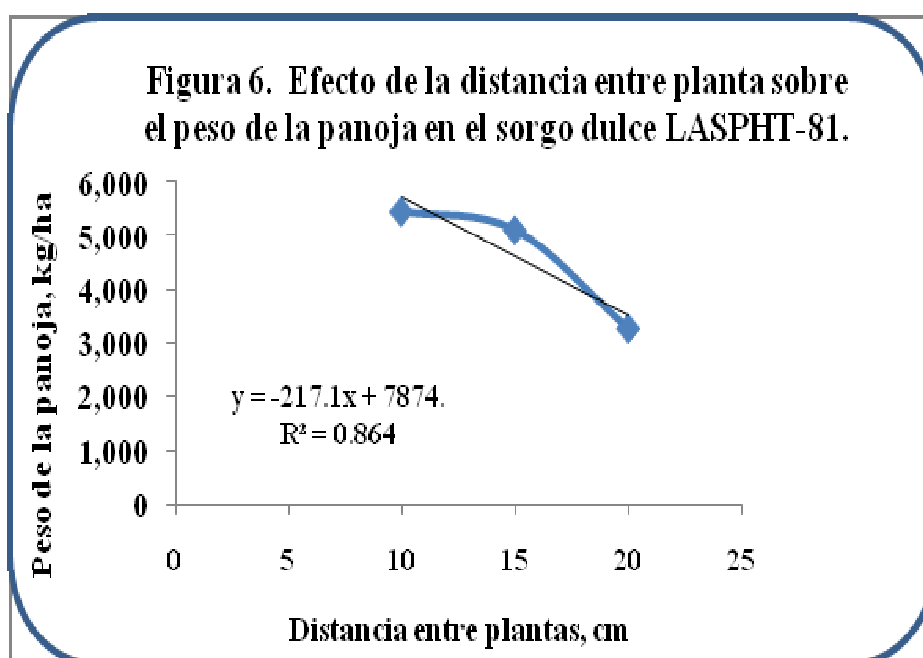
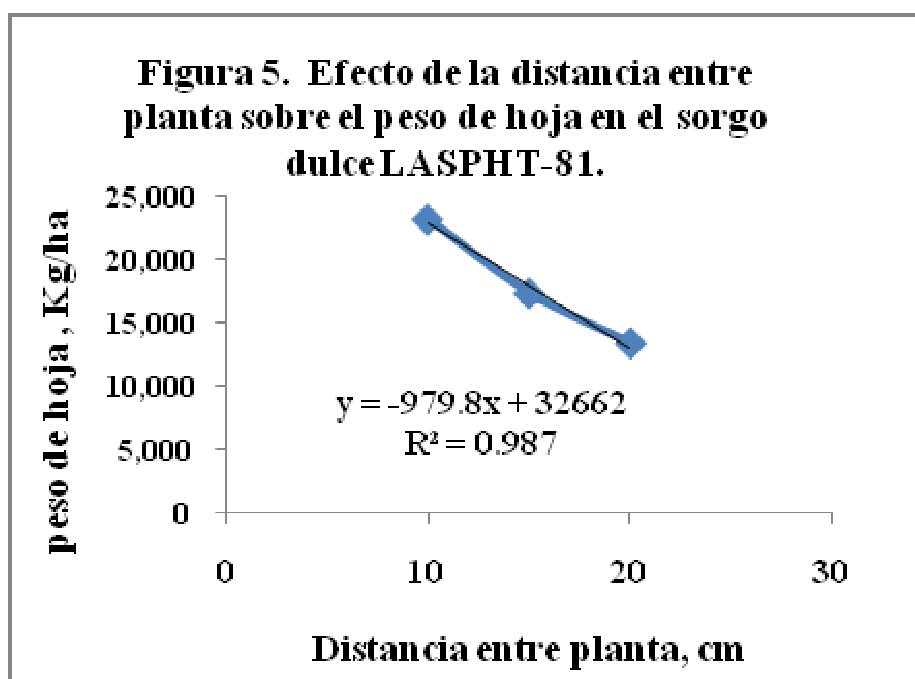
En cuanto a la respuesta obtenida con la producción integral de la planta de sorgo dulce (peso verde total) se observa, una reducción por el orden de 5,530.3 Kg/ha, del rendimiento verde. Si el intercepto

que representa el valor ajustado de la producción verde total es 124,463 kg/ha, de esto se pierde 5,530.3 kg con cada aumento en la distancia entre planta (Figura 3).



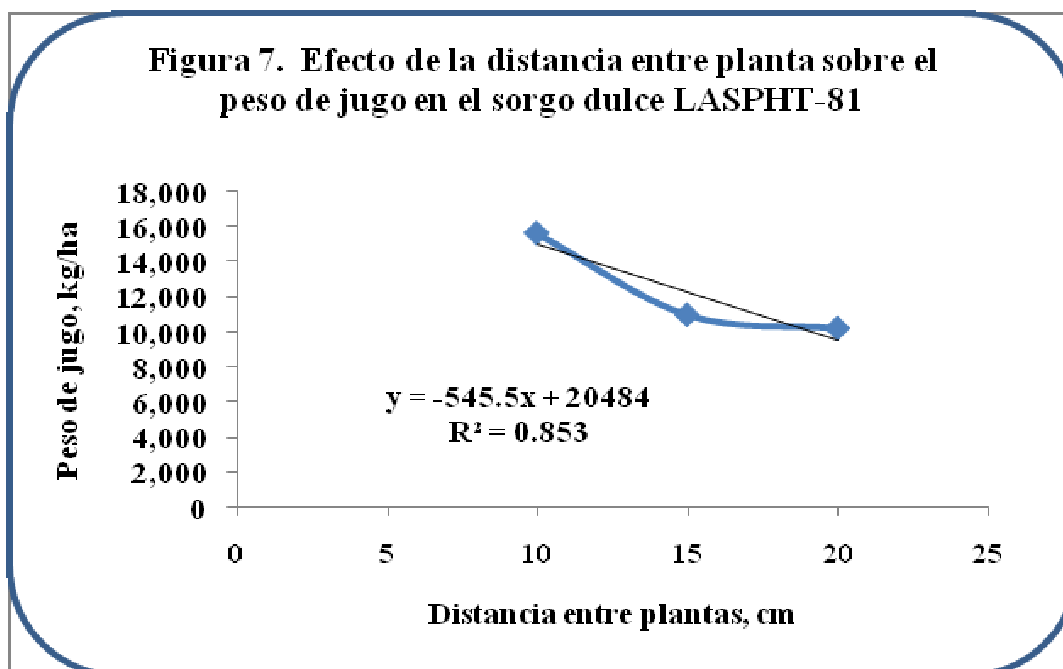
Para las figuras 4, 5 y 6, que representa los componentes de la estructura de la planta de sorgo dulce LASPHT-81, las ecuaciones de regresión predicen una reducción sobre los tres componentes de la estructura de la planta cuando se aumenta la distancia entre plantas.





Lo lógico sería a mayor distancia entre plantas, menor interferencia, mayor oportunidad de aprovechar la luz (capacidad fotosintética por ser plantas C4); pero parece que el sorgo por tener capacidad de ahijamiento, responde a densidades de siembra con altas poblaciones de plantas. De hecho la información que ha generado este trabajo sugiere mejores respuesta a densidades con poblaciones de 200,000; 166,000 y 142,857 Plantas por hectárea.

La producción de jugo también presenta el mismo comportamiento de las otras variables de respuesta, se pierden 545.5 kg/ha de jugo con el aumento de la distancias entre planta.



Ensayo de fertilización. El análisis de varianza (Cuadro 1), muestra claramente las variables de respuestas más afectadas por la fertilización de manera significativa con probabilidad ($P < 0.05$) y coeficientes de variación aceptables menores de 21 %. Esto es importante porque determina la variabilidad del error con respecto al promedio y por ende la confiabilidad de la información.

Variables	gL	Sc	Cm	F	Prob	CV (%)
N. planta	4	406.500	101.62	0.70	0.604 ns	31.30
A. planta	4	0.0725	0.0181	2.42	0.094 ns	3.20
N tallo	4	3778.00	944.500	2.15	0.124 ns	23.68
PI Mtl	4	2.000	0.5000	2.50	0.086 ns	6.88
Kg pt	4	363.978	90.999	2.91	0.057 *	20.50
Peso total	4	549.307	137.32	3.51	0.03 *	16.98
Kg peso tallo	4	1762.000	440.500	2.91	0.05 *	20.15
Peso hoja	4	109.550	27.387	3.30	0.03 *	18.60
Peso pan	4	3.262	0.815	1.32	0.30 ns	24.31
D 1 mt	4	0.112	0.028	0.71	0.56 ns	12.63
D2 mt	4	0.037	0.009	0.27	0.89 ns	13.74
Peso jugo kg	4	2.14	0.536	0.86	0.51 ns	29.75
Volumen	4	1870330.00	467582.50	0.85	0.51 ns	32.40
Brix	4	3.700	0.925	0.687	0.61 ns	7.17

La fertilización solamente ha afectado la arquitectura de la variedad LASPHT-81 de sorgo dulce (planta integral y los componentes hoja y tallo). Por lo tanto el análisis se centrara en los mismos. Las demás variables no fueron significativas ($P < 0.05$), por lo tanto no son afectados por la fertilización.

Comparando el rendimiento total de tallo con el volumen de jugo producido se aprecia el efecto del tratamiento T3 (50 % A /50 % B), es decir la mezcla de abono químico y orgánico en proporciones iguales favorece el volumen total de jugo producido en el área cosechada

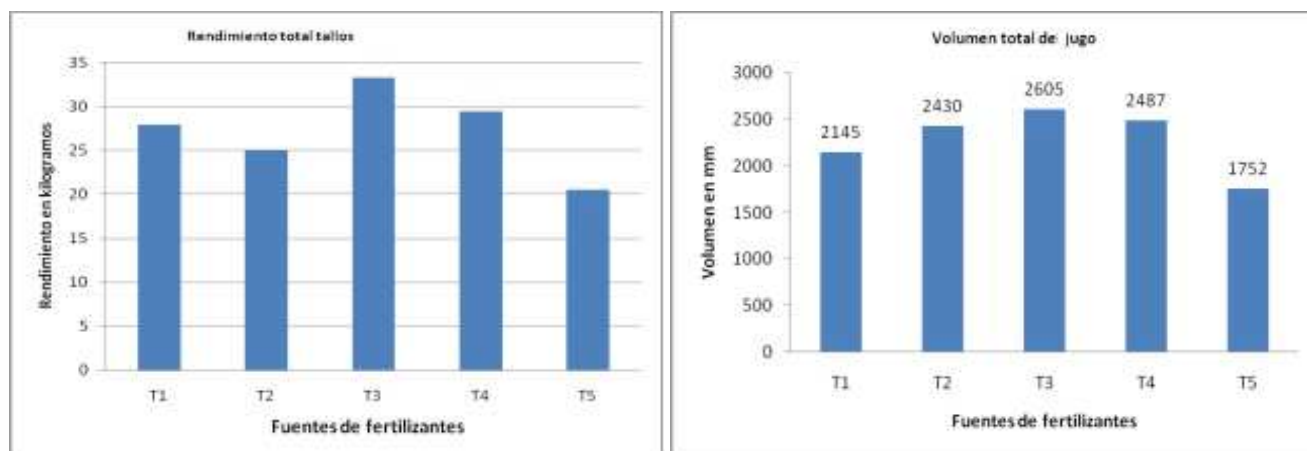


Figura 1. Comparación entre el rendimiento total de tallos (a) y volumen de jugo (b).

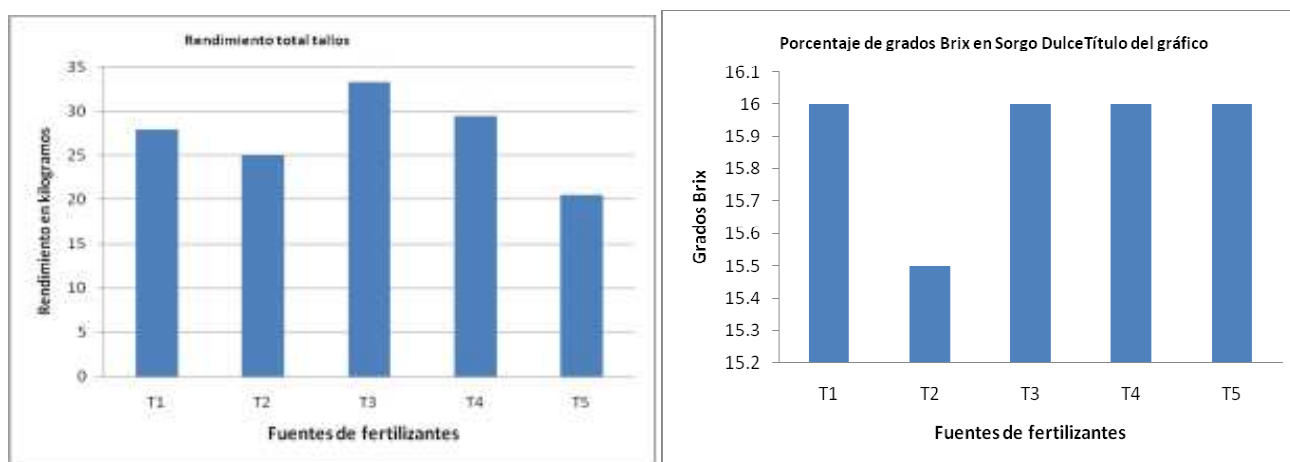


Figura 2. Comparación entre el rendimiento total de tallos (a) y grados Brix (b).

El efecto de la fertilización sobre rendimiento total del tallo produce 16 % de grado brix , es decir no existe influencia de la fertilización sobre este parámetro.

IV. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Incluimos seguidamente los objetivos específicos del proyecto y las acciones o conclusiones:

- Hacer un estudio preliminar de clima y suelos para validar la selección de las áreas específicas para las siembras, escogiéndose tres áreas de estudio para la primera etapa.
 - Se escogieron las áreas de Divisa (Herrera), El Ejido (Los Santos) y Alanje (Chiriquí), en las cuales se realizaron ensayos genotipo-ambiente durante la primera etapa de la investigación
- Obtener variedades de sorgo dulce con adaptación específica al país, en las regiones escogidas para la producción de alcohol carburante, lo que dio como resultado la obtención de las dos variedades con mejor rendimiento.
 - La variedad de mayor rendimiento fue la LASPHT-81
 - En segundo lugar resultó la variedad LASPHT-40.
- Realizar un primer acercamiento a las estrategias de manejo agronómico para optimizar la producción de biomasa vegetal y óptimos niveles de azúcares totales del sorgo dulce para las variedades seleccionadas.

Hubo de utilizarse riego por la época, ya que resultó imposible sembrar en la época lluviosa, por las razones anotadas previamente. Se obtuvieron los mejores rendimientos según:

- Densidad y separación de surcos
 - Se recomendó 0.60 m entre surcos y 0.10 m entre plantas
- Con estas condiciones se logró una producción de:
 - 124.4 ton/ha de peso total de planta ^a
 - Aprox. 90 ton/ha de peso de tallo ^b
 - Aprox. 16,000 Kg/ha de jugo ^c
- Ensayo de fertilización
 - Se recomendó una mezcla de fertilizante NPK y Abonotec^{Plus} a partes iguales (50% de cada uno)
 - Con ello se logró aumentos en peso total de tallos y de obtención de jugo que superaron el 20% sobre las parcelas tratadas con abono químico tradicional solamente ^d

- Evaluar el contenido de azúcares del jugo (°Brix) para la obtención de alcohol a partir del Sorgo Dulce, y obtener valores para el rendimiento de las siembras.
 - Se evaluó la calidad del jugo, obteniéndose 16 °Brix de forma consistente ^e y en forma frecuente entre 16 ~ 18 °Brix

^a Etapa III, Ensayo de densidad de siembra, figura 3.

^b Etapa III, Ensayo de densidad de siembra, figura 4.

^c Etapa III, Ensayo de densidad de siembra, figura 7.

^d Etapa III, Ensayo de fertilización, figuras 1(a) y 1(b).

^e Etapa III, Ensayo de fertilización, figura 2(b).

Recomendaciones

- Continuar el estudio del sorgo dulce como fuente de producción de bioetanol, ya que el mismo promete rendimientos comparables a la caña de azúcar, considerando las tres cosechas anuales en un clima tropical como el de Panamá, versus una sola en la caña de azúcar, sumado a esto adicionales mejoras como resultado de las estrategias de manejo agronómico ensayadas.
- Evaluar las características del sorgo dulce para alimento animal, pues durante el proceso vimos el potencial para ello, mejorando seguramente las características del sorgo forrajero utilizado hasta la fecha en nuestro país para alimento animal.

V. Agradecimiento

Nuestro agradecimiento a la Secretaría de Ciencias, Tecnología e Innovación (Senacyt), al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), los que han apoyado decididamente esta investigación.

VI. Referencias Bibliográficas

- Al-Janabi S, McClelland M, Petersen C and Sobral B (1994). Phylogenetic analysis of organellar DNA sequences in the Andropogoneae: Saccharinae. *Theoretical and Applied Genetics* 88, 933-944.
- Alvarado, J.D. 1992. Nota. Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. *Revista española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1993, 33(1) 87-93.
- Ambrosini, J.M.; Britos, O.S. 1983. Efecto de la Población de plantas en sorgo Azucarero para la productividad de Alcohol etílico. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 103.p.

- Bala, R.S., and C.V. Ratnavanthi. 1991. Developing sorghum for multiutilization. Annual Report (1990-1991), pp 101-111, Research Center for Sorghum, Hyderabad, India.
- Bala, R.S., P.K. Biswas and M. Elangovan. 1997. Advances in the Improvement of Sweet Sorghum in India. In: Proceedings First International Sweet Sorghum Conference (ed Li Dajue), pp 304-314, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing, China.
- Bernal, J.H., R.S. Hernandez, M. Vanegas, C. Sanchez, J. Martinez y. 2006. Potencial de sorgos forrajeros para producción de alcohol carburante. Informe final de actividades 2005, X pp. 1-21. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Corpoica, Villavicencio.
- Cazzato, E. 1997. Effects of plant density and row spacing on sugar yield and forage biomass yield of a sweet sorghum hybrid. In: Proceedings First International Sweet Sorghum Conference (ed Li Dajue), pp 191-196, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing, China.
- Ceretta, S. 2005. Evaluación de cultivares de sorgo forrajero para pastoreo y sorgos para silo. Convenio INASE-INIA, Argentina.
- Compton, L. P. 1990. Agronomía del sorgo. Instituto internacional para la investigación en cultivos para los trópicos semiáridos (ICRISAT). Patancheru P.O. Andhra Pradesh 502324. India.
- Díaz-Romeu, R. y Hunter, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 pag.
- Doggett, H. 1988. Sorghum. Longman Group U. K. Limited, Singapore.
- Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage, paper 33. FAO, Roma.
- El Bassam, N., M. Dambroth and G. Huehl. 1990. Sweet sorghum “a new source of raw material for the sugar industry. In: Plant Research and Development, vol 31. Germany.
- Electric Power Research Institute. 1993. A “how-to” primer for bio-soymass resource development. EPRI, Palo Alto, CA.
- FAO. 2002. Sorgo dulce en China. Agricultura 21, febrero.
<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0202sp2.htm>
- Gascho, G.J., R.L. Nichols, and T.P. Gaines. 1984. Growing sweet sorghum as a source of fermentable sugars for energy. Research Bulletin 315. University of Georgia Experiment Station, Athens, Georgia.
- Guerrero, B. y D. Herrera. 2006. Manejo del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* L). Guía Técnica. IDIAP. 19 pag.
- Indira, S. and Rana, B.S. 1997. Host plant resistance to diseases in sweet sorghum in India. In: Proceedings First International Sweet Sorghum Conference (ed Li Dajue), pp 191-196, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing, China.
- Lueschen, W.E., D.H. Putnam, B.K. Kanne, and T.R. Hoverstad. 1991. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. J. Prod. Agric. 4:619–625.
- Mamma, D., P. Christakopoulos, D. Koullas, D. Kekos, B.J. Macris, and E. Koukios. 1995. An alternative approach to the bioconversion of sweet sorghum carbohydrates to ethanol. Biomass Bioenergy 8:99–103.
- Nathan, R.A. 1978. Fuels from sugar crops. System study for sugarcane, sweet sorghum and sugar beets. United States Dept. of Energy, Tech. Information Centre, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Petrini, C., R. Scozzoli, P. Bazzocchi, and P. Montalti. 1993. Tecniche culturali e miglioramento genetico del sorgo zuccherino per uso industriale non alimentare. L' Inf. Agrario, 19, 45-49.
- Rajvanshi, A.K. and N. Nimbkar. 2001. Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI). Maharashtra, India. <http://nariphaltan.virtualave.net/sorghum.htm>
- Romero, L.; Gaggiotti, M.; y Comerón, E. 2001. Sorgo forrajero azucarado para silaje: efecto de la

distancia entre surcos y la densidad de siembra. Anuario 2001. Producción Animal, INTA. Argentina.

- Schaffert, R.E. and L.M. Gourley. 1982. Sorghum as an energy source. In: Sorghum in Eighties, Proc. Internat. Symp. On Sorghum 1982. pp 605-623, ICRISAT, Patancheru, A.P. 502324. India.
- Segura, F. 1991. Guía de campo para el manejo de insectos plagas en sorgo y maíz. En: Memoris del seminario Spodoptera frugiperda. Comité interinstitucionales de sorgo (CIS) y la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Cali, Colombia. Pp. 62-66.
- Turhollow, A. 1994. The economics of energy crop production. Biomass Bioenergy 6:229–241.
- Zhenwu, L. 1988. The analysis of internode brix degree of sweet sorghum, Liaoning Agricultural Science, vol 6.