

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

La presente tesis titulada “**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE (*Sorghum bicolor* L. Moench)**” fue sometida para su revisión bajo la dirección del Comité Particular indicado, y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Comité Particular:

**Ph.D. Francisco Zavala García
Asesor Principal**

**Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Coasesor**

**Dr. Cs. José Butrón Rodríguez
Coasesor Externo**

Ph.D. Francisco Zavala García

**Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de
Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León**

Marín, Nuevo León, México. Junio de 2011

DEDICATORIA

Mis padres:

Sra. Enriqueta Vázquez

Sr. Alonso Yerbes

Mis hermanas:

Martha Alicia

Martina Concepción

Clara María

Mi hermano:

Jaime Alberto

Sra. Esthela Kantún

Sr. Evaristo Pacheco

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Comunidad Europea por el apoyo al proyecto SWEET SORGHUM: AN ALTERNATIVE ENERGY CROP donde se realizo el presente trabajo

A la Subdirección de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su empeño en formar profesionales de alto nivel.

Al Ph.D. Francisco Zavala García por llevar a cabo de buena forma la dirección de este trabajo de investigación y contribuir en mi formación profesional.

Al Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano por sus aportaciones en este trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Cs. José Butrón Rodríguez por su participación en las correcciones de este trabajo.

Al M.C. Héctor Williams Alanís por sus consejos y sugerencias.

Al Dr. Cs. José Elías Treviño Ramírez un agradecimiento especial por su apoyo desinteresado que me brindó durante el periodo de mi formación profesional.

Al Dr. Juan Antonio Vidales Contreras por su apoyo incondicional y al Dr. Gilberto E. Salinas García por su gran disposición como maestro y compartir conocimientos.

A Javier Sánchez, Rogelio Meza y Eulalio Benavides por su apoyo en el trabajo de campo para llevar a cabo esta investigación.

A María Guadalupe Mireles por su amistad y apoyo.

A mis compañeros: José García, María del Carmen Rodríguez, Uriel Hernández, Rodolfo García, Ángel Pardo, Francisco Piñera, Jesús Olvera, Jessica Rivera, Ariana Torres y Noé Cardona con quienes compartí el periodo de la maestría.

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL por compartir sus conocimientos y guiarnos en nuestra formación académica.

A todos los que colaboraron desinteresadamente en la realización de este trabajo de investigación, gracias.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Los biocombustibles.....	5
2.1.1 Bioetanol.....	6
2.1.2 Biodiesel.....	9
2.2 El sorgo dulce.....	10
2.3 Hibridación.....	12
2.4 Heterosis.....	12
III. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 Ubicación de la investigación.....	20
3.2 Material genético.....	20
3.3 Análisis estadístico.....	21
3.4 Metodología general.....	23

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.....	23
3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.....	24
3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.....	27
IV. RESULTADOS.....	28
4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.....	28
4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.....	35
4.2.1 Análisis estadístico.....	35
4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.....	47
V. DISCUSIÓN.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES.....	61
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	62
IX. APÉNDICE.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.....	7
2 Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.....	8
3 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los híbridos.....	9
4 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los progenitores.....	9
5 Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.....	15
6 Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.....	16
7 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).....	18
8 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).....	19
9 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).....	23
10 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable \bar{B} rix muestreo 1 (\bar{B} RIX M1).....	23
11 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable	

Brix muestreo 2 (BRIX M2).....	33
12 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).....	33
13 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).....	34
14 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).....	44
15 Estimación de peso fresco en ton ha ⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.....	44
16 Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas	46
17 Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.....	46
18 Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol.....	8
2. Diseño propuesto para la producción de bioetanol con sorgo Dulce.....	9
3. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	21
4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	22
5. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	22
6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	25
7. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	27
8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	28
9. Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	29
10 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	30
11 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M2 (período de floración).....	40
12 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M2 (período de floración).....	42
13 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44

14	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44
15	Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
16	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
17	Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León en Marín, Nuevo León, se realizó con el fin de obtener híbridos de sorgo dulce con características favorables para la producción de etanol, con alta producción de biomasa y concentración de azúcares en los tallos. Para este propósito en el ciclo primavera de 2009 se seleccionaron tres hembras por su condición de producir buenos híbridos y trece líneas machos de sorgo dulce los cuales tienen la característica de producir una buena cantidad de biomasa, así como una alta concentración de azúcares en sus tallos. Se realizaron las respectivas cruza de los progenitores hembras y machos y los híbridos obtenidos fueron evaluados junto con sus progenitores en el ciclo otoño de 2009. En este ciclo se sembraron híbridos (19) y progenitores (3 hembras y 13 machos), el estudio se dividió en un análisis combinado entre hembras la cual se estableció bajo un diseño de parcelas divididas y un análisis individual de genotipos que se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS. En los resultados obtenidos, la mayoría de los híbridos superaron a sus progenitores en altura y fueron más precoces en la floración que estos, pero en los Brix, en forma conjunta, no demostraron superioridad en relación a los progenitores. Los promedios más altos para Brix lo alcanzaron los genotipos FAUNL-33A x

FAUANL-4 (20.1°Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8°Brix), FAUANL-35A x Kansas Collier (19.6°Brix), FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4°Brix) y FAUANL-34A x Rox Orange (19.0°Brix). Para heterosis, en la variable °Brix M3 los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (-3.3%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). En la heterobeltiosis se presentó el porcentaje más alto en el peso fresco para FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%) en °Brix el mayor valor se presentó en el muestreo 3 (°Brix M3) y fue para el híbrido FAUANL-33A X FAUANL-8 con 21.88 %. En conclusión los híbridos presentaron mayor °Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez; la hembra FAUANL-33A demostró en este estudio, que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruzas con machos de altos contenidos. La heterosis se presentó de forma positiva en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier que fueron los sobresalientes en concentración de azúcares.

SUMMARY

This research was conducted in the Campus Marin School of Agronomy of the Universidad Autonoma de Nuevo Leon in Marin, Nuevo Leon, was made to obtain hybrids of sweet sorghum with favorable characteristics for the production of ethanol with high biomass production and concentration of sugars in the stems. For this purpose in the spring 2009 cycle three females were selected for their condition to produce good hybrids and thirteen males sweet sorghum lines which have the characteristic of producing a good amount of biomass and a high concentration of sugars in their stalks. Crosses were made of the respective male and female parents and hybrids were evaluated along with their parents in the fall 2009 cycle. In this cycle hybrids were planted (19) and parents (3 females and 13 males), the study was divided into a pooled analysis between females which was established under a split plot design and analysis of individual genotypes was established under a design of a randomized complete block with three replications in three experiments, each experiment was established according to the hybrids from the three females used as maternal parent. Statistical analysis was performed using SAS. In the results, most hybrids were well above their parents in height and were more precocious flowering of parents, but in degrees brix together showed no superiority in relation to parents the difference was so individual. The highest average in what amounted to °Brix genotypes FAUANL FAUNL-33A x-4 (20.1 °Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8 ° Brix), FAUANL-35A x Kansas C ollier (19.6 ° Brix) , FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4 °Brix) and FAUANL-34A x Rox Orange (19.0 °

Brix). In the estimation of heterosis in the variable M3 °Brix higher percentages were obtained for genotype x FAUANL FAUANL-35A-10 (36.2% heterosis) FAUANL FAUANL-33A x-4 (22.9%) and FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), while the percentages were negative for genotypes x FAUANL FAUANL-33A-10 (-7.2%), x FAUANL FAUANL-33A-4 (-3.3%). Fresh weight in the highest percentage appeared in FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). In heterobeltiosis presented the highest percentage in the fresh weight was for x FAUANL FAUANL-35A-10 (229.0%) and more negative for X-34A FAUANL Goals (-35.9%) in °Brix was presented the highest value in the sample 3 (°Brix M3) and was for the hybrid X-33A FAUANL FAUANL-8 with 21.88%. In conclusion, the hybrids had the highest concentration in °Brix in the period 14 days after flowering and parents showed their higher concentration of sugars in the mature period and female-33A FAUANL demonstrated in this study across this female with male high sugar content can be obtained hybrids with high levels of sugars for the production of bioethanol and females FAUANL FAUANL-35A-34A and produced hybrids with acceptable sugar content but this aspect can be improved in crosses with males of high content. Heterosis was presented positively in hybrids x FAUANL FAUANL-33A-4, x FAUANL FAUANL-33A-5-35A and FAUANL x Kansas Collier who were the outstanding concentration of sugars.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido al alto precio del petróleo, la escasez del mismo y la preocupación por la contaminación del ambiente producto de su uso masivo, se está incrementando el uso de fuentes renovables de energía. Como consecuencia, se ha fomentado en años recientes, la producción de fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Entre estas fuentes se encuentran los biocombustibles tales como el bioetanol, biodiesel y biogás (Siri *et al.*, 2007). México se ha rezagado en la implementación de un plan energético que considere la utilización de biocombustibles que permita aliviar la constante disminución de las reservas de combustibles fósiles. En el año 2008 se aprobó la Ley de Bioenergéticos que fomenta la utilización del bioetanol en el pool de gasolina nacional con el fin de disminuir el uso de agentes oxigenantes como el éter metilterbutílico (MTBE, por sus siglas en inglés) que ha resultado ser dañino para los ecosistemas, así como reducir la importación de gasolina procedente de los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) (Aburto, *et al.*, 2008).

Nuestro país tiene un gran potencial para convertirse en un productor importante de biocombustible debido a la diversidad de cultivos y plantas que se pueden aprovechar para la producción de estos; además, hay que mencionar la diversidad de climas con que cuenta nuestro país en el que crecen varias especies de plantas. Entre los cultivos más utilizados a nivel mundial para la

producción de biocombustibles son: La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench), la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y el Maíz (*Zea mays*); sin embargo, debido a las características que posee el sorgo, como su mayor eficiencia en el uso del agua, por su alto contenido de azúcares y por la duración del ciclo de crecimiento, hacen ver al sorgo dulce como un cultivo con un alto potencial para utilizarse como fuente de azúcares en el proceso para la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005; Almodares y Hadi, 2009).

En México, el sorgo de grano es un cultivo que ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo del sector agropecuario, ocupando el segundo lugar en la producción de granos básicos, solamente después del maíz. Además, es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada después del maíz y frijol. Tamaulipas y Guanajuato son los principales estados en producción a Nivel Nacional, en conjunto aportan el 61% de la producción total nacional, lo que equivale a 3.8 millones de toneladas. Sinaloa es el tercer lugar en producción con un volumen de 0.61 millones de toneladas, seguido de Michoacán con 0.50 millones y Nayarit con un volumen de 0.30 millones de toneladas (www.financierarural.gob.mx/2009). Además del sorgo de grano, también está el sorgo escobero (*Sorghum vulgare* var. *Technicum*) el cual a pesar de no ser un cultivo básico, posee potencial económico ya que puede cultivarse en áreas donde otros cultivos no prosperan (Rodríguez, 2003).

También existen variedades de sorgo forrajero y dulce, las cuales tienen la característica de producir grandes cantidades de forraje. El sorgo dulce es una fuente muy eficiente de la bioenergía al igual que el sorgo de grano y escobero, posee el ciclo C4 en el proceso fotosintético en el cual una molécula de sacarosa de almacenamiento, puede ser directamente fermentado; sin embargo existe todavía un potencial alto para incrementar el nivel de azúcares en el jugo del tallo. Por lo tanto, es muy imprescindible formar nuevas variedades e híbridos de sorgo dulce, con alto contenido de azúcar en combinación con otras características agronómicas deseables (Ali *et al.*, 2008). Un aspecto importante en estas variedades e híbridos además de la producción *per sé* de biomasa, es el almacenamiento de azúcares en el jugo de sus tallos que puede llegar hasta los 22°Brix o más, el cual puede entrar directamente en un proceso fermentativo para la producción de alcohol etílico o etanol (Almodares y Hadi, 2009).

En teoría, el 85% del jugo de sorgo dulce es convertido a etanol, o 54.4 L de etanol por cada 100 kg de rendimiento de tallos frescos. Una producción de 50 toneladas de tallo por hectárea puede producir hasta 3451.29 litros de etanol a partir del jugo extraído de los tallos (Almodares y Hadi, 2009).

En México, no hay mucha información generada sobre los materiales genéticos disponibles para la producción de sorgo enfocado a la producción de azúcares pero se ha demostrado en sorgo para grano, que el vigor híbrido o heterosis es un aspecto importante a considerar en la generación de nuevos

genotipos, ya que permiten una mayor expresión de las características de interés. Por tal motivo, los objetivos del presente trabajo son:

1.1 Objetivos.

- 1). Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix en los tallos del sorgo dulce.

- 2). Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

- 3). Evaluar los efectos de heterosis en los caracteres asociados en la producción de bioetanol.

1.2 Hipótesis.

Los cruzamientos entre progenitores con características diferentes para Brix y diámetro del tallo producirán híbridos con altos niveles de heterosis en estas características relacionadas con la producción de etanol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los biocombustibles.

En la actualidad hay un creciente interés ecológicamente sostenible por los biocombustibles, ha crecido de manera significativa y se han convertido en el inicio de toda una revolución en el mundo, especialmente en países donde la dependencia de petróleo es alta (Chandel *et al.*, 2007). Tanto el bioetanol como el biodiesel que se producen fundamentalmente a base de cultivos agrícolas, están incrementando su participación como generadores de energía; si bien el primero ha tenido un gran auge en Brasil y en Estados Unidos de Norteamérica, el biodiesel ha ido adquiriendo mayor fuerza al paso del tiempo, fomentando con ello el desarrollo de la producción de oleaginosas en muchos países (Claridades Agropecuarias, 2007).

Los biocombustibles se pueden utilizar principalmente como fuente de energía de vehículos a motor y producción de electricidad. Se obtienen a partir de materias primas de origen agrícola, ganadero y desechos orgánicos, los cuales pueden ir sustituyendo de forma parcial o total a los combustibles de origen fósil (Aburto *et al.*, 2008). El incremento de la demanda en el mercado de biocombustibles se puede aprovechar para que la agricultura crezca y que favorezca la creación de empleos, la fijación de la población en las áreas rurales, el desarrollo de industrias y actividades agrícolas y la reducción de la

desertificación de las tierras por medio de los cultivos energéticos (APPA, 2006).

Los biocombustibles se clasifican en varios tipos: La primera son los llamados biocombustibles de primera generación que es el biodiesel producido a partir de semillas de cultivos como la colza, soya, girasol, aceites vegetales, entre otros; el bioetanol que es a base de granos, caña de azúcar, sorgo dulce, etc. Otro tipo son los llamados biocombustibles de segunda generación que se obtiene de materias lignocelulósicas como rastrojos, pastos, hierbas y madera; estas materias primas con escaso valor en la actualidad, pueden aprovecharse en la producción de biocombustibles (Claridades agropecuarias, 2007).

2.1.1 Bioetanol.

El etanol fermentado a partir de fuentes renovables es conocido como bioetanol y es un biocombustible que se obtiene de la fermentación a partir de azúcares, almidón o de fécula a partir de biomasa celulósica. La mayoría de la producción comercial de bioetanol proviene de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera, pero también del grano de maíz. Se utilizan como fuentes de energía de combustibles renovables, así como para la fabricación de cosméticos, farmacéuticos, bebidas alcohólicas, etc. (Demirba, 2005).

El etanol a partir de cultivos agrícolas (bioetanol) es de interés a causa de la naturaleza renovable de las materias primas y se puede obtener básicamente a

partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo del biocarburante: 1) alcohol etílico, procedente de las industrias vitivinícolas; 2) plantas ricas en azúcares como la caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce, etc.; 3) cereales como el trigo, cebada y maíz; 4) material lignocelulósico como la hierba, madera y celulosa (APPA, 2006).

El etanol producido a partir de jugo de sorgo dulce (etanol a partir de la savia del tallo) es a través de la tecnología de fermentación similar a la melaza proceso basado utilizando la misma infraestructura utilizada para la industria de la caña de azúcar. Los tallos son triturados para extraer el jugo similar a la de caña de azúcar (Srinivasa *et al.*, 2009).

La producción de etanol a partir de biomasa se pueden resumir brevemente en los siguientes pasos: 1) Despolimerización del sustrato monomérico de la holocelulosa fermentable, 2) la fermentación de los sustratos despolimerizados, y 3) la destilación del caldo de fermentación para la obtención de etanol deshidratado. En el caso de la bioconversión de la lignocelulosa en etanol consiste en las siguientes operaciones básicas principales: 1) Pretratamiento, 2) Hidrólisis, 3) Fermentación y la separación del producto y 4) Destilación (Figura 1) (Chandel *et al.*, 2007).

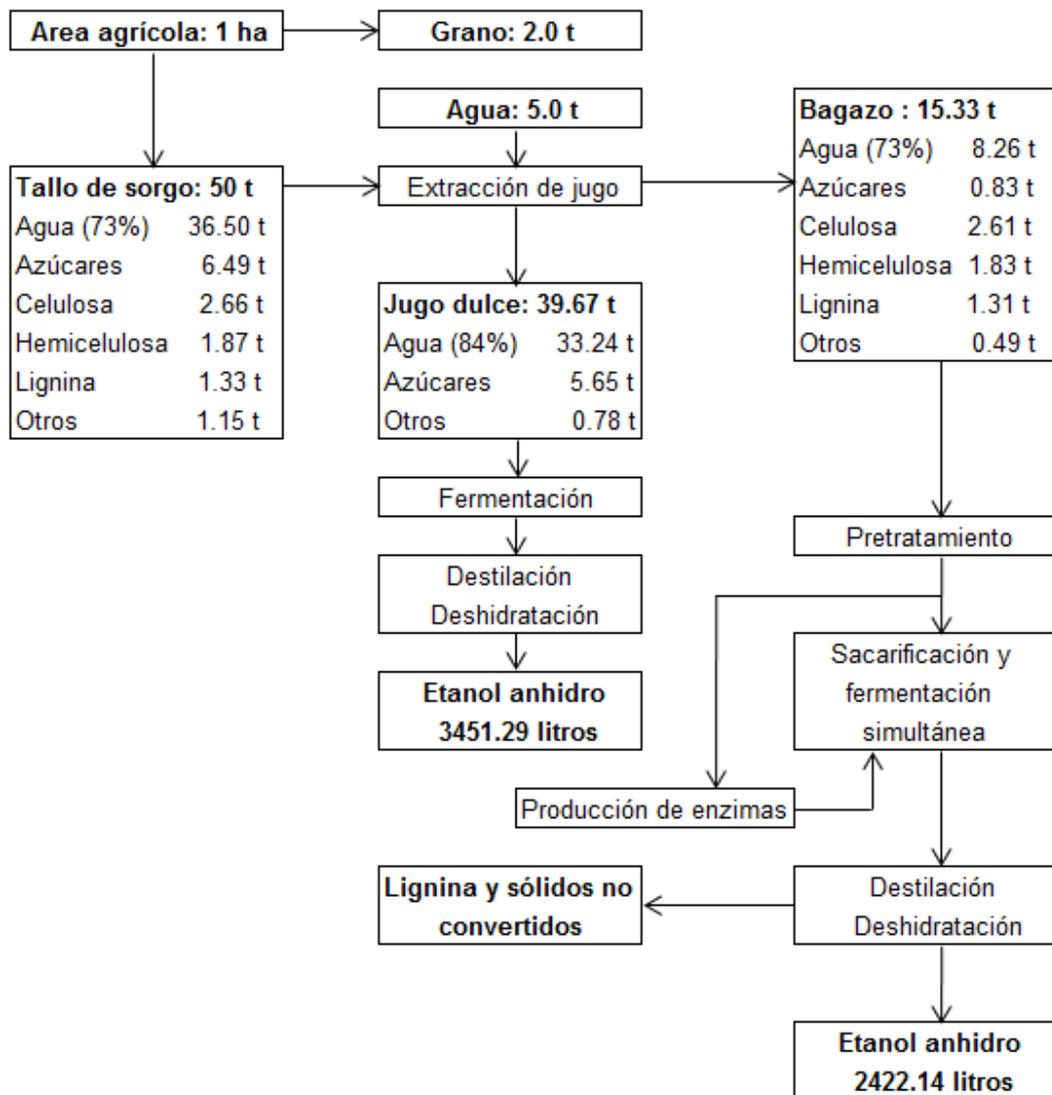


Figura 1. Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol (Almodares y Hadi, 2009).

El bioetanol a partir de sorgo dulce ha sido considerado como un combustible alternativo en el futuro. El jugo que se extrae del sorgo dulce tiene una alta concentración de sacarosa que puede ser utilizado directamente como medio de fermentación para la producción de bioetanol (Jingyang *et al.*, 2008).

Hay varios esquemas de diseños propuestos por varios autores para la producción de etanol con sorgo dulce y la mayoría muestran el uso que se le da a los tallos, hojas, grano y el bagazo que resulta de la extracción del jugo (Figura 2).

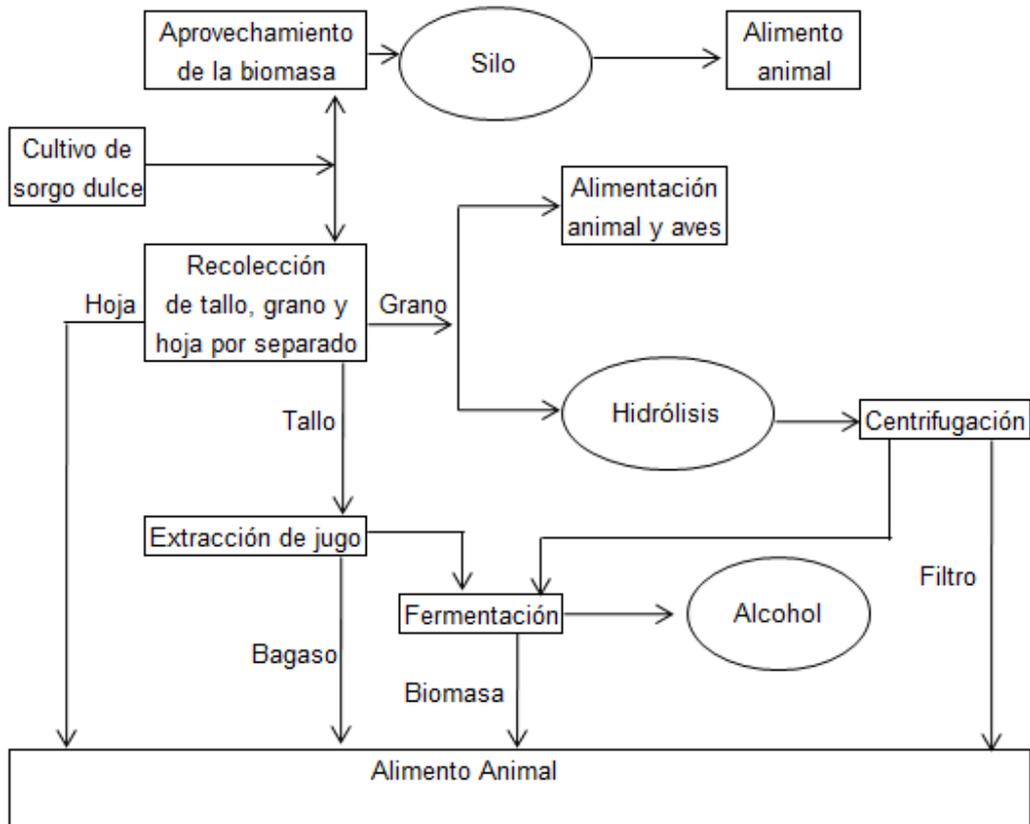


Figura 2. Diseño propuesto para la producción de bioetanol con sorgo dulce (Almodares y Hadi, 2009).

2.1.2 Biodiesel.

El biodiesel es un combustible fabricado a partir de aceites vegetales, como los aceites de soja, colza, entre otros, o de aceites animales, como es el sebo de las reses, pudiendo ser este virgen o usado. El biodiesel resulta ser muy similar al diesel derivado del petróleo, se forma a partir de transesterificación de

aceites vegetales con metanol (o etanol) (Claridades Agropecuarias, 2007). El biodiesel tiene muchas ventajas como la energía renovable que incluyen los recursos que se derivan de una fuente renovable, recursos internos, aliviando así la dependencia de petróleo fósil, es biodegradable y no tóxico. Además, en comparación con el diesel derivado del petróleo, el biodiesel tiene un perfil más favorable de emisiones de combustión, tales como las bajas emisiones de monóxido de carbono, partículas y los hidrocarburos no quemados. Además, el uso de biodiesel a gran escala es promover las siembras de los cultivos utilizados para producir su materia prima. Ello se traduciría en más CO₂ reciclado mediante la fotosíntesis, minimizando así el impacto en el efecto invernadero. El biodiesel tiene un punto de inflamación relativamente alto (150°C), que hace que sea menos volátil y más seguro en su transporte y su manejo que el diesel del petróleo (Al-Zuhair, 2007).

2.2 El sorgo dulce.

El sorgo dulce crece en ambientes extremos, es un cultivo que permite obtener alimento, forrajes y combustible a bajo costo y es una buena opción como cultivo alternativo (Srinivasa *et al.*, 2010). Algunos países ya utilizan sorgo dulce como principal materia prima para la producción de bioetanol, en países como la India el costo de producción de un galón de bioetanol a partir de sorgo dulce es de 1.74 USD, en comparación con los 2.12 USD del maíz y los 2.19 USD de la caña de azúcar. Actualmente, centros de investigación como el International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT)

trabajan en el desarrollo de variedades de sorgo dulce insensibles al fotoperiodo y a la temperatura (www.icrisat.org/2008).

El sorgo dulce es similar al sorgo de grano, con un crecimiento rápido, alta producción de biomasa y una mayor capacidad de adaptación y se sabe que tienen un gran potencial en la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005); su productividad de bioetanol es alta, de 3,500 l ha⁻¹ a 5,600 l ha⁻¹, y tiene una menor necesidad de fertilizantes nitrogenados y agua en comparación con otros cultivos tradicionales como el maíz (Jianliang *et al.*, 2010); Además, es un cultivo C4 y tiene una elevada eficiencia fotosintética, con ello desempeña un papel fundamental en la concentración de azúcares (Almodares y Hadi, 2009). Las variedades de sorgo dulce acumulan de 10 a 25% de azúcar en el jugo del tallo y expresando sus máximos valores cerca del momento de la madurez del grano. La glucosa y la fructosa son los azúcares reductores predominantes en el jugo y la sacarosa es el disacárido predominante (Ritter *et al.*, 2008).

Los hidratos de carbono que están presentes en el sorgo dulce, pueden ser no estructurales como los azúcares y el almidón, o de sustancias estructurales, tales como celulosa, hemicelulosa y pécticas, las cuales se concentran en el tallo (sacarosa y azúcar invertido); estos son aptos en la producción de bioetanol para biocombustible debido a que estos hidratos de carbono son fácilmente convertidos (Almodares y Hadi, 2009). Sin embargo, en México no

existen variedades mejoradas específicamente seleccionadas por su producción de azúcares.

2.3 Hibridación.

En la hibridación se aprovecha la generación F_1 proveniente del cruzamiento entre dos progenitores (Márquez, 1988). En el sorgo, los híbridos que se forman son de cruce simple utilizando tres líneas que se denominan A, B y R. Las líneas A y B son isogénicas y solo difieren en que la línea A es androestéril y la B es androfértil. Las líneas R son capaces de restaurar la fertilidad en el híbrido de la cruce A x R, por lo que las líneas A y R se seleccionan por su aptitud combinatoria para la expresión del vigor híbrido o heterosis en caracteres tales como rendimiento y otros agrónomicamente deseables (crecimiento, tamaño, vigor en general) (Castillo, 1980; House, 1982). Uno de los propósitos de formar híbridos es precisamente el explotar la heterosis o vigor híbrido que se presenta al cruzar dos líneas homocigóticas (Orozco y Mendoza, 1983).

2.4 Heterosis.

La base genética de la heterosis ha sido un tema de arduo debate desde hace casi un siglo y sigue siendo un misterio. Los trabajos realizados han tenido el principio de extender sus suposiciones basadas en modelos de genética cuantitativa pero con los avances en genética molecular, ha sido posible estudiar este fenómeno de una manera más refinada. De hecho, los estudios recientes en el maíz y el arroz para intentar una interpretación de la heterosis se

han facilitado en gran medida por marcadores moleculares (Parvez, 2006). Los datos generados a partir de marcadores ofrecen un perfil impecable de regiones genómicas involucradas en la expresión característica y se espera descifrar la base inexplicable de la heterosis. Con la llegada de la tecnología del ADN recombinante y marcadores moleculares, las investigaciones de la heterosis son cada vez más avanzadas e informativas que las del pasado y se basan en la evidencia científica más precisa (Tsaftaris, 1995).

La mayoría de las investigaciones recientes de la heterosis utilizan marcadores moleculares y QTL (loci de caracteres cuantitativos) de los análisis. Una abundancia de marcadores moleculares basados en el ADN presente en muchas especies de plantas permite la identificación de las relaciones entre los marcadores y rasgos fenotípicos, como la heterosis, que son la segregación de una determinada población (Stuber *et al.*, 1992).

Estudios realizados anteriormente por diferentes autores, proponen dos posibles mecanismos de la heterosis: La hipótesis de la dominancia y la hipótesis de la sobredominancia. En teoría, los dos conceptos se basan en dos fenómenos genéticos diferentes, pero en la mayoría de las situaciones dan expectativas similares (Parvez, 2006). En ambos casos, conduce a una disminución en vigor por la endogamia, al mismo tiempo que el cruzamiento conduce al incremento de su vigor. En el caso de los dos conceptos de dominancia y el exceso de posición dominante, la disminución en el vigor es

proporcional a la disminución de la heterocigosidad con independencia del número de alelos dominantes y recesivos y el grado de dominancia. Según Xu (2003), el rendimiento y sus componentes son caracteres complejos, y que la heterosis debe ser genéticamente controlado por muchos genes.

Shull (1948) fue el primero en tener un concepto claro del vigor híbrido; además, se le atribuye el haber acuñado el término de "heterosis", el cual utilizó por primera vez en 1914. Las características de la heterosis son: Un mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a enfermedades y a plagas; todo esto se manifiesta en la progenie de los organismos cruzados al compararse con los organismos endogámicos (Márquez, 1988). La heterosis se expresa cuando los progenitores de un híbrido poseen diferentes alelos en un locus y existe algún nivel de dominancia entre los alelos (Fehr, 1987).

La heterosis en sorgo se observó y describió antes de que se vislumbrara la posibilidad de explotar el vigor híbrido a escala comercial. Resultados publicados por diversos autores mencionan que el vigor híbrido no se manifestó solamente en el rendimiento, otros caracteres fueron de igual manera impactados (mayor crecimiento vegetativo, mayor número de hijuelos, hojas de mayor superficie, mayor tamaño de las panículas, y mayor altura (Ricelli *et al.*, 1977).

Kirby y Atkins (1968) mencionaron que los híbridos se caracterizan por una floración temprana, una mayor altura, tallos y hojas más grandes que incrementaron la productividad del grano y forraje. Kambal y Webster (1966) reportaron que el contenido de proteína del grano es menor en los híbridos que en las líneas parentales (heterosis negativa). Hongtu *et al.* (1990) reportaron valores negativos de heterosis para contenido de azúcar en el jugo del tallo del sorgo, sugiriendo que los genes que controlan el bajo contenido de azúcar son parcialmente dominantes o manifiestan efectos de aditividad.

Aunque la heterosis en sorgo ha sido estudiada en detalle, la mayoría de la información proviene de sorgo para grano y forraje. Sin duda, los experimentos futuros se acercarán más al fenómeno de la heterosis utilizando nuevas herramientas de tecnología avanzada; además, deben ser cuidadosamente diseñados para proporcionar una mayor evidencia del mecanismo de la heterosis y se espera que estos experimentos tengan como base el conjunto de conocimientos hasta ahora sobre la heterosis (Budak *et al.*, 2002).

En nuestro país, la información acerca del potencial de las variedades de sorgo dulce para la producción de biocombustible (etanol), así como los posibles valores de heterosis que pueden registrarse es escaso pero a nivel mundial se han realizado trabajos de investigación en sorgo dulce en diferentes países como los siguientes:

Rajendran *et al.* (2000) realizaron trabajos en la India y al momento de la cosecha se determinaron características de calidad, rendimiento de azúcar y jugo, los resultados mostraron aumentos significativos en los rendimientos de tallos y azúcar comparados con los testigos; también se incrementó la materia seca y la generación de tallos secundarios y la cantidad de jugo extraído, pero la sacarosa, los Brix y grados de pureza se redujeron en comparación con las plantas intactas.

Turgut *et al.* (2005) de la Universidad de Uludag en Turquía, estudiaron la producción de sorgo dulce aumentando la densidad de plantas y los niveles de fertilización con nitrógeno. Utilizaron cinco plantas dentro de cada distancia (5, 10, 15, 20 y 25 cm) y cinco dosis de fertilización con nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ en condiciones de riego; y entre los resultados, los rendimientos más altos en forraje y materia seca se obtuvieron a partir de los 5 a 10 cm de distancias dentro de la fila con un promedio de 82.9 t ha⁻¹ de forraje y 30,5 t ha⁻¹ de materia seca. El rendimiento de grano fue de 3.15 y 4.53 ton ha⁻¹ y el mayor rendimiento se obtuvo de la combinación 10/20 cm de separación dentro de la fila y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno. En este estudio los autores demostraron que el sorgo dulce tiende a producir más forraje y rendimiento de materia seca cuando se fertiliza con altos niveles de Nitrógeno.

Almodares *et al.* (2007) realizaron estudios de la interrelación entre el análisis del crecimiento y el contenido carbohidratos en líneas de sorgo dulce

en la Universidad de Isfahan, en Irán, encontrando que excepto en la etapa de madurez, las correlaciones entre el Índice de área foliar (IAF), la Tasa de asimilación neta (TAN) y la Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) con el contenido de sacarosa y azúcares totales fueron positivos y los azúcares invertidos (glucosa, fructosa, maltosa y xilosa) fueron negativos. La relación indica que a medida que la planta crece la cantidad de sacarosa y los azúcares totales se incrementa, mientras que la cantidad de azúcares invertidos disminuye. La relación entre los azúcares invertidos, incluida la glucosa, fructosa, maltosa y xilosa en la etapa de masa dura del grano con el IAF, TAN y TCC fueron negativos.

Channappagoudar *et al.* (2007) evaluaron en la India genotipos de sorgo dulce para el rendimiento del tallo, características del jugo y niveles de azúcar, obteniendo resultados en los genotipos de alto rendimiento SSV-74, SSV-7073, 12611 y SSV-53-SSV que registraron alto porcentaje de jugo extraíble y los genotipos SSV-7073, SSV-74 y Río registraron un alto porcentaje de Brix.

Ritter *et al.* (2007) evaluaron la relación genética entre el sorgo dulce y el sorgo de grano usando marcadores AFLP (Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados). Al realizar la comparación de 35 sorgos dulces y 64 de grano que se proyectaron con 227 marcadores AFLP, los grupos que obtuvieron no se definieron claramente sobre la base de la clasificación racial, las líneas de sorgo dulce a menudo se agrupan con los sorgos de grano de

origen racial similar, lo que indica que el sorgo dulce es de origen polifilético en *S. bicolor ssp. bicolor*.

Almodares *et al.* (2008) estudiaron el rendimiento de los tallos de sorgo dulce y carbohidratos solubles bajo diferentes niveles de salinidad utilizando dos variedades (Keller y Sofra) y una variedad de sorgo de grano (Kimia) que se sembraron en invernaderos en cuatro niveles de salinidad (2, 4, 8, y 12 dSm⁻¹). Los resultados mostraron que en la más alta concentración de sales (12 dSm⁻¹), Keller mostró una reducción del rendimiento de sus tallos (menos del 1%) y mayor contenido de sacarosa, mientras que Kimia tuvo la mayor reducción del rendimiento de tallos (más del 18%) y menor contenido de sacarosa. Con el aumento de la salinidad, la cantidad de glucosa y fructosa en Keller disminuyó y aumentaron en Sofra. El aumento de la glucosa y la fructosa en Sofra no es una indicación de su tolerancia a la sal. En la etapa de madurez fisiológica, la planta tuvo el más alto rendimiento y el contenido de sacarosa en los tallos al mismo tiempo, tiene el menor contenido de glucosa y fructosa que la etapa de floración. En base a los resultados obtenidos, los autores recomiendan la variedad Keller para ser sembrada en condiciones de salinidad del suelo y su cosecha en la etapa de madurez fisiológica.

Miller y Ottman (2010) de la Universidad de Arizona en Estados Unidos de Norteamérica, realizaron un estudio para evaluar los efectos de la frecuencia de riego sobre el crecimiento de los cultivos y la producción de etanol en sorgo

dulce. Al aplicar diferentes riegos no encontraron una diferencia en la cosecha para la concentración total de azúcar, lo que implica que el estrés hídrico no aumenta la concentración de azúcar en el sorgo dulce.

Pfeiffer *et al.* (2010) realizaron una evaluación en la Universidad de Kentucky (Estados Unidos) de 12 híbridos de sorgo dulce con citoplasma A3 encontrando que los híbridos registraron hasta 20% de azúcar, 18% de biomasa y 20% más de jugo que sus progenitores.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la investigación.

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), que se localiza en el km 17 de la carretera Zuazua-Marín, en el municipio de Marín, Nuevo León; se ubica geográficamente en las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 02' de longitud oeste, a una altura de 355 msnm, con un clima Acx que se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias escasas todo el año (INIFAP, 2010).

3.2 Material genético.

En el Cuadro 1 se muestran los progenitores femeninos y masculinos los cuales se utilizaron en el ciclo Primavera 2009 para la formación de los híbridos.

Cuadro 1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.

Núm.	Línea hembra (♀)	Núm.	Línea fértil (♂)
1	FAUANL-33A	1	FAUANL-5
2	FAUANL-35A	2	FAUANL-40
3	FAUANL-34A	3	FAUANL-10
		4	FAUANL-4
		5	FAUANL-7
		6	TX435
		7	FAUANL-8
		8	SC301
		9	PAMPA VERDE
		10	KANSAS COLLIER
		11	FAUANL-1
		12	MILENIO
		13	AB7500

En el Cuadro 2 se muestran los híbridos y sus progenitores evaluados en el ciclo Otoño 2009.

Cuadro 2. Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.

Núm Híbrido (F ₁)	Núm Línea hembra (♀)	Núm Línea fértil (♂)
1 FAUANL-33A X FAUANL-5	1 FAUANL-33A	1 FAUANL-5
2 FAUANL-33A X FAUANL-40	2 FAUANL-35A	2 FAUANL-40
3 FAUANL-33A X FAUANL-10	3 FAUANL-34A	3 FAUANL-10
4 FAUANL-33A X FAUANL-4		4 FAUANL-4
5 FAUANL-33A X FAUANL-7		5 FAUANL-7
6 FAUANL-33A X TX435		6 TX435
7 FAUANL-33A X FAUANL-8		7 FAUANL-8
8 FAUANL-35A X FAUANL-10		8 SC301
9 FAUANL-35A X FAUANL-5		9 PAMPA VERDE
10 FAUANL-35A X SC301		10 KANSAS COLLIER
11 FAUANL-35A X FAUANL-40		11 FAUANL-1
12 FAUANL-35A X PAMPA VERDE		12 MILENIO
13 FAUANL-35A X KANSAS COLLIER		13 AB7500
14 FAUANL-35A X FAUANL-8		
15 FAUANL-34A X MILENIO		
16 FAUANL-34A X KANSAS COLLIER		
17 FAUANL-34A X FAUANL-8		
18 FAUANL-34A X FAUANL-5		
19 FAUANL-34A X AB7500		

3.3 Análisis estadístico.

El diseño estadístico utilizado para el análisis individual de los genotipos fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

En donde:

μ = media general.

Y_{ij} = respuesta del tratamiento i en ambiente j.

T_i = efecto del tratamiento i.

B_j = efecto del bloque j.

E_{ij} = es el error experimental.

En la comparación entre hembras para el análisis combinado se estableció bajo el método de parcelas divididas y en cual la hembra representa a la parcela grande y los híbridos representan a la parcela chica. Para esto se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_{ij} + \beta_k + (AB)_{ik} + e_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto de la parcela grande en su nivel i.

S_{ij} = Error asociado con parcelas grandes E(a)

β_k = Efecto de la parcela chica en su nivel k

$(AB)_{ik}$ = Efecto de la interacción AB al nivel i, k

e_{ijk} = Error aleatorio asociado con parcelas chicas

3.4 Metodología general

La metodología general utilizada fue para los dos ciclos de investigación que fueron de Primavera y Otoño del 2009. En el periodo de investigación del ciclo Primavera 2009 se utilizaron dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2) y la densidad de siembra fue de 4 g por surco de 5 m y se obtuvo una densidad de 10 plantas por metro lineal. El trabajo en campo consistió en la preparación del suelo basado en el barbecho, cruza, nivelación, trazo de las acequias y preparación del riego. La siembra de las hembras de la primera fecha se efectuó el día 31 de Marzo de 2009, la siembra de los machos se realizó el 7 de abril y las hembras de la fecha dos se sembraron el día 8 de Abril con una diferencia de nueve días entre siembras de las hembras. El riego se realizó en cuatro ocasiones, se hizo un aporque y un deshierbe; los cruzamientos entre las hembras y los machos se iniciaron el 7 de Junio.

En el ciclo Otoño 2009 se realizaron las mismas prácticas agrícolas y las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2 por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.

La evaluación para alcanzar el primer objetivo se efectuó durante el ciclo de Otoño 2009 y se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea

macho). Para el registro del Contenido de solutos en tallo (% de Brix) se obtuvo una muestra del jugo del tallo y se colocó en el refractómetro y se observó la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares y los muestreos se realizaron de la siguiente manera: 1) En la aparición de la hoja bandera, 2) Floración, 3) 14 días después de la floración y 4) En la madurez.



Figuras 3 y 4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.

3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.

En el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos), los genotipos se establecieron en diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos y considerados como ambientes asociados a cada una de las hembras, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El experimento 1 se estableció con la hembra FAUANL-33A, el experimento 2 con la hembra FAUANL-35A y el experimento 3

con la hembra FAUANL-34A. Las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m² por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

Para este objetivo se realizó registro de datos en las siguientes variables:

1) Altura de la planta (cm): La medición se considera desde la base de la planta a la punta de la panoja (figura 2).



Figuras 5 y 6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.

2) Diámetro del tallo (cm): En la medición se consideró el diámetro del tallo en la altura media del mismo (Figura 3).



Figuras 7 y 8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.

3) Días a floración (días): Se consideró a partir de la siembra hasta cuando las plantas presentaron el 50 % de las panículas en anthesis.

4) Contenido de solutos en tallo (% de Brix): Se obtuvo a través de una muestra del jugo del tallo y se colocada en el refractómetro y registrando la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares. Los datos para esta variable se registraron en cuatro etapas: 1) a la aparición de la hoja bandera (BRIX M1), 2) floración (BRIX M2), 3) 14 días después de la floración (BRIX M3) y 4) durante la madurez fisiológica del grano (BRIX M4).

5) Peso fresco (g) el cual se registró el peso de 10 plantas, se realizó el cálculo del peso fresco por parcela y posteriormente se realizó la estimación del peso fresco por hectárea con la siguiente fórmula:

$$PFH = \frac{(PP)(AH)}{AP}$$

Donde:

PFH = Peso fresco por hectárea (ton ha⁻¹)

PP = Peso de plantas (10)

AH = Área de una hectárea (10,000 m²)

AP = Área de la parcela (8 m²)

El análisis estadístico se realizó con la versión 8.0 del programa SAS (SAS, 2000).

3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.

Para alcanzar el tercer objetivo de los efectos de la heterosis, en el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos) y las estimaciones de los porcentajes de heterosis y heterobeltiosis para las variables en estudio se realizaron en base a las siguientes fórmulas:

$$\text{Heterosis (\%)} = (F_1 - \text{Progenitor medio}) \times 100 / \text{Progenitor medio}$$

(Niehaus y Pickett, 1966).

$$\text{Heterobeltiosis (\%)} = (F_1 - \text{Mejor progenitor}) \times 100 / \text{Mejor progenitor}$$

(Fonseca y Patterson, 1968).

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.

Para alcanzar este objetivo se procedió a realizar los muestreos de Brix en cuatro periodos del ciclo del cultivo y en los cuales se obtuvieron los promedios que se observan en el Cuadro 3 en el cual se muestra que para los híbridos el mejor periodo de concentración de azúcares fue en el tercer periodo de los muestreos (14 días después de la floración) y para los progenitores el mejor periodo fue el de madurez fisiológica (Cuadro 4).

Cuadro 3. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de Brix en los híbridos.

Núm	Genotipo	BRIX M1	BRIX M2	BRIX M3	BRIX M4
1	FAUANL-33A X FAUANL-5	4.5	11.0	19.8	18.4
2	FAUANL-33A X FAUANL-40	4.4	10.0	17.4	15.9
3	FAUANL-33A X FAUANL-10	4.2	5.4	12.9	14.8
4	FAUANL-33A X FAUANL-4	4.9	9.6	20.1	19.2
5	FAUANL-33A X FAUANL-7	4.3	8.5	13.5	16.1
6	FAUANL-33A X FAUANL-8	5.2	10.6	16.9	15.3
7	FAUANL-33A X TX435	5.5	11.3	15.4	15.0
8	FAUANL-35A X FAUANL-8	5.6	10.9	19.2	17.0
9	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	5.2	10.8	19.6	16.4
10	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	6.2	10.7	16.8	17.5
11	FAUANL-35A X FAUANL-40	7.0	12.2	17.7	17.2
12	FAUANL-35A X SC301	6.7	13.1	17.8	16.4
13	FAUANL-35A X FAUANL-5	6.0	9.8	19.4	18.4
14	FAUANL-35A X FAUANL-10	7.2	9.6	18.4	16.3
15	FAUANL-34A X MILENIO	4.8	9.3	17.7	17.9
16	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	5.2	9.5	18.0	17.7
17	FAUANL-34A X FAUANL-8	5.0	10.7	15.8	15.5
18	FAUANL-34A X FAUANL-5	5.7	10.9	19.0	18.5
19	FAUANL-34A X AB7500	4.7	10.4	17.0	16.4

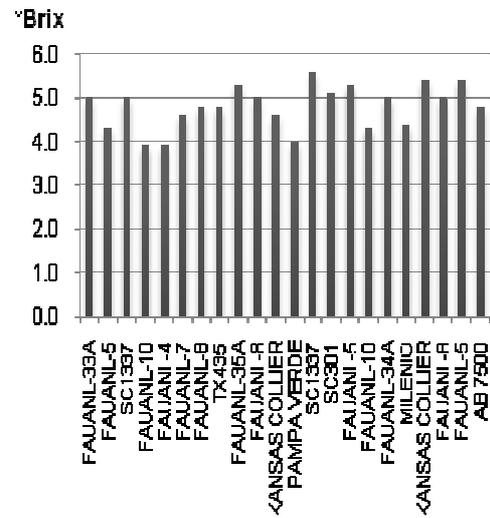
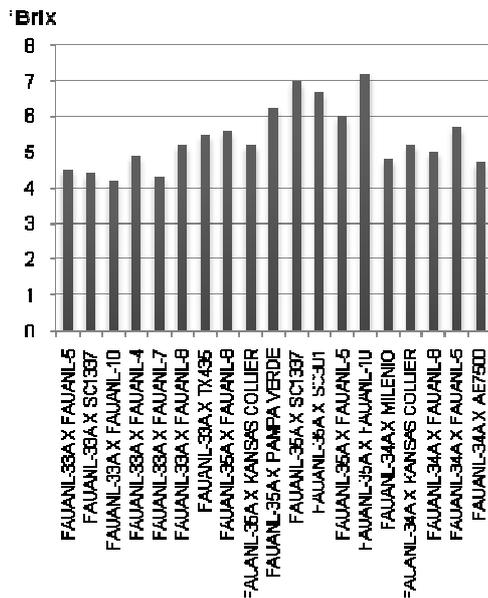
BRIX M1= Hoja bandera, BRIX M2= Floración, BRIX M3= 14 días después de floración, BRIX M4= Madurez fisiológica

Cuadro 4. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de Brix en los progenitores.

Genotipo	BRIX M1	BRIX M2	BRIX M3	BRIX M4
FAUANL-33A	5.0	9.8	14.2	14.3
FAUANL-5	4.3	9.5	19.1	19.6
FAUANL-40	5.0	9.8	16.1	15.0
FAUANL-10	3.9	5.1	13.7	13.8
FAUANL-4	3.9	11.0	18.5	19.6
FAUANL-7	4.6	11.6	13.7	15.0
FAUANL-8	4.8	11.8	13.8	14.5
TX435	4.8	12.0	13.4	12.8
FAUANL-35A	5.3	10.6	15.4	16.8
FAUANL-8	5.0	12.2	19.9	16.9
KANSAS COLLIER	4.6	11.4	19.3	19.8
PAMPA VERDE	4.0	9.0	16.6	16.8
FAUANL-40	5.6	11.6	18.4	17.5
SC301	5.1	11.5	17.5	18.2
FAUANL-5	5.3	10.2	19.9	20.5
FAUANL-10	4.3	8.0	11.6	14.0
FAUANL-34A	5.0	11.0	16.5	14.7
MILENIO	4.4	11.7	15.3	16.6
KANSAS COLLIER	5.4	13.1	17.7	17.3
FAUANL-8	5.0	11.3	14.7	16.4
FAUANL-5	5.4	11.9	18.1	20.0
AB 7500	4.8	10.5	15.2	14.5

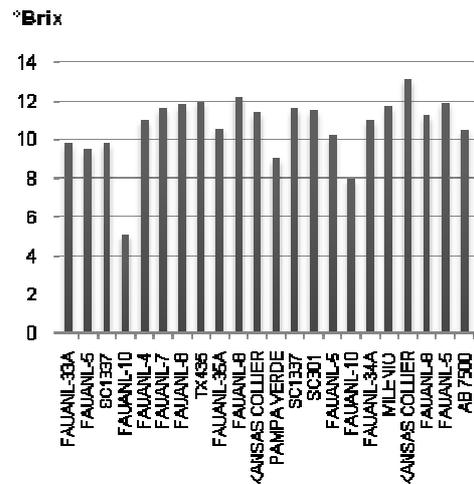
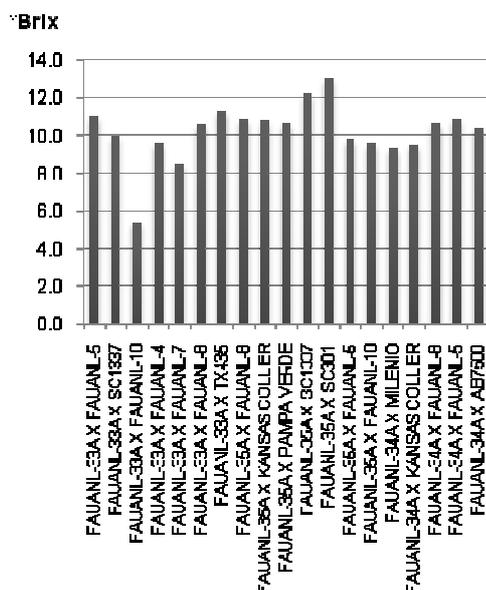
BRIX M1= Hoja bandera, BRIX M2= Floración, BRIX M3= 14 días después de floración, BRIX M4= Madurez fisiológica

En la acumulación de azúcares en los híbridos para la variable Brix muestreo 1 en hoja bandera que se muestra en la Figura 9 los híbridos presentaron un rango de 4 a 7 brix a excepción de FAUANL-35A x FAUANL-10 (7.2Bx) que fue el único genotipo que registró más de 7 brix. La acumulación de azúcares en los progenitores fue más lenta que su descendencia y en la variable brix M1 el rango fue de 3.9 a 5.6 brix (Figura 10).



Figuras 9 y 10. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).

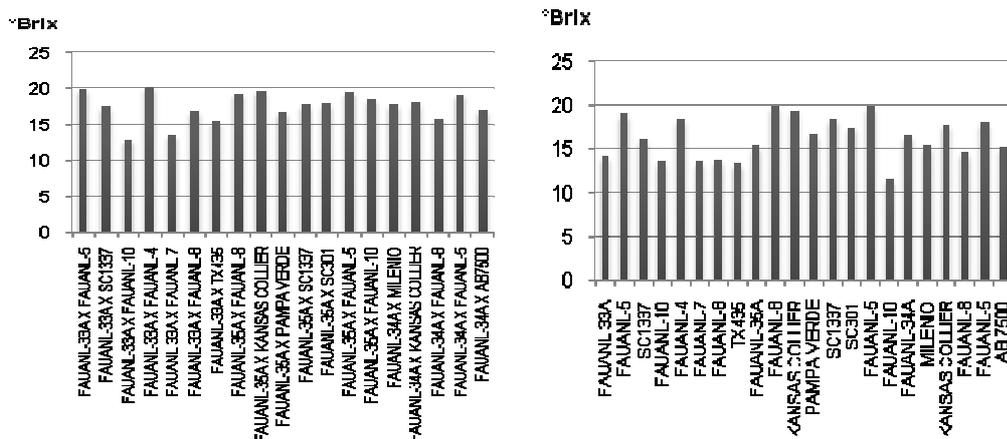
En la variable Brix muestreo 2 en floración (Figura 11) se comenzó a notar el incremento de brix en los híbridos. En este periodo los mayores promedios se registró en los híbridos FAUANL-35A x SC301 (13.1%brix) y FAUANL-35A x FAUANL-40 (12.2%brix). Durante este periodo el rango de brix en los híbridos fue muy amplio ya que se registró a partir de los 5 hasta los 13%brix. Durante este periodo las plantas concentran la mayor parte de su energía en la floración y otra parte en la concentración de brix. Para los progenitores en la variable Brix M2 se presentó un incremento de la concentración de azúcares aunque el rango fue amplio que va de 5.1 a 13.1 brix (Figura 12).



Figuras 11 y 12. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M2 (período de floración).

El periodo registrado en la variable Brix mue streo 3 a los 14 días después de la floración (Figura 13) se presentó la mayor expresión de brix en los híbridos y se registraron los promedios más altos en este estudio y destacaron los siguientes híbridos: FAUANL-33A x FAUANL-4 con 20.1 brix, FAUANL-33A x FAUANL-5 con 19.8 brix, FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 brix, FAUANL-35A x FAUANL-5 con 19.4 brix, FAUANL-35A x FAUANL-8 con 19.2 brix y FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19 brix. El rango en esta variable fue de 13 a 20.1 brix; como ejemplo se puede notar en el híbrido FAUANL-33A x FAUANL-4 que tuvo un promedio de 20.1 Brix y su progenitor masculino 18.5 y el progenitor femenino 14.2 Brix. También en este periodo, se presentó un caso como el del híbrido FAUANL-33A x FAUANL-10 que en este periodo presentó

una media de 12.9°Brix y su progenitor masculino 13.7 y el femenino 14.2°Brix. Se puede mencionar que el híbrido presentó un efecto tardío en la acumulación de azúcares ya que en el siguiente periodo se incrementó su porcentaje de °Brix la cual fue mayor al de sus progenitores. En °Brix M3 para los progenitores el rango de concentración en °brix fue de 11.6 a 19.9 (Figura 14).

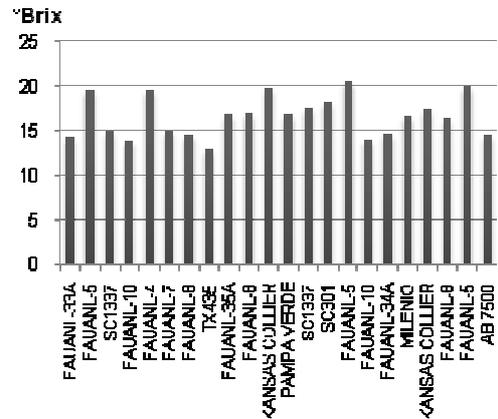
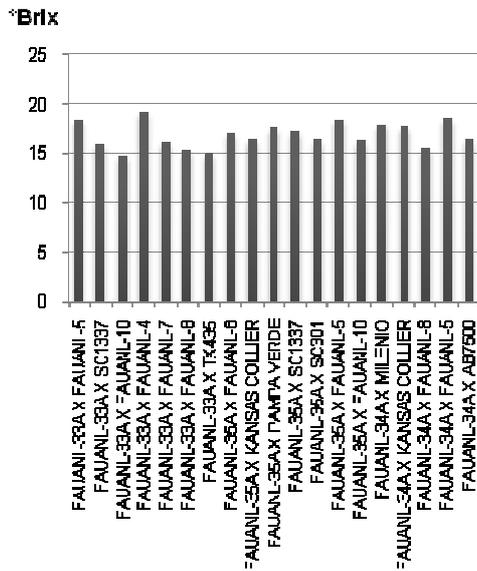


Figuras 13 y 14. Porcentajes de °Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable °Brix M3 (periodo de 14 días después de la floración).

En esta variable asociada con la concentración de azúcares en los híbridos provenientes de la hembra 2 (FAUANL-35A) no se observó una superioridad marcada de parte de los híbridos hacia los progenitores ya que los valores presentados en los híbridos fueron iguales (estadísticamente) a los valores de los progenitores; el máximo valor lo obtuvo el genotipo FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 °Brix que estadísticamente fue igual a otros 11 genotipos. En los híbridos de la hembra 3 para esta variable (°Brix M3) los valores no son más altos que en los híbridos provenientes de las hembras 1 y 2,

ya que el valor más alto fue el del híbrido FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19°Brix.

Durante el muestreo en la variable °Brix M4 en la madurez (Figura 15) se comenzó a notar un decremento en la concentración de °brix en los híbridos. Un ejemplo es el híbrido con mayor expresión de °brix que en el periodo de 14 días después de la floración registró 20.1°brix y para el periodo de madurez registró 19.2°brix. También se presentaron algunas excepciones como es el caso de los híbridos FAUANL-35A x Pampa verde y FAUANL-34A x Milenio que en el periodo anterior registraron 16.8 y 17.7°brix respectivamente y para el periodo de madurez incrementaron su concentración a 17.5 y 17.9°brix respectivamente. Misma situación situación se presentó en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-10 y FAUANL-33A x FAUANL-7 que registraron los promedios más bajos de 12.6 y 13.5°brix respectivamente en el anterior periodo y en madurez se incrementó la concentración con un promedio de 14.8 y 16.1°brix respectivamente, en síntesis estos híbridos presentaron un efecto tardío en la concentración de azúcares. El periodo de madurez fue el de mayor registro para la concentración de °brix en los progenitores en el cual se muestra su máxima expresión en la concentración de azúcares (Figura 16). Durante este periodo se presentó una situación en la cual el progenitor masculino FAUANL-5 alcanzó 20.5 °brix.



Figuras 15 y 16. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).

De forma general en la Figura 17 se puede observar la acumulación de azúcares en los híbridos y los progenitores a través de los cuatro muestreos realizados y se puede observar el incremento o disminución de la acumulación de azúcares de cada genotipo en cada uno de los diferentes muestreos así como el periodo de máxima expresión.

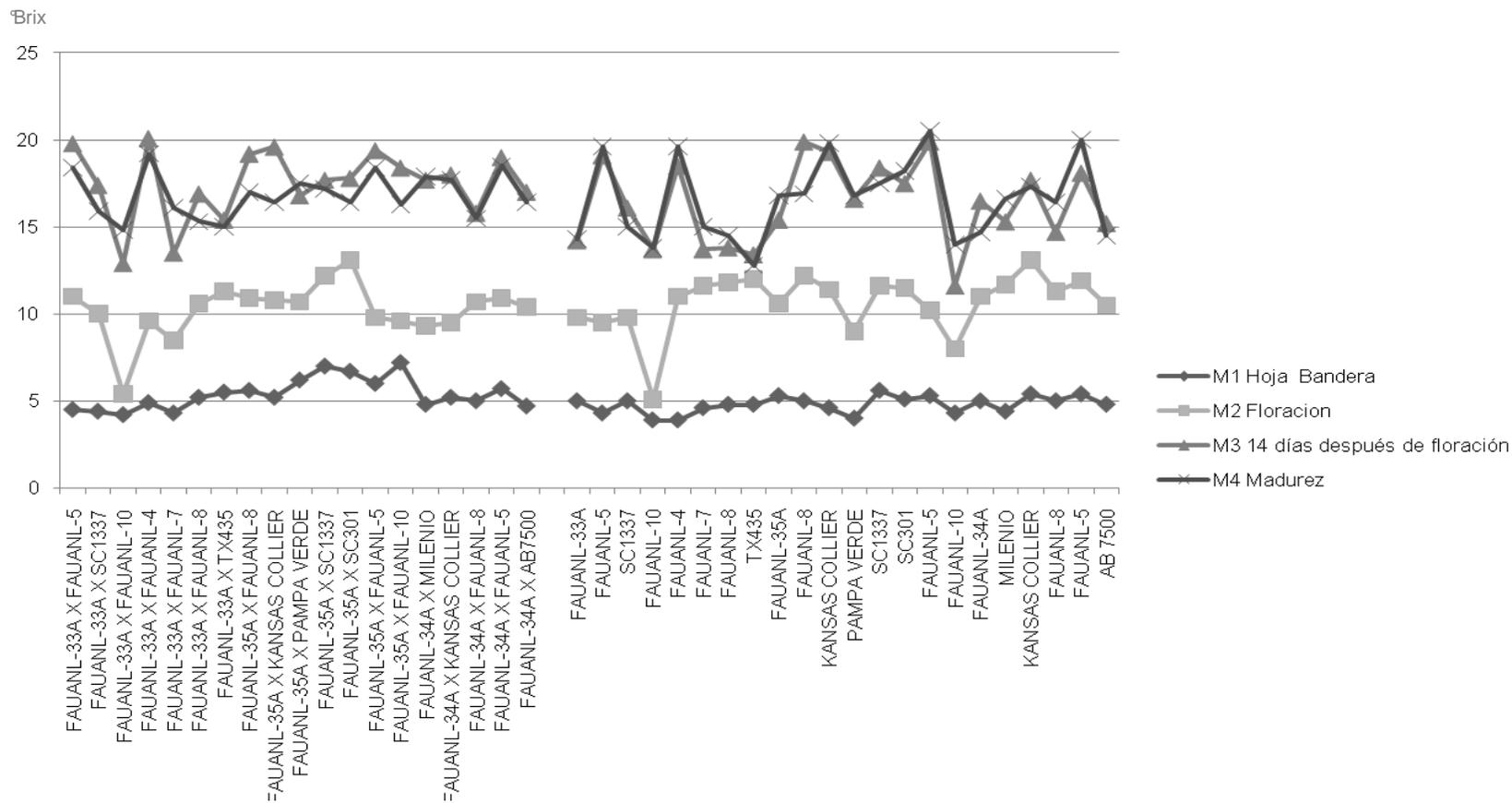


Figura 17. Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.

4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

En este objetivo se realizó el análisis combinado para la comparación entre hembras y un análisis individual para los genotipos.

4.2.1 Comparaciones entre hembras.

Se realizó el análisis de varianza combinado incluyendo las tres hembras en estudio; en el Cuadro 5 se muestra una interacción hembra x genotipo en la mayoría de las variables con excepción de Brix M1 y Brix M4, la cual demostró significancia únicamente para hembras y genotipos. Considerando estos resultados, se realizó un análisis individual por hembras que permitiera identificar la mejor combinación macho-hembra para una mayor expresión de las variables.

Cuadro 5. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	156.5955	2.03	0.0013	0.03	2.7450	1.76	0.6867	1.49
Hembras	2	856.9629	11.13*	0.0106	0.21	16.0444	10.29*	5.3779	11.65*
Error a (hem x rep)	4	157.1669	2.04	0.0372	0.74	2.5413	1.63	1.4105	3.06
Tratamiento	11	2288.4605	29.73**	0.3352	6.71**	8.8930	5.70**	0.9077	1.97
Hembras x tratamiento	5	6373.5925	82.79**	0.2224	4.45*	15.8600	10.17**	1.3185	2.86
Error b	32	76.9857		0.0499		1.5595		0.4614	

Fuente	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	4.8963	4.14	2.4339	1.60	1.6909	1.20	23.5838	0.26
Hembras	2	0.2747	0.23	8.1606	5.37	0.1756	0.12	198.1040	2.17
Error a (hem x rep)	4	2.7904	2.36	2.0933	1.38	1.3702	0.97	34.2985	0.38
Tratamiento	11	7.6915	6.51**	8.5851	5.65**	3.7236	2.64	151.8449	1.66
Hembras x tratamiento	5	4.9088	4.15*	16.6410	10.95**	7.8720	5.58	415.7920	4.56*
Error b	32	1.1817		1.5191		1.4112		91.2229	

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. **Significativo a $P \leq 0.01$, *Significativo a $P \leq 0.05$

En la comparación individual (Cuadro 6) se presentó diferencia altamente significativa en la mayoría de las variables con excepción de Peso fresco por hectárea que presentó diferencia significativa nada más.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	63.7058	0.97	0.0719	1.43	1.1176	1.7	0.2972	2.19
Tratamiento	16	4840.4607	73.41**	0.4166	8.29**	48.5931	73.7**	1.6721	12.33**
Error	32	65.9350		0.0502		0.6593		0.1355	

Fuente	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	0.9429	0.72	1.3006	0.80	4.9086	2.16	181.0829	1.21
Tratamiento	16	11.9991	9.12**	17.7343	10.93**	13.2572	5.82**	651.5225	4.34*
Error	32	1.3150		1.6228		2.2772			

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. *Significativo, **Altamente significativo,

Para la comparaciones de medias para las variables en estudio. En Altura de la planta se formaron 5 o 6 grupos en los cuales los híbridos se mostraron superiores (Cuadro 7). Para variable diámetro de tallo se formaron de 3 a 5 grupos, los progenitores presentaron el promedio más alto (Cuadro 8) y para días a floración los progenitores se presentaron más tardíos, donde se formaron 10 grupos (Cuadro 9).

En la variable Brix M1 en la Hembra FAUANL-33A se formaron 5 grupos estadísticos y en la Hembra FAUANL-35A se formaron 4 grupos. En la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística ya que solo se formó un solo grupo (Cuadro 10.) En esta variable los promedios que se registraron fue de un rango de 3.9 a 7.2 brix.

Cuadro 7. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	205.33	PAMPA VERDE	A	187.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	190.66
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	201.00	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	182.00	AB7500	A	189.66
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C	176.66	FAUANL-35 X PAMPA VERDE	A	181.66	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	184.00
FAUANL-4	C	164.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	169.33	FAUANL-34A X AB7500	A	183.33
FAUANL-5	C	159.66	FAUANL-5	A B	163.66	KANSAS COLLIER	A B	172.33
FAUANL-33A X FAUANL-10	C	159.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	163.33	FAUANL-5	A B	166.00
FAUANL-10	C	158.00	FAUANL-35A X SC301	A B	160.00	MILENIO	A B	160.66
FAUANL-33A X FAUANL-7	D	123.33	KANSAS COLLIER	A B	159.66	FAUANL-34A X MILENIO	B C	143.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	D	117.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	B C	144.33	FAUANL-8	C D	112.33
FAUANL-7	D E	111.66	FAUANL-10	B C D	141.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	D E	105.33
FAUANL-33A X TX435	D E	110.00	SC301	C D E	110.33	TES	D E	98.66
FAUANL-8	D E	109.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	D E	107.00	TES	D E	96.00
FAUANL-40	D E	106.66	FAUANL-8	E	100.66	FAUANL-34A	D E	78.00
TX435	D E F	100.00	FAUANL-40	E	97.66	FAUANL-34B	E	74.33
FAUANL-33A	E F	92.00	FAUANL-35A	E	84.00			
FAUANL-33B	F	80.33	FAUANL-35B	E	80.00			
FAUANL-1	F	79.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 8. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	2.56	FAUANL-35B	A B	2.20	TES	A	1.96
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	2.10	FAUANL-8	A B	2.10	TES	A	1.96
FAUANL-33A	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	2.06	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	1.93
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C	2.00	FAUANL-8	A B	1.86
TX435	A B	2.03	FAUANL-35A	A B C D	1.70	KANSAS COLLIER	A B C	1.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	1.96	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D E	1.63	FAUANL-34A	A B C	1.63
FAUANL-8	B C	1.86	FAUANL-10	B C D E	1.63	FAUANL-34A X MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-7	B C D	1.83	FAUANL-35A X SC301	C D E	1.56	MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-33A X TX435	B C D	1.80	FAUANL-5	D E	1.43	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	1.53
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C D	1.80	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	D E	1.40	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B C	1.53
FAUANL-10	B C D	1.73	SC301	D E	1.36	FAUANL-34B	A B C	1.46
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D	1.73	FAUANL-40	D E	1.33	FAUANL-5	A B C	1.43
FAUANL-5	B C D	1.60	PAMPA VERDE	D E	1.30	AB7500	B C	1.26
FAUANL-4	B C D	1.46	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	1.26	FAUANL-34A X AB7500	C	1.16
FAUANL-33B	C D	1.23	FAUANL-35A X FAUANL-40	D E	1.20			
FAUANL-40	D	1.16	KANSAS COLLIER	E	1.16			
FAUANL-33A X FAUANL-40	D	1.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 9. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	76.00	FAUANL-10	A	70.00	FAUANL-8	A	69.00
TX435	B	71.33	FAUANL-8	A B	69.33	MILENIO	A B	67.66
FAUANL-7	B C	69.66	KANSAS COLLIER	B	66.33	AB7500	A B	67.66
FAUANL-8	B C	69.33	FAUANL-35B	B	66.00	KANSAS COLLIER	A B	67.33
FAUANL-33A X TX435	C D	68.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	B C	64.00	FAUANL-34B	A B C	66.66
FAUANL-33B	C D	67.66	FAUANL-35A	B C D	63.66	FAUANL-34A	A B C	65.66
FAUANL-10	D E	66.66	SC301	C D E	62.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	65.66
FAUANL-4	D E F	66.00	FAUANL-5	C D E	62.33	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	65.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F G	65.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	C D E	62.33	FAUANL-5	A B C	63.33
FAUANL-5	E F G H	64.33	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	C D E	62.00	FAUANL-34A X MILENIO	B C	62.66
FAUANL-33A	F G H I	64.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	C D E	61.66	TES	B C	62.66
FAUANL-33A X FAUANL-8	G H I J	63.00	PAMPA VERDE	D E	61.00	TES	B C	62.66
FAUANL-40	G H I J	63.00	FAUANL-40	D E	61.00	FAUANL-34A X AB7500	B C	62.00
FAUANL-33A X FAUANL-10	H I J	62.33	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	D E	61.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	C	61.33
FAUANL-33A X FAUANL-5	H I J	62.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	61.00			
FAUANL-33A X FAUANL-4	I J	61.66	FAUANL-35A X SC301	E	60.66			
FAUANL-33A X FAUANL-40	J	61.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 10. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 1 (BRIX M1).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	7.06	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	7.26	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	5.73
FAUANL-33A X TX435	B	5.50	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	7.06	TES	A	5.56
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C	5.20	FAUANL-35A X SC301	A B C	6.73	KANSAS COLLIER	A	5.43
FAUANL-40	B C D	5.03	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C D	6.20	FAUANL-5	A	5.40
FAUANL-33A	B C D E	5.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C D	6.00	FAUANL-34B	A	5.23
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D E	4.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C D	5.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	5.20
TX435	B C D E	4.83	FAUANL-40	A B C D	5.63	TES	A	5.16
FAUANL-8	B C D E	4.80	FAUANL-35A	A B C D	5.36	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-7	B C D E	4.66	FAUANL-5	A B C D	5.33	FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-33A X FAUANL-5	B C D E	4.50	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B C D	5.20	FAUANL-34A	A	5.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C D E	4.43	SC301	A B C D	5.10	AB7500	A	4.83
FAUANL-5	C D E	4.30	FAUANL-8	A B C D	5.06	FAUANL-34A X MILENIO	A	4.83
FAUANL-33A X FAUANL-7	C D E	4.30	FAUANL-35B	A B C D	5.00	FAUANL-34A X AB7500	A	4.70
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D E	4.23	KANSAS COLLIER	B C D	4.66	MILENIO	A	4.40
FAUANL-33B	C D E	4.13	FAUANL-10	C D	4.30			
FAUANL-10	D E	3.93	PAMPA VERDE	D	4.00			
FAUANL-4	E	3.90						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

La comparación de medias en la variable Brix M2 se presentó un ligero incremento en los promedios registrados tanto en híbridos y progenitores el rango de los promedios fue de 5.1 a 13.2 y se formaron como máximo 2 grupos estadísticos para las dos primeras hembras y en la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística entre los genotipos ya que solo se formó un grupo estadístico (Cuadro 11).

En la variable Brix M3 se presentaron los mayores promedios registrados la mayor diferencia de grupos estadísticos se presentó en la hembra FAUANL-33A donde se formaron 6 grupos estadísticos, 3 y 2 para las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A respectivamente (Cuadro 12).

En la variable Brix M4 los progenitores fueron los que registraron los mayores promedios ya que en esta variable se presentó su máxima expresión y los híbridos ya habían presentado su máxima expresión en la variable Brix M3. Se formaron 4 grupos en la hembra 1 y 3 tanto en la hembra 2 y 3 (Cuadro 13).

En la variable peso fresco los mayores promedios registrados se presentó en los híbridos, pero la excepción fue el progenitor Milenio que presentó el mayor promedio registrado en el peso fresco por parcela. En la hembra 1 se formaron 4 grupos estadísticos, 3 en la hembra 2 y 4 en la hembra 3 (Cuadro 14).

Cuadro 11. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 2 (BRIX M2).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
TX435	A	12.03	FAUANL-35A X SC301	A B	13.16	KANSAS COLLIER	A	13.10
FAUANL-8	A	11.80	FAUAL-35A X FAUANL-40	A B	12.23	FAUANL-5	A	11.90
FAUANL-7	A	11.66	FAUANL-8	A B	12.23	MILENIO	A	11.73
FAUANL-33B	A	11.50	FAUANL-40	A B	11.66	FAUANL-8	A	11.33
FAUANL-33A X TX435	A	11.30	SC301	A B	11.53	FAUANL-34B	A	11.10
FAUANL-4	A	11.03	KANSAS COLLIER	A B	11.46	FAUANL-34A	A	11.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	11.03	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	10.90	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	10.93
FAUANL-33A X FAUANL-8	A	10.60	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	10.86	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	10.76
FAUANL-33A X FAUANL-40	A	10.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	10.73	AB7500	A	10.56
FAUANL-33A	A	9.80	FAUANL-35A	A B	10.60	FAUANL-34A X AB7500	A	10.43
FAUANL-40	A	9.80	FAUANL-5	A B	10.23	TES	A	10.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	9.60	FAUANL-35B	A B	10.00	TES	A	9.86
FAUANL-5	A	9.53	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	9.80	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	9.56
FAUANL-1	A	9.30	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	9.66	FAUANL-34A X MILENIO	A	9.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	8.53	PAMPA VERDE	A B	9.00			
FAUANL-33A X FAUANL-10	B	5.40	FAUANL-10	B	8.00			
FAUANL-10	B	5.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 12. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	20.10	FAUANL-5	A B	19.96	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	19.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	19.80	FAUANL-8	A B	19.90	FAUANL-5	A B	18.16
FAUANL-5	A B	19.13	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	19.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	18.03
FAUANL-4	A B C	18.50	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	19.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	17.40	KANSAS COLLIER	A B	19.36	KANSAS COLLIER	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D E	16.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	19.20	TES	A B	17.33
FAUANL-40	B C D E F	16.13	FAUANL-40	A B C	18.43	FAUANL-34A X AB7500	A B	17.00
FAUANL-33A X TX435	C D E F	15.40	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	18.43	FAUANL-34A	A B	16.53
FAUANL-33B	D E F	14.30	FAUANL-35A X SC301	A B C	17.83	TES	A B	16.03
FAUANL-33A	D E F	14.20	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C	17.73	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B	15.86
FAUANL-8	D E F	13.86	SC301	A B C	17.56	MILENIO	A B	15.33
FAUANL-10	D E F	13.76	FAUANL-35B	A B C	16.90	AB7500	A B	15.23
FAUANL-7	D E F	13.73	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	16.83	FAUANL-8	B	14.70
FAUANL-1	E F	13.60	PAMPA VERDE	B C	16.60	FAUANL-34B	B	14.06
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F	13.50	FAUANL-34A	C	15.43			
TX435	E F	13.40	FAUANL-10	D	11.63			
FAUANL-33A X FAUANL-10	F	12.96						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 13. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-4	A B	19.60	FAUANL-5	A B	20.50	FAUANL-5	A	20.03
FAUANL-5	A B	19.60	KANSAS COLLIER	A B	19.83	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	18.53
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	19.23	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	18.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.90
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B C	18.40	SC301	A B C	18.20	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	17.76
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B C D	16.16	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	17.53	KANSAS COLLIER	A B	17.30
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	15.93	FAUANL-40	A B C	17.53	MILENIO	A B C	16.63
FAUANL-1	A B C D	15.80	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C D	17.20	FAUANL-8	A B C	16.43
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D	15.30	FAUANL-35A X FAUANL-8	B C D	17.03	FAUANL-34A X AB7500	A B C	16.40
FAUANL-33A X TX435	B C D	15.03	FAUANL-8	B C D	16.90	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	15.50
FAUANL-7	B C D	15.00	PAMPA VERDE	B C D	16.80	FAUANL-34A	B C	14.70
FAUANL-40	B C D	15.00	FAUANL-35A	B C D	16.80	AB7500	B C	14.56
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D	14.80	FAUANL-35B	B C D	16.60	TES	B C	14.33
FAUANL-8	C D	14.56	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D	16.46	FAUANL-34B	B C	13.76
FAUANL-33A	C D	14.30	FAUANL-35A X SC301	C D	16.43	TES	C	11.70
FAUANL-10	D	13.80	FAUANL-35A X FAUANL-10	C D	16.30			
FAUANL-33B	D	13.70	FAUANL-10	D	14.00			
TX435	D	12.80						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 14. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	5966.66	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	4616.66	MILENIO	A	6266.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	5550.00	PAMPA VERDE	A	4250.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	4833.30
FAUANL-33A X FAUANL-7	A	5100.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	3850.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	B	4450.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B	4750.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	3816.66	FAUANL-8	B	4083.30
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B C	4600.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	3675.00	FAUANL-34A X MILENIO	B	4016.70
FAUANL-1	A B C	4316.00	FAUANL-35A X SC301	A B	3616.66	FAUANL-34A X AB7500	B	4000.00
FAUANL-4	A B C D	4050.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	3425.00	TES	B C	3500.00
FAUANL-8	A B C D	3983.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	3233.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	B C	3475.00
FAUANL-33A X TX435	A B C D	3700.00	FAUANL-35B	A B C	3200.00	AB7500	B C	3366.70
FAUANL-5	A B C D	3675.00	FAUANL-8	A B C	3100.00	TES	B C	3350.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	3200.00	FAUANL-5	A B C	3050.00	KANSAS COLLIER	B C	3300.00
TX435	B C D	3050.00	FAUANL-10	A B C	2775.00	FAUANL-5	B C	3266.70
FAUANL-10	B C D	3033.33	KANSAS COLLIER	A B C	2650.00	FAUANL-34A	C D	2000.00
FAUANL-7	B C D	3033.33	SC301	B C	2200.00	FAUANL-34B	D	1450.00
FAUANL-33A	B C D	3000.00	FAUANL-40	C	1233.33			
FAUANL-33B	C D	1875.00	FAUANL-35A	C	1170.00			
FAUANL-40	D	1450.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Variable Peso fresco

En la variable peso fresco se registró el peso de 10 plantas por parcela en gramos y posteriormente se realizaron las estimaciones de peso fresco en toneladas por hectárea (10,000 m²), esta estimación se muestra en el Cuadro 15 y se realizó en base a la fórmula presentada en la metodología del objetivo 2. Los híbridos registraron la mayor cantidad de biomasa en comparación con sus progenitores. Como se puede observar los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4 (74.5), FAUANL-33A x FAUANL-5 (69.30), FAUANL-34A x FAUANL-5 (60.37), FAUANL-33A x FAUANL-8 (59.37) y FAUANL-35A X KANSAS COLLIER (57.62) obtuvieron los registros más altos y los más bajos se registró en los progenitores como FAUANL-34B (18.12) y FAUANL-40 (15.37). Es de importancia mencionar que el progenitor Milenio presentó un peso fresco de 78.25 ton ha⁻¹ y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO tuvo 50.12 ton ha⁻¹. Esto se debe a que el progenitor Milenio presenta un alto peso de sus tallos pero en grados brix registró 16.6°Brix en su máximo periodo de concentración que fue en madurez y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO presentó 17.9°Brix en el periodo de 14 días después de la floración y también presenta el mismo diámetro de tallo que el híbrido (1.6 cm), otra diferencia es que durante el muestreo se observó que el progenitor Milenio acumula menos jugo que el híbrido. De forma general el rango que se presentó en el peso fresco en los híbridos fue de 40 a 69.30 ton ha⁻¹ y en los progenitores el rango fue muy amplio ya que el valor más bajo fue de 14.62 y el más alto de 78.25 ton ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 15. Estimación de peso fresco en ton ha⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.

Genotipo	Peso	Genotipo	Peso	Genotipo	Peso
FAUANL-33A X FAUANL-5	69.30	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	55.62	FAUANL-8 (H2)	38.75
FAUANL-33A X FAUANL-40	40.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	43.37	KANSAS COLLIER (H2)	33.12
FAUANL-33A X FAUANL-10	57.50	FAUANL-34A X FAUANL-5	60.37	PAMPA VERDE (H2)	53.12
FAUANL-33A X FAUANL-4	74.50	FAUANL-34A X AB7500	50.00	FAUANL-40 (H2)	15.37
FAUANL-33A X FAUANL-7	63.75	FAUANL-33A (H1)	37.50	SC301 (H2)	27.50
FAUANL-33A X FAUANL-8	59.37	FAUANL-5 (H1)	45.87	FAUANL-5 (H2)	38.12
FAUANL-33A X TX435	46.25	SC1337 (H1)	18.12	FAUANL-10 (H2)	34.62
FAUANL-35A X FAUANL-8	45.87	FAUANL-10 (H1)	37.87	FAUANL-35B (H2)	40.00
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	57.62	FAUANL-4 (H1)	50.62	FAUANL-34A (H3)	25.00
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	47.62	FAUANL-7 (H1)	37.87	MILENIO (H3)	78.25
FAUANL-35A X SC1337	42.75	FAUANL-8 (H1)	49.75	KANSAS COLLIER (H3)	41.25
FAUANL-35A X SC301	45.12	TX435 (H1)	38.12	FAUANL-8 (H3)	51.00
FAUANL-35A X FAUANL-5	40.37	FAUANL-33B (H1)	23.37	FAUANL-5 (H3)	40.75
FAUANL-35A X FAUANL-10	48.12	FAUANL-1 (H1)	53.87	AB7500 (H3)	42.00
FAUANL-34A X MILENIO	50.12	FAUANL-35A (H2)	14.62	FAUANL-34B (H3)	18.12

H1= Hembra 1, H2= Hembra 2, H3= Hembra 3.

4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.

En la estimación de heterosis (Cuadro 18) los resultados muestran que los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x SC301 fueron los que presentaron los porcentajes más altos en la variable Altura. En el diámetro de tallo se presentaron 10 casos con valores negativos y en un solo caso no hubo heterosis. En el caso de Días a floración solo se presentó un caso en el que el genotipo FAUANL-33A x TX435 presentó un porcentaje de heterosis positivo de 0.4 días y esto representa que fue el más tardío de los híbridos.

En la variable Brix M3 que es donde se presentó una mayor concentración de azúcares, los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-7 (-3.3%). Esto es un indicativo que si se utilizan progenitores con alta concentración de azúcares el vigor híbrido para esta variable puede aumentar significativamente la concentración de los azúcares.

En Brix M4 (Madurez) los mayores porcentajes fueron para FAUANL-34A x Milenio (14.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (13.4%), FAUANL-34A x AB7500 (12.0%) y FAUANL-34A x Kansas Collier (11.0%), mientras que los valores negativos fueron para FAUANL-35A x Kansas Collier (-10.1%), WA x SC301 (-6.1%), FAUANL-35A x FAUANL-5 (-1.3%) y FAUANL-34A x FAUANL-8 (-0.4%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%) y el valor negativo fue en FAUANL-34A x Milenio (-2.8%).

Cuadro 16. Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	Peso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	63.18	6.31	-3.38	-3.23	14.14	18.8	8.55	66.29
FAUANL-33A X FAUANL-40	77.85	-28.57	-3.94	-11.63	2.04	14.73	8.76	43.82
FAUANL-33A X FAUANL-10	27.2	9.57	-4.59	-5.22	-27.84	-7.27	5.34	52.49
FAUANL-33A X FAUANL-4	56.83	-2.80	-5.13	10.11	-7.84	22.94	13.47	69.27
FAUANL-33A X FAUANL-7	21.11	6.78	-2.74	-11.03	-20.50	-3.34	10.35	69.06
FAUANL-33A X FAUANL-8	16.42	-9.24	-5.50	6.12	-1.85	20.43	6.00	36.04
FAUANL-33A X TX435	14.58	-12.90	0.49	11.86	3.51	11.59	10.95	22.31
FAUANL-35A X FAUANL-8	15.88	5.26	-6.27	7.99	-4.53	8.68	1.09	72.13
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	49.38	13.95	-6.15	3.65	-1.51	12.84	-10.10	141.71
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	34.07	-6.67	-0.53	32.38	9.52	5.10	4.37	40.84
FAUANL-35A X FAUANL-40	58.90	-20.88	-1.07	28.48	9.88	4.72	0.19	185.02
FAUANL-35A X SC301	64.67	2.17	-3.70	28.66	18.98	8.08	-6.10	114.64
FAUANL-35A X FAUANL-5	36.74	-19.15	-3.17	12.15	-5.92	9.60	-1.34	53.24
FAUANL-35A X FAUANL-10	45.19	24.00	-4.24	50.34	3.94	36.21	5.84	95.18
FAUANL-34A X MILENIO	19.83	-1.03	-6.00	2.84	-17.89	11.09	14.26	-2.82
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	52.33	-8.00	-1.75	-0.32	-20.61	5.36	11.04	67.92
FAUANL-34A X FAUANL-8	10.68	10.48	-2.48	0.33	-3.58	1.60	-0.43	14.25
FAUANL-34A X FAUANL-5	50.82	0	-4.91	10.26	-4.51	9.51	6.72	83.54
FAUANL-34A X AB7500	36.99	-19.54	-7.00	-4.41	-3.25	7.03	12.07	49.07

En los porcentajes de heterobeltiosis obtenidos (Cuadro 17) los genotipos FAUANL-34A x AB7500 (135%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (94.4%), FAUANL-33A x FAUANL-10 (72.8%) presentaron los valores más altos para la variable Altura y en el cual, el genotipo FAUANL-35A x Pampa Verde fue el único que tuvo un porcentaje negativo de -2.8.

En el diámetro del tallo el valor más alto se presentó en el genotipo FAUANL-33A x FAUANL-5 (22.9%) y el más negativo fue FAUANL-34A x AB7500 (-28.5%). En Días a floración la mayoría de los híbridos presentaron porcentajes negativos lo cual nos indica su precocidad con respecto a su mejor progenitor, a excepción de los genotipos FAUANL-33A x TX435, FAUANL-35A x Pampa Verde, FAUANL-35A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x FAUANL-10 que presentaron valores positivos. En la variable Brix M3 los genotipos que presentaron los porcentajes altos fueron: FAUANL-33A x FAUANL-8 (21.8%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (19.4%) y FAUANL-34A x Milenio (15.4%), el porcentaje más negativo fue para FAUANL-33A x FAUANL-10 (-8.7%). En Brix M4 el genotipo FAUANL-34A x AB7500 (11.5%) presentó el porcentaje más alto en relación a su mejor progenitor y el más negativo fue para FAUANL-35A x Kansas Collier (-16.9). En Peso fresco el porcentaje más alto fue en FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%). En esta variable se presentaron altos porcentajes de heterobeltiosis.

Cuadro 17. Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	P eso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	28.60	22.92	-3.63	4.65	15.73	3.48	-6.12	51.02
FAUANL-33A X FAUANL-40	65.63	0	-3.17	-11.92	2.04	7.85	6.22	120.69
FAUANL-33A X FAUANL-10	72.83	0	-2.60	-15.33	-44.90	-8.69	3.50	53.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	22.31	18.18	-6.57	25.64	-12.99	8.65	-1.87	47.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	10.45	14.55	-6.70	-7.86	-26.86	-1.70	7.78	68.13
FAUANL-33A X FAUANL-8	7.34	-3.57	-9.13	8.33	-10.17	21.88	5.03	19.25
FAUANL-33A X TX435	19.57	-14.29	6.25	10.00	15.31	8.45	5.13	23.33
FAUANL-35A X FAUANL-8	6.29	-4.76	-10.10	11.18	-10.90	-3.52	0.79	18.55
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	13.99	40.00	-8.04	11.43	-5.23	1.38	-16.97	74.21
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	-2.85	7.69	1.64	55.00	19.26	1.41	4.37	-10.20
FAUANL-35A X FAUANL-40	47.78	-10.00	1.09	25.44	4.86	-3.80	-1.90	177.70
FAUANL-35A X SC301	45.02	14.63	-2.67	32.03	14.16	1.52	-9.71	64.39
FAUANL-35A X FAUANL-5	3.46	-11.63	-2.14	12.50	-4.23	-2.84	-10.24	6.01
FAUANL-35A X FAUANL-10	94.44	21.57	0.52	35.40	-8.81	19.44	-2.98	229.06
FAUANL-34A X MILENIO	-11.00	0	-7.39	9.85	-20.45	15.43	7.62	-35.90
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	10.64	-9.80	-2.97	-4.29	-26.97	1.88	2.70	34.85
FAUANL-34A X FAUANL-8	-6.23	3.57	-4.83	0	-5.00	7.94	-5.68	-14.90
FAUANL-34A X FAUANL-5	10.84	6.98	-3.16	6.17	-8.12	4.59	-7.49	47.96
FAUANL-34A X AB7500	135.04	-28.57	-5.58	-6.00	-5.15	2.82	11.56	100.00

En el análisis de correlación (Cuadro 18) las variables que presentaron una significancia estadística fueron: Altura con diámetro de tallo, con días a floración, con Brix M3, con Brix M4 y con peso fresco. Diámetro de tallo con días a floración y con peso fresco. Días a floración con Brix M3, Brix M1 con Brix M2 y Brix M3 con Brix M4, las dos últimas correlaciones se presentaron por el efecto continuo de la dinámica de acumulación de azúcares en la planta.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.

	ALTURA	DIAM	DF	BRIX1	BRIX2	BRIX3	BRIX4	PFRESCO
ALTURA	1.00000	-0.32902* <.0001	-0.40474** <.0001	-0.09257 0.2749	-0.12042 0.1549	0.44530** <.0001	0.45861** <.0001	0.51136** <.0001
DIAM		1.00000	0.36641** <.0001	0.09790 0.2481	-0.12927 0.1266	-0.25212 0.0037	-0.24815 0.0046	0.39732** <.0001
DF			1.00000	-0.12338 0.1450	0.07830 0.3561	-0.58734** <.0001	-0.30981* 0.0004	-0.08323 0.3484
BRIX1				1.00000	0.32680** <.0001	0.27719 0.0013	0.14878 0.0924	-0.06552 0.4607
BRIX2					1.00000	0.28244 0.0011	0.18738 0.0335	-0.12383 0.1621
BRIX3						1.00000	0.65522** <.0001	0.13826 0.1181
BRIX4							1.00000	0.13611 0.1240
PFRESCO								1.00000

*Significante al nivel de $p \leq 0.001$

V. DISCUSIÓN

El Sorgo con brix arriba de 8% de azúcares en el jugo del tallo se define generalmente como el sorgo dulce y para esto los tallos tienen que ser jugosos (d recesiva a D) en lugar de secos y dulces (x recesivo a X) en lugar de no dulces (Pfeiffer, 2010).

Los valores máximos de Brix obtenidos en este estudio en los resultados del objetivo 1 son satisfactorios al realizar la comparación de nuestros híbridos y sus progenitores con otros trabajos realizados, en el caso de nuestro país los trabajos en sorgo dulce son escasos el reporte más actual es sobre la variedad RB-Cañero liberado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA, 2010) y entre sus características presenta hasta 16.4 Brix en promedio para la concentración de azúcares de esta variedad y en el plano internacional hay trabajos realizados por autores como Channappagoudar *et al.*, (2007) y Abd El-Razek y Besheit (2009) que reportan hasta 16.3 Brix en sus respectivos trabajos de investigación y otros autores como Rajendran *et al.*, (2000) que reportan hasta 21 Brix en estudios realizados con sorgo dulce. Una de las razones por la cual se obtuvieron estos valores aceptables es la expresión genética de los genotipos utilizados en este estudio y como ejemplo podemos citar a los machos FAUANL-4, FAUANL-5 y Kansas Collier, que en su condición de progenitores masculinos al cruzarse con las hembras que estas no son específicamente de sorgo dulce más bien han

demostrado ser buenas progenitoras en híbridos de sorgo de grano pero al realizar los cruzamientos se incrementó los valores de Brix por las condiciones del vigor híbrido que se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos y esto es de acuerdo con Reddy *et al.*, (2005) que en un estudio realizado para determinar el potencial del sorgo dulce para bioetanol mencionaron que la probabilidad de producción de alto rendimiento de azúcar en los híbridos es significativamente mayor si ambos padres del híbridos o al menos el progenitor masculino son ricos en azúcar y en este trabajo de investigación se aplica la segunda opción.

En la región donde se realizó el estudio los primeros registros de valores de Brix en trabajos de investigación corresponden a Butrón (2006) en trabajos realizados en una serie de sorgos forrajeros durante los años 1995 y 1996. En este trabajo se incluyeron líneas e híbridos de sorgo forrajero y se registró un rango de 11 a 25 Brix en Marín, Nuevo León y en estudios realizados en los años antes mencionados en General Escobedo, Nuevo León el rango fue de 9 a 19.5 Brix la diferencia de la investigación con la que se realizó en este trabajo radica en que los materiales utilizados en el anterior trabajo son de características de más producción de biomasa para alimento animal (forraje) y en nuestro caso el enfoque es en la concentración de azúcares en los tallos del sorgo dulce para producción de bioetanol; además de que en los años que se realizó el trabajo anterior no se había considerado al sorgo para

biocombustibles, esto se debe a que el uso de energías renovables se ha incrementado en la última década por el agotamiento de los recursos petroleros.

El mejor periodo de mayor acumulación de azúcares fue en Brix Muestreo 3 (14 días después de la floración) donde los híbridos tuvieron una ventaja en la concentración de azúcares en comparación con sus progenitores y esto se demostró con la precocidad de los híbridos que en su mayoría presentan la mayor concentración de azúcares en el periodo de 14 días después de la floración y nuestros genotipos progenitores en su mayoría tuvieron su mayor concentración en el periodo de madurez, Channappagoudar *et al.*, (2007) en resultados obtenidos en trabajos realizados con líneas de sorgo dulce mencionan que el escenario más adecuado para los valores más altos de Brix y para obtener un rendimiento aceptable de semilla en las líneas es el estado de madurez fisiológica; esto en el caso de los materiales de doble propósito, es decir, producción de jugo de los tallos y producción de semilla.

En el caso de este trabajo de investigación, la formación de híbridos se enfocó en la concentración de azúcares y posteriormente los híbridos van a ser evaluados en cuanto a la producción de jugo que también es una característica necesaria que debe tener el sorgo dulce para ser utilizado como materia prima ya que es el jugo que contiene los azúcares que es sometido bajo el proceso de fermentación para la producción de bioetanol. En el caso de los materiales de doble propósito (azúcares y semilla) hay competencia entre el llenado de grano

y la concentración de azúcares, Gutjar *et al.*, (2010) hacen mención que la competición entre el llenado del grano y la acumulación de azúcares es importante pero que eso no puede representar un límite fisiológico o genético. Como se ha mencionado anteriormente una de las características del sorgo dulce es la baja cantidad de semilla que se produce debido a que concentra más energía en la acumulación de azúcares en el jugo de los tallos que en el llenado del grano.

Al mencionar las características de altura de planta y diámetro del tallo la observación realizada en este trabajo de investigación es que los genotipos con un tallo delgado y mayor altura presentaron buenas condiciones de concentración de azúcares y contenido de jugo, no así los genotipos de porte más bajo y mayor grosor de tallo que no tuvieron buena concentración de azúcares y en algunos casos ausencia de jugo pero presentaron un mayor peso fresco. Autores como Guiying *et al.*, (2000) menciona que en la herencia de sorgo para carácter altura, el tallo alto es dominante sobre el tallo enano, es decir, cruzando una variedad tallo alto con una de tallo bajo dará como resultado un híbrido alto; además menciona que la heterosis fuerte para la altura de tallos se puede encontrar en la generación F1. House (1982) menciona que el carácter planta alta es parcialmente dominante al de planta baja y los híbridos altos se pueden producir a partir de padres más bajos y en este caso los híbridos obtenidos se apegan a lo que mencionan Guiying y colaboradores ya que en la formación de dichos híbridos se utilizaron hembras

de porte bajo y machos de porte alto y como resultado los híbridos superaron a sus progenitores en el carácter altura.

Los híbridos presentaron una precocidad notoria en relación a sus progenitores en la mayoría de las variables en estudio, tal es el caso de días a floración en el cual se presenta de dos a tres días de precocidad con respecto al progenitor más precoz y en algún caso muy aislado en los híbridos se presentó un efecto tardío de la floración con respecto a su progenitor.

En una comparación del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-4 que registró 61.66 días a floración y 20.1 % brix y del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-5 que registró 62 días a floración y 19.8 % brix con los híbridos de sorgo dulce producidos en el ICRISAT en la India que son el híbrido ICSA 749 x SSV 74 que tuvo 85 días a floración y 18.00 % brix y el híbrido ICSA 511 x SSV 74 registra 88 días a floración y 17.97 % brix (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007) se puede notar que para las variables mencionadas en dicha comparación los híbridos de esta investigación presentaron una mejor acumulación de azúcares y una mayor precocidad, y es necesario nuevamente mencionar que la comparación de nuestros genotipos con los de otros países y en condiciones ambientales diferentes a las que imperan en nuestro país es por la nula información sobre genotipos de sorgo dulce existentes en México.

Respecto a las hembras que se utilizaron en esta investigación la que procreó híbridos con una mayor concentración de azúcares fue la hembra FAUANL-33A y en menor medida la hembra FAUANL-35A, y el caso de la hembra FAUANL-34A fue en menor escala esto pudiera atribuirse a que esta hembra tuvo menos cruzamientos que las anteriores y esa manera no demostró su potencial para procrear híbridos y otra situación que se puede atribuir es que no tuvo una sincronización adecuada con los machos para tener un mayor número de cruas. El efecto que se presentó en este trabajo es la influencia de las características de los progenitores masculinos hacia los híbridos.

Los valores de heterosis y heterobeltiosis obtenidos en este estudio no fueron muy altos de lo esperado ya que en algunos casos los híbridos presentaron valores negativos y los que presentaron valores positivos no fueron muy altos pero son aceptables esto se puede atribuir a algunas situaciones como el que mencionan Pfeiffer *et al.*, (2010) que la heterosis está bien establecido en grano y sorgo forrajero y que los informes de la heterosis en el sorgo dulce se limitan a los resultados de híbridos de sorgo x sorgo dulce. La ventaja de utilizar híbridos de sorgo dulce para producir bioetanol es porque presentan heterosis para rendimiento de tallos, jugo y azúcares, madurez temprana y previsible y una mayor estabilidad en comparación con las variedades (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007).

De manera general se puede mencionar que los valores superiores y mayor amplitud que se presentaron en heterosis y heterobeltiosis se pueden atribuir a la diversidad de las líneas que intervinieron en los cruzamientos como lo mencionan Orozco y Mendoza (1983) quienes observaron que la heterosis en el rendimiento de híbridos de sorgo evaluados tuvo una gran variación en los porcentajes obtenidos y estas variaciones se atribuyeron a la variabilidad de las líneas utilizadas en los cruzamientos.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Para el objetivo 1: Los híbridos presentaron su mayor concentración en Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez. Los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 presentaron las mayores concentraciones en cuanto a contenidos de azúcares (Brix).

Para el objetivo 2: La hembra FAUANL-33A demostró en este estudio que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruzas con machos de altos contenidos.

Para el objetivo 3: La heterosis se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos la cual se refleja en la concentración de azúcares en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier.

VII. RECOMENDACIONES

Seleccionar a la hembra FAUANL-33A por su condición de producir buenos híbridos al cruzarla con machos de sorgo dulce.

Realizar un seguimiento a los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 para evaluarlos en condiciones adecuadas de fertilización, humedad, etc. para que expresen su máximo potencial y ser utilizados para la producción de bioetanol.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

Aburto, J.; T. Martínez; F. Murrieta. 2008. Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulosicos. Tecnología, Ciencia, Educación (IMIQ). Enero-Junio, 23(1): 23-30.

Abd El-Razek A. M. and S.Y. Besheit. 2009. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) varieties for syrup and ethanol production in Egypt. Sugar Tech (2009) 11(3): 239-245

Ali M. L., J. F. Rajewski, P. S. Baenziger, K. S. Gill, K. M. Eskridge, I. Dweikat 2008. Assessment of genetic diversity and relationship among a collection of US sweet sorghum germplasm by SSR markers. Mol Breeding 21:497–509

Almodares A., R. Taheri and S. Adeli. 2007. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars and lines. Journal of Environmental Biology. 28(3) 527-531.

_____, M. R. Hadi and H. Ahmadpour. 2008. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under different salinity levels. African Journal of Biotechnology, 7 (22) 4051-4055.

_____. and M. R. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (9), pp. 772 – 780.

Al-Zuhair S. 2007. Production of biodiesel: Possibilities and challenges. Biofuels, Bioprod. Bioref. 1:57–66 (2007).

Asociación de productores de energías renovables (APPA). 2006. El biodiesel y el bioetanol, cada vez más, una opción rentable. Vida Rural, Núm. 232: 35-37.

Budak H.; L. Cesurer; Y. Bölek; T. Dokuyucu; A. Akkaya. 2002. Understanding of Heterosis. KSU J. Science and Engineering 5(2) 2002.

Butrón R. J. 2006. Potencial de rendimiento forrajero. Componentes de varianza genética y heterosis en cruzas de sorgos tropicales y templados. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N.L. 161 pág.

Castillo G. F. 1980. El rendimiento de grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) su relación con los periodos del desarrollo y otros caracteres, efecto de aptitud combinatoria. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Chandel A. K., Chan ES, R. Rudravaram, M. Lakshmi N., L. V. Rao and P. Ravindra. 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review* Vol. 2 (1), pp. 014-032

Channappagoudar B. B.; N. R. Biradar J. B. Patil and S. M. Hiremath. 2007. Assessment of Sweet Sorghum Genotypes for Cane Yield, Juice Characters and Sugar Levels. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20 (2): (294-296).

Demirba A. 2005. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 27: 327-337.

Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development. Theory and technique. Iowa State University. Macmillan Publishing Company.

Fonseca S. and F. L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*. 8: 85-88.

Guiying L., G. Weibin, A. Hicks and K. R. Chapman. 2000. A training manual for Sweet Sorghum. FAO/CAAS/CAS. Bangkok, Thailand. <http://agris.fao.org/2000>

Gutjar S., A. Clement-Vidal, G. Trouche, M. Vaksman, K. Thera; N. Sonderegger, S. Braconnier, M. Dingkuhn and D. Luquet. 2010. Functional

analysis of sugar accumulation in sorghum stems and its competition with grain filling among contrasted genotypes. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Hongtu, M.A., Xide, Xu. And Xiuying, Hua. 1990. Inheritance of sugar content in juice of sorghum stalks. *Sorghum News letter*, 31:29.

House L.R. 1982. El sorgo, guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma Chapingo. México. 425p.

INIFAP. 2010. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. www.inifap.gob.mx

Jianliang Yu; Jing Zhong; Xu Zhang and Tianwei Tan. 2010. Ethanol Production from H₂SO₃-Steam-Pretreated Fresh Sweet Sorghum Stem by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Appl Biochem Biotechnol* (2010) 160:401–409.

Jingyang BAN; Jianliang YU; Xu ZHANG; Tianwei TAN. 2008. Ethanol production from sweet sorghum residual. *Chem. Eng. China*, 2(4): 452–455.

Kambal, A.E. and O.J. Webster. 1966. Manifestations of hybrid vigor in grain sorghum and the relations among the components of yield, weight per bushel and height. *Crop Sci.* 6:513-515.

Kirby, J.S. y R.E. Atkins 1968. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain Sorghum, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Crop Sci. 8:335-339.

Márquez S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II. Teoría, métodos y resultados. AGT EDITOR. México, DF. 665 p.

Miller A.N. and M. J. Ottman. 2010. Irrigation Frequency Effects on Growth and Ethanol Yield in Sweet Sorghum. Agronomy Journal.102:60–70 (2010).

Niehaus M. H. and R. C. Pickett. 1966. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. Crop Science. 6: 33-39.

Orozco M. F. J, L. E. Mendoza O. 1983. Comparación de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y alguno de sus progenitores. Agrociencia. 53: 87-97.

Parvez S. 2006. Recent advances in understanding genetic basis of heterosis in rice (*Oriza sativa* L.). Revista UDO Agrícola 6 (1): 1-10

Pfeiffer T. W., M. J. Bitzer, J. J. Toy, and J. F. Pedersen. 2010. Heterosis in Sweet Sorghum and Selection of a New Sweet Sorghum Hybrid for Use in Syrup Production in Appalachia. Crop Science. 50:1788–1794

Rajendran C., K. Ramamoorthy and S. Backiyarani. 2000. Effect of Deheading on Juice Quality Characteristics and Sugar Yield of Sweet Sorghum. *J. Agronomy & Crop Science* 185: 23-26.

Reddy B. VS.; S. Ramesh; P. S. Reddy; B. Ramaiah; P.M. Salimath and R. Kachapur. 2005. Sweet sorghum – A potential alternate raw material for bioethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46:79–86.

Revista Claridades Agropecuarias. 2007. Biodiesel: Combustible del futuro. Núm. 163: 3-12. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

_____. 2007. Los bioenergéticos, una visión integral. Núm. 169: 73-74. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

Riccelli M., Luna G., Sequera P. 1977. Creación de los primeros híbridos venezolanos de sorgo granífero. *Agronomía tropical*. 27(1): 49-68.

Ritter K. B., C. L. McIntyre, I. D. Godwin, D. R. Jordan, S. C. Chapman. 2007. An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers. *Euphytica*, 157:161–176.

_____.; D. R. Jordan; S. C. Chapman; I. D. Godwin; E. S. Mace and C. L. McIntyre. 2008. Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet 3 grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. *Mol Breeding* (2008) 22:367–384.

Rodríguez G., A. 2003. Formación de variedades e híbridos de sorgo escobero. www.uaaan.mx/2003.

SAS (Statistical Analysis System). 2000. SAS® Proprietary Software Release 8.0. SAS Inst., Inc., Cary, NC. USA.

Shull G. H. 1948. What is “heterosis”? *Genetics*. 33:439.

Siri P., G; Ernst O.; Martínez H., M.; S. Albano. 2007. Productividad del sorgo dulce para la producción de etanol según variedad, época de siembra y población en el noroeste uruguayo. www.iica.org.uy/2007

Srinivasa R. P., SS. Rao, N. Seetharama, AV. Umakanth, P. Sanjana Reddy., B. VS Reddy and CLL. Gowda. 2009. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Information Bulletin No. 77. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. www.icrisat.org/2009

_____. P. Sanjana Reddy, K Lavakusa Rao, B. VS Reddy and S. Bracconier. 2010. Identification of mid-season moisture stress tolerant sweet sorghum material. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Stuber, C. W., S. E. Lincoln, D. W. Wolff, T. Helenjaris, and E. S. Lander. 1992. Identification of Genetic Factors Contributing to Heterosis in a Hybrid from Two Elite Maize Inbred Lines Using Molecular Markers. *Genetics*. 132:823-839.

Tsaftaris, S. A. 1995. Molecular Aspects of Heterosis in Plants. *Physiol. Plant*. 94:362-370.

Turgut I., U. Bilgili, A. Duman and E. Acikgoz. 2005. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant*, 55: 236-240.

www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007

www.financierarural.gob.mx/2009

www.icrisat.org/2008

www.sagarpa.gob.mx/2010

Xu, Y. 2003. Developing marker-assisted selection strategies for breeding hybrid rice. *Plant Breeding Reviews*. 23: 73-174.

IX. APÉNDICE

Altura de planta.

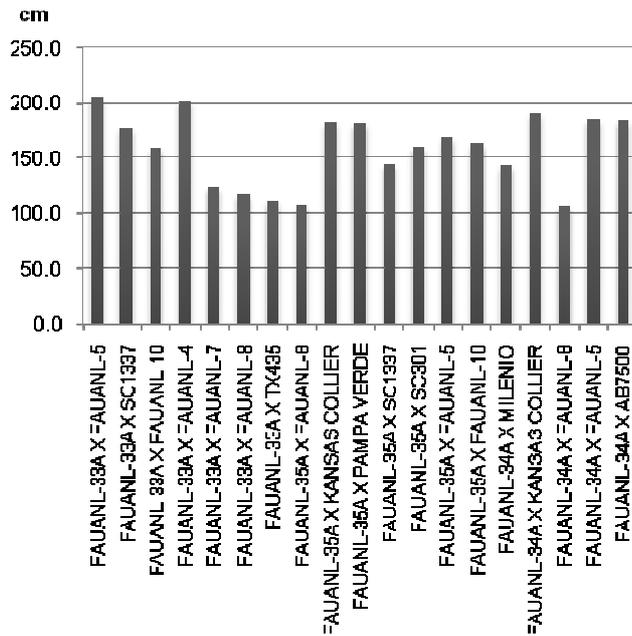


Figura 6. Altura de la planta (ALT PL) en los híbridos.

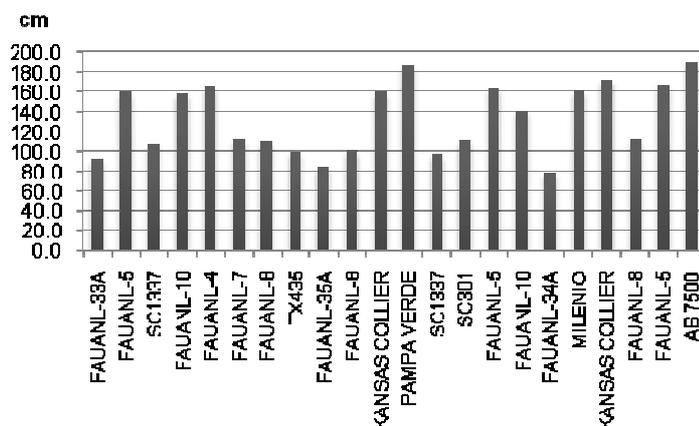


Figura 7. Altura de la planta (ALT PL) en los progenitores.

Diámetro de tallo.

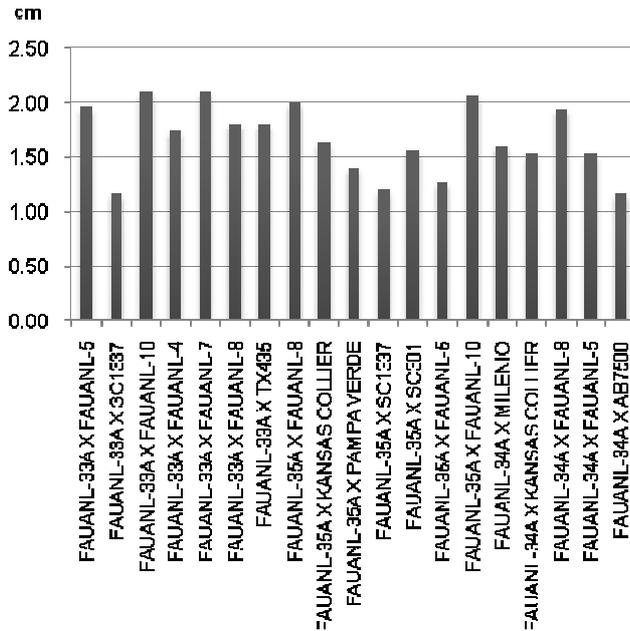


Figura 8. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los híbridos.

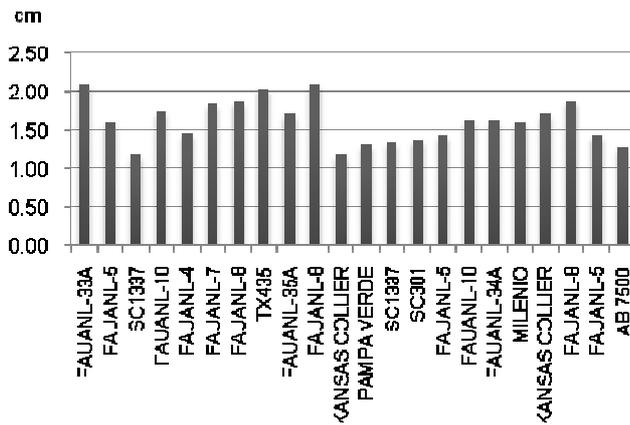


Figura 9. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los progenitores.

Días a floración.

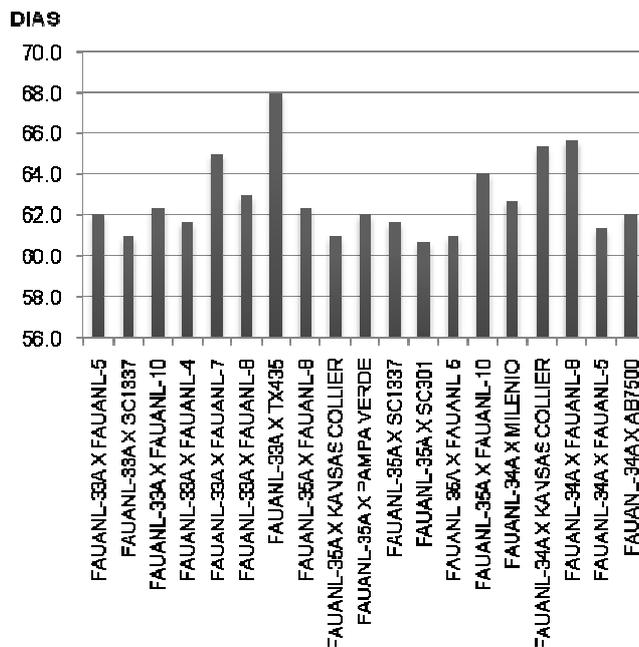


Figura 10. Días a floración (DIAS FLOR) en los híbridos.

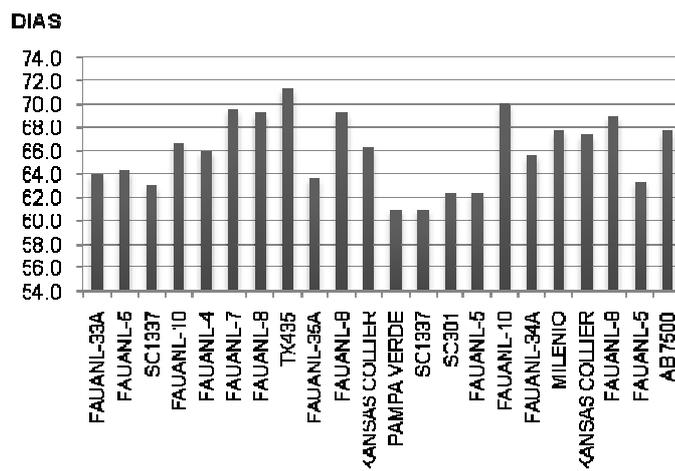


Figura 11. Días a floración (DIAS FLOR) en los progenitores.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

La presente tesis titulada “**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE (*Sorghum bicolor* L. Moench)**” fue sometida para su revisión bajo la dirección del Comité Particular indicado, y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Comité Particular:

**Ph.D. Francisco Zavala García
Asesor Principal**

**Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Coasesor**

**Dr. Cs. José Butrón Rodríguez
Coasesor Externo**

Ph.D. Francisco Zavala García

**Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de
Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León**

Marín, Nuevo León, México. Junio de 2011

DEDICATORIA

Mis padres:

Sra. Enriqueta Vázquez

Sr. Alonso Yerbes

Mis hermanas:

Martha Alicia

Martina Concepción

Clara María

Mi hermano:

Jaime Alberto

Sra. Esthela Kantún

Sr. Evaristo Pacheco

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Comunidad Europea por el apoyo al proyecto SWEET SORGHUM: AN ALTERNATIVE ENERGY CROP donde se realizo el presente trabajo

A la Subdirección de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su empeño en formar profesionales de alto nivel.

Al Ph.D. Francisco Zavala García por llevar a cabo de buena forma la dirección de este trabajo de investigación y contribuir en mi formación profesional.

Al Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano por sus aportaciones en este trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Cs. José Butrón Rodríguez por su participación en las correcciones de este trabajo.

Al M.C. Héctor Williams Alanís por sus consejos y sugerencias.

Al Dr. Cs. José Elías Treviño Ramírez un agradecimiento especial por su apoyo desinteresado que me brindó durante el periodo de mi formación profesional.

Al Dr. Juan Antonio Vidales Contreras por su apoyo incondicional y al Dr. Gilberto E. Salinas García por su gran disposición como maestro y compartir conocimientos.

A Javier Sánchez, Rogelio Meza y Eulalio Benavides por su apoyo en el trabajo de campo para llevar a cabo esta investigación.

A María Guadalupe Mireles por su amistad y apoyo.

A mis compañeros: José García, María del Carmen Rodríguez, Uriel Hernández, Rodolfo García, Ángel Pardo, Francisco Piñera, Jesús Olvera, Jessica Rivera, Ariana Torres y Noé Cardona con quienes compartí el periodo de la maestría.

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL por compartir sus conocimientos y guiarnos en nuestra formación académica.

A todos los que colaboraron desinteresadamente en la realización de este trabajo de investigación, gracias.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Los biocombustibles.....	5
2.1.1 Bioetanol.....	6
2.1.2 Biodiesel.....	9
2.2 El sorgo dulce.....	10
2.3 Hibridación.....	12
2.4 Heterosis.....	12
III. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 Ubicación de la investigación.....	20
3.2 Material genético.....	20
3.3 Análisis estadístico.....	21
3.4 Metodología general.....	23

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.....	23
3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.....	24
3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.....	27
IV. RESULTADOS.....	28
4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.....	28
4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.....	35
4.2.1 Análisis estadístico.....	35
4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.....	47
V. DISCUSIÓN.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES.....	61
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	62
IX. APÉNDICE.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.....	7
2 Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.....	8
3 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los híbridos.....	9
4 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los progenitores.....	9
5 Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.....	15
6 Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.....	16
7 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).....	18
8 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).....	19
9 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).....	23
10 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable \bar{B} rix muestreo 1 (\bar{B} RIX M1).....	23
11 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable	

Brix muestreo 2 (BRIX M2).....	33
12 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).....	33
13 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).....	34
14 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).....	44
15 Estimación de peso fresco en ton ha ⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.....	44
16 Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas	46
17 Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.....	46
18 Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol.....	8
2. Diseño propuesto para la producción de bioetanol con sorgo Dulce.....	9
3. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	21
4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	22
5. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	22
6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	25
7. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	27
8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	28
9. Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	29
10 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	30
11 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M2 (período de floración).....	40
12 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M2 (período de floración).....	42
13 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44

14	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44
15	Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
16	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
17	Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León en Marín, Nuevo León, se realizó con el fin de obtener híbridos de sorgo dulce con características favorables para la producción de etanol, con alta producción de biomasa y concentración de azúcares en los tallos. Para este propósito en el ciclo primavera de 2009 se seleccionaron tres hembras por su condición de producir buenos híbridos y trece líneas machos de sorgo dulce los cuales tienen la característica de producir una buena cantidad de biomasa, así como una alta concentración de azúcares en sus tallos. Se realizaron las respectivas cruza de los progenitores hembras y machos y los híbridos obtenidos fueron evaluados junto con sus progenitores en el ciclo otoño de 2009. En este ciclo se sembraron híbridos (19) y progenitores (3 hembras y 13 machos), el estudio se dividió en un análisis combinado entre hembras la cual se estableció bajo un diseño de parcelas divididas y un análisis individual de genotipos que se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS. En los resultados obtenidos, la mayoría de los híbridos superaron a sus progenitores en altura y fueron más precoces en la floración que estos, pero en los Brix, en forma conjunta, no demostraron superioridad en relación a los progenitores. Los promedios más altos para Brix lo alcanzaron los genotipos FAUNL-33A x

FAUANL-4 (20.1°Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8°Brix), FAUANL-35A x Kansas Collier (19.6°Brix), FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4°Brix) y FAUANL-34A x Rox Orange (19.0°Brix). Para heterosis, en la variable °Brix M3 los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (-3.3%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). En la heterobeltiosis se presentó el porcentaje más alto en el peso fresco para FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%) en °Brix el mayor valor se presentó en el muestreo 3 (°Brix M3) y fue para el híbrido FAUANL-33A X FAUANL-8 con 21.88 %. En conclusión los híbridos presentaron mayor °Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez; la hembra FAUANL-33A demostró en este estudio, que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruza con machos de altos contenidos. La heterosis se presentó de forma positiva en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier que fueron los sobresalientes en concentración de azúcares.

SUMMARY

This research was conducted in the Campus Marin School of Agronomy of the Universidad Autonoma de Nuevo Leon in Marin, Nuevo Leon, was made to obtain hybrids of sweet sorghum with favorable characteristics for the production of ethanol with high biomass production and concentration of sugars in the stems. For this purpose in the spring 2009 cycle three females were selected for their condition to produce good hybrids and thirteen males sweet sorghum lines which have the characteristic of producing a good amount of biomass and a high concentration of sugars in their stalks. Crosses were made of the respective male and female parents and hybrids were evaluated along with their parents in the fall 2009 cycle. In this cycle hybrids were planted (19) and parents (3 females and 13 males), the study was divided into a pooled analysis between females which was established under a split plot design and analysis of individual genotypes was established under a design of a randomized complete block with three replications in three experiments, each experiment was established according to the hybrids from the three females used as maternal parent. Statistical analysis was performed using SAS. In the results, most hybrids were well above their parents in height and were more precocious flowering of parents, but in degrees brix together showed no superiority in relation to parents the difference was so individual. The highest average in what amounted to °Brix genotypes FAUANL FAUNL-33A x-4 (20.1 °Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8 ° Brix), FAUANL-35A x Kansas Collier (19.6 ° Brix) , FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4 °Brix) and FAUANL-34A x Rox Orange (19.0 °

Brix). In the estimation of heterosis in the variable M3 °Brix higher percentages were obtained for genotype x FAUANL FAUANL-35A-10 (36.2% heterosis) FAUANL FAUANL-33A x-4 (22.9%) and FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), while the percentages were negative for genotypes x FAUANL FAUANL-33A-10 (-7.2%), x FAUANL FAUANL-33A-4 (-3.3%). Fresh weight in the highest percentage appeared in FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). In heterobeltiosis presented the highest percentage in the fresh weight was for x FAUANL FAUANL-35A-10 (229.0%) and more negative for X-34A FAUANL Goals (-35.9%) in °Brix was presented the highest value in the sample 3 (°Brix M3) and was for the hybrid X-33A FAUANL FAUANL-8 with 21.88%. In conclusion, the hybrids had the highest concentration in °Brix in the period 14 days after flowering and parents showed their higher concentration of sugars in the mature period and female-33A FAUANL demonstrated in this study across this female with male high sugar content can be obtained hybrids with high levels of sugars for the production of bioethanol and females FAUANL FAUANL-35A-34A and produced hybrids with acceptable sugar content but this aspect can be improved in crosses with males of high content. Heterosis was presented positively in hybrids x FAUANL FAUANL-33A-4, x FAUANL FAUANL-33A-5-35A and FAUANL x Kansas Collier who were the outstanding concentration of sugars.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido al alto precio del petróleo, la escasez del mismo y la preocupación por la contaminación del ambiente producto de su uso masivo, se está incrementando el uso de fuentes renovables de energía. Como consecuencia, se ha fomentado en años recientes, la producción de fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Entre estas fuentes se encuentran los biocombustibles tales como el bioetanol, biodiesel y biogás (Siri *et al.*, 2007). México se ha rezagado en la implementación de un plan energético que considere la utilización de biocombustibles que permita aliviar la constante disminución de las reservas de combustibles fósiles. En el año 2008 se aprobó la Ley de Bioenergéticos que fomenta la utilización del bioetanol en el pool de gasolina nacional con el fin de disminuir el uso de agentes oxigenantes como el éter metilterbutílico (MTBE, por sus siglas en inglés) que ha resultado ser dañino para los ecosistemas, así como reducir la importación de gasolina procedente de los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) (Aburto, *et al.*, 2008).

Nuestro país tiene un gran potencial para convertirse en un productor importante de biocombustible debido a la diversidad de cultivos y plantas que se pueden aprovechar para la producción de estos; además, hay que mencionar la diversidad de climas con que cuenta nuestro país en el que crecen varias especies de plantas. Entre los cultivos más utilizados a nivel mundial para la

producción de biocombustibles son: La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench), la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y el Maíz (*Zea mays*); sin embargo, debido a las características que posee el sorgo, como su mayor eficiencia en el uso del agua, por su alto contenido de azúcares y por la duración del ciclo de crecimiento, hacen ver al sorgo dulce como un cultivo con un alto potencial para utilizarse como fuente de azúcares en el proceso para la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005; Almodares y Hadi, 2009).

En México, el sorgo de grano es un cultivo que ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo del sector agropecuario, ocupando el segundo lugar en la producción de granos básicos, solamente después del maíz. Además, es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada después del maíz y frijol. Tamaulipas y Guanajuato son los principales estados en producción a Nivel Nacional, en conjunto aportan el 61% de la producción total nacional, lo que equivale a 3.8 millones de toneladas. Sinaloa es el tercer lugar en producción con un volumen de 0.61 millones de toneladas, seguido de Michoacán con 0.50 millones y Nayarit con un volumen de 0.30 millones de toneladas (www.financierarural.gob.mx/2009). Además del sorgo de grano, también está el sorgo escobero (*Sorghum vulgare* var. *Technicum*) el cual a pesar de no ser un cultivo básico, posee potencial económico ya que puede cultivarse en áreas donde otros cultivos no prosperan (Rodríguez, 2003).

También existen variedades de sorgo forrajero y dulce, las cuales tienen la característica de producir grandes cantidades de forraje. El sorgo dulce es una fuente muy eficiente de la bioenergía al igual que el sorgo de grano y escobero, posee el ciclo C4 en el proceso fotosintético en el cual una molécula de sacarosa de almacenamiento, puede ser directamente fermentado; sin embargo existe todavía un potencial alto para incrementar el nivel de azúcares en el jugo del tallo. Por lo tanto, es muy imprescindible formar nuevas variedades e híbridos de sorgo dulce, con alto contenido de azúcar en combinación con otras características agronómicas deseables (Ali *et al.*, 2008). Un aspecto importante en estas variedades e híbridos además de la producción *per sé* de biomasa, es el almacenamiento de azúcares en el jugo de sus tallos que puede llegar hasta los 22°Brix o más, el cual puede entrar directamente en un proceso fermentativo para la producción de alcohol etílico o etanol (Almodares y Hadi, 2009).

En teoría, el 85% del jugo de sorgo dulce es convertido a etanol, o 54.4 L de etanol por cada 100 kg de rendimiento de tallos frescos. Una producción de 50 toneladas de tallo por hectárea puede producir hasta 3451.29 litros de etanol a partir del jugo extraído de los tallos (Almodares y Hadi, 2009).

En México, no hay mucha información generada sobre los materiales genéticos disponibles para la producción de sorgo enfocado a la producción de azúcares pero se ha demostrado en sorgo para grano, que el vigor híbrido o heterosis es un aspecto importante a considerar en la generación de nuevos

genotipos, ya que permiten una mayor expresión de las características de interés. Por tal motivo, los objetivos del presente trabajo son:

1.1 Objetivos.

- 1). Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix en los tallos del sorgo dulce.

- 2). Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

- 3). Evaluar los efectos de heterosis en los caracteres asociados en la producción de bioetanol.

1.2 Hipótesis.

Los cruzamientos entre progenitores con características diferentes para Brix y diámetro del tallo producirán híbridos con altos niveles de heterosis en estas características relacionadas con la producción de etanol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los biocombustibles.

En la actualidad hay un creciente interés ecológicamente sostenible por los biocombustibles, ha crecido de manera significativa y se han convertido en el inicio de toda una revolución en el mundo, especialmente en países donde la dependencia de petróleo es alta (Chandel *et al.*, 2007). Tanto el bioetanol como el biodiesel que se producen fundamentalmente a base de cultivos agrícolas, están incrementando su participación como generadores de energía; si bien el primero ha tenido un gran auge en Brasil y en Estados Unidos de Norteamérica, el biodiesel ha ido adquiriendo mayor fuerza al paso del tiempo, fomentando con ello el desarrollo de la producción de oleaginosas en muchos países (Claridades Agropecuarias, 2007).

Los biocombustibles se pueden utilizar principalmente como fuente de energía de vehículos a motor y producción de electricidad. Se obtienen a partir de materias primas de origen agrícola, ganadero y desechos orgánicos, los cuales pueden ir sustituyendo de forma parcial o total a los combustibles de origen fósil (Aburto *et al.*, 2008). El incremento de la demanda en el mercado de biocombustibles se puede aprovechar para que la agricultura crezca y que favorezca la creación de empleos, la fijación de la población en las áreas rurales, el desarrollo de industrias y actividades agrícolas y la reducción de la

desertificación de las tierras por medio de los cultivos energéticos (APPA, 2006).

Los biocombustibles se clasifican en varios tipos: La primera son los llamados biocombustibles de primera generación que es el biodiesel producido a partir de semillas de cultivos como la colza, soya, girasol, aceites vegetales, entre otros; el bioetanol que es a base de granos, caña de azúcar, sorgo dulce, etc. Otro tipo son los llamados biocombustibles de segunda generación que se obtiene de materias lignocelulósicas como rastrojos, pastos, hierbas y madera; estas materias primas con escaso valor en la actualidad, pueden aprovecharse en la producción de biocombustibles (Claridades agropecuarias, 2007).

2.1.1 Bioetanol.

El etanol fermentado a partir de fuentes renovables es conocido como bioetanol y es un biocombustible que se obtiene de la fermentación a partir de azúcares, almidón o de fécula a partir de biomasa celulósica. La mayoría de la producción comercial de bioetanol proviene de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera, pero también del grano de maíz. Se utilizan como fuentes de energía de combustibles renovables, así como para la fabricación de cosméticos, farmacéuticos, bebidas alcohólicas, etc. (Demirba, 2005).

El etanol a partir de cultivos agrícolas (bioetanol) es de interés a causa de la naturaleza renovable de las materias primas y se puede obtener básicamente a

partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo del biocombustible: 1) alcohol etílico, procedente de las industrias vitivinícolas; 2) plantas ricas en azúcares como la caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce, etc.; 3) cereales como el trigo, cebada y maíz; 4) material lignocelulósico como la hierba, madera y celulosa (APPA, 2006).

El etanol producido a partir de jugo de sorgo dulce (etanol a partir de la savia del tallo) es a través de la tecnología de fermentación similar a la melaza proceso basado utilizando la misma infraestructura utilizada para la industria de la caña de azúcar. Los tallos son triturados para extraer el jugo similar a la de caña de azúcar (Srinivasa *et al.*, 2009).

La producción de etanol a partir de biomasa se pueden resumir brevemente en los siguientes pasos: 1) Despolimerización del sustrato monomérico de la holocelulosa fermentable, 2) la fermentación de los sustratos despolimerizados, y 3) la destilación del caldo de fermentación para la obtención de etanol deshidratado. En el caso de la bioconversión de la lignocelulosa en etanol consiste en las siguientes operaciones básicas principales: 1) Pretratamiento, 2) Hidrólisis, 3) Fermentación y la separación del producto y 4) Destilación (Figura 1) (Chandel *et al.*, 2007).

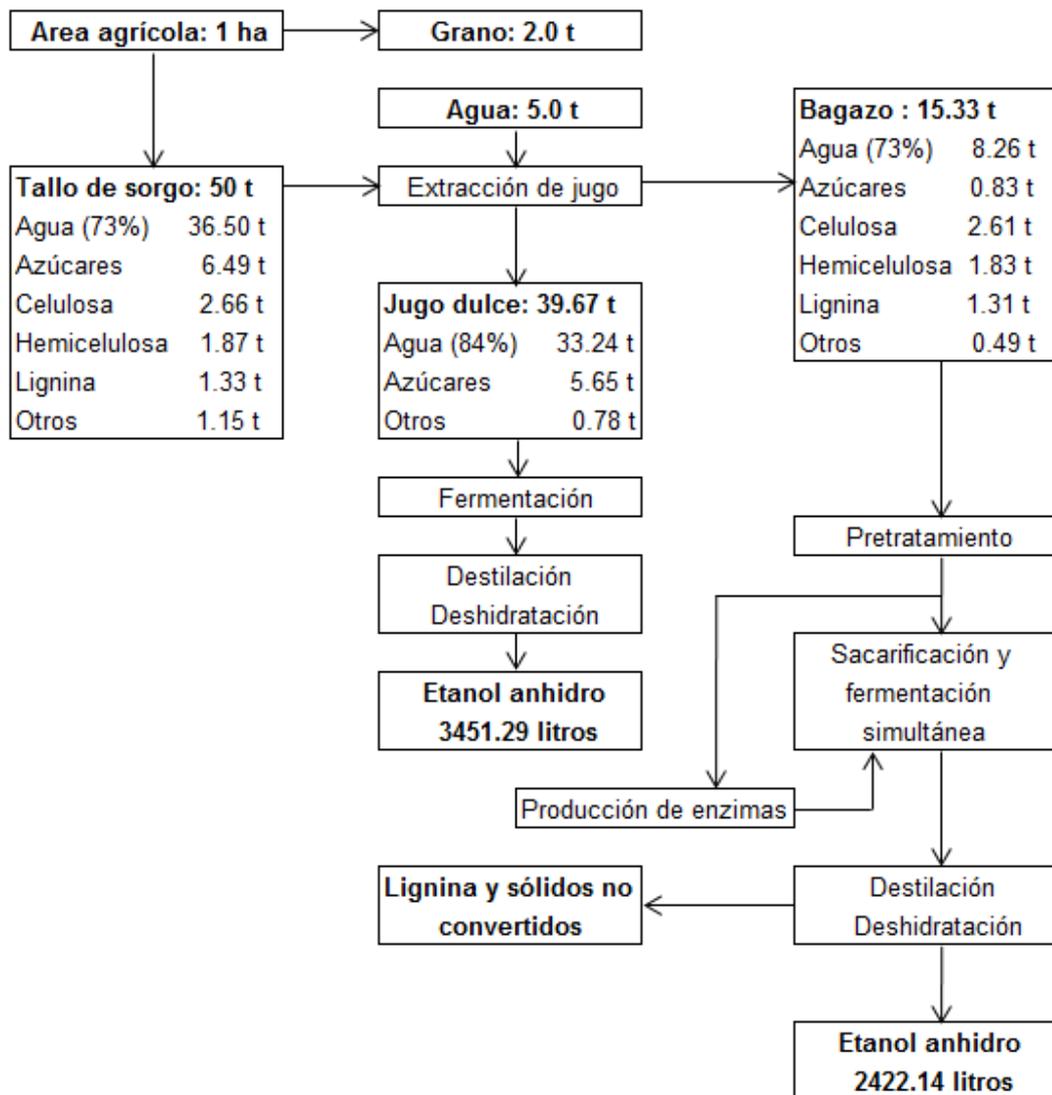


Figura 1. Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol (Almodares y Hadi, 2009).

El bioetanol a partir de sorgo dulce ha sido considerado como un combustible alternativo en el futuro. El jugo que se extrae del sorgo dulce tiene una alta concentración de sacarosa que puede ser utilizado directamente como medio de fermentación para la producción de bioetanol (Jingyang *et al.*, 2008).

Hay varios esquemas de diseños propuestos por varios autores para la producción de etanol con sorgo dulce y la mayoría muestran el uso que se le da a los tallos, hojas, grano y el bagazo que resulta de la extracción del jugo (Figura 2).

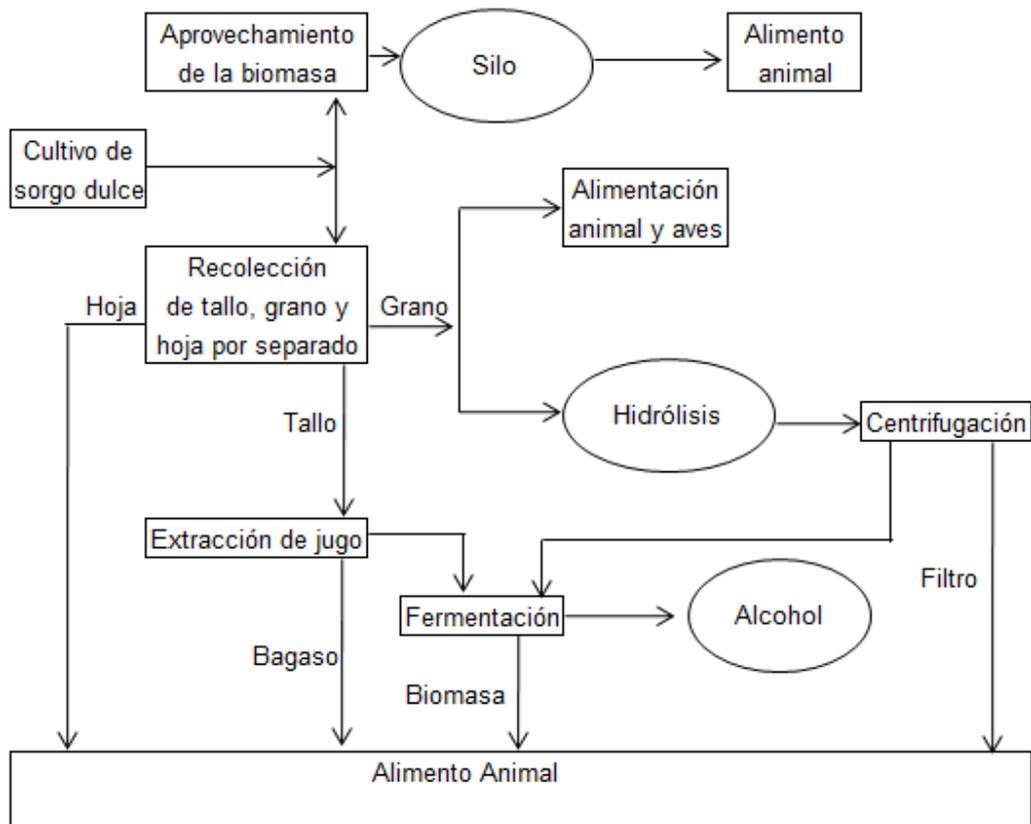


Figura 2. Diseño propuesto para la producción de bioetanol con sorgo dulce (Almodares y Hadi, 2009).

2.1.2 Biodiesel.

El biodiesel es un combustible fabricado a partir de aceites vegetales, como los aceites de soja, colza, entre otros, o de aceites animales, como es el sebo de las reses, pudiendo ser este virgen o usado. El biodiesel resulta ser muy similar al diesel derivado del petróleo, se forma a partir de transesterificación de

aceites vegetales con metanol (o etanol) (Claridades Agropecuarias, 2007). El biodiesel tiene muchas ventajas como la energía renovable que incluyen los recursos que se derivan de una fuente renovable, recursos internos, aliviando así la dependencia de petróleo fósil, es biodegradable y no tóxico. Además, en comparación con el diesel derivado del petróleo, el biodiesel tiene un perfil más favorable de emisiones de combustión, tales como las bajas emisiones de monóxido de carbono, partículas y los hidrocarburos no quemados. Además, el uso de biodiesel a gran escala es promover las siembras de los cultivos utilizados para producir su materia prima. Ello se traduciría en más CO₂ reciclado mediante la fotosíntesis, minimizando así el impacto en el efecto invernadero. El biodiesel tiene un punto de inflamación relativamente alto (150°C), que hace que sea menos volátil y más seguro en su transporte y su manejo que el diesel del petróleo (Al-Zuhair, 2007).

2.2 El sorgo dulce.

El sorgo dulce crece en ambientes extremos, es un cultivo que permite obtener alimento, forrajes y combustible a bajo costo y es una buena opción como cultivo alternativo (Srinivasa *et al.*, 2010). Algunos países ya utilizan sorgo dulce como principal materia prima para la producción de bioetanol, en países como la India el costo de producción de un galón de bioetanol a partir de sorgo dulce es de 1.74 USD, en comparación con los 2.12 USD del maíz y los 2.19 USD de la caña de azúcar. Actualmente, centros de investigación como el International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT)

trabajan en el desarrollo de variedades de sorgo dulce insensibles al fotoperiodo y a la temperatura (www.icrisat.org/2008).

El sorgo dulce es similar al sorgo de grano, con un crecimiento rápido, alta producción de biomasa y una mayor capacidad de adaptación y se sabe que tienen un gran potencial en la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005); su productividad de bioetanol es alta, de 3,500 l ha⁻¹ a 5,600 l ha⁻¹, y tiene una menor necesidad de fertilizantes nitrogenados y agua en comparación con otros cultivos tradicionales como el maíz (Jianliang *et al.*, 2010); Además, es un cultivo C4 y tiene una elevada eficiencia fotosintética, con ello desempeña un papel fundamental en la concentración de azúcares (Almodares y Hadi, 2009). Las variedades de sorgo dulce acumulan de 10 a 25% de azúcar en el jugo del tallo y expresando sus máximos valores cerca del momento de la madurez del grano. La glucosa y la fructosa son los azúcares reductores predominantes en el jugo y la sacarosa es el disacárido predominante (Ritter *et al.*, 2008).

Los hidratos de carbono que están presentes en el sorgo dulce, pueden ser no estructurales como los azúcares y el almidón, o de sustancias estructurales, tales como celulosa, hemicelulosa y pécticas, las cuales se concentran en el tallo (sacarosa y azúcar invertido); estos son aptos en la producción de bioetanol para biocombustible debido a que estos hidratos de carbono son fácilmente convertidos (Almodares y Hadi, 2009). Sin embargo, en México no

existen variedades mejoradas específicamente seleccionadas por su producción de azúcares.

2.3 Hibridación.

En la hibridación se aprovecha la generación F_1 proveniente del cruzamiento entre dos progenitores (Márquez, 1988). En el sorgo, los híbridos que se forman son de cruce simple utilizando tres líneas que se denominan A, B y R. Las líneas A y B son isogénicas y solo difieren en que la línea A es androestéril y la B es androfértil. Las líneas R son capaces de restaurar la fertilidad en el híbrido de la cruce A x R, por lo que las líneas A y R se seleccionan por su aptitud combinatoria para la expresión del vigor híbrido o heterosis en caracteres tales como rendimiento y otros agrónomicamente deseables (crecimiento, tamaño, vigor en general) (Castillo, 1980; House, 1982). Uno de los propósitos de formar híbridos es precisamente el explotar la heterosis o vigor híbrido que se presenta al cruzar dos líneas homocigóticas (Orozco y Mendoza, 1983).

2.4 Heterosis.

La base genética de la heterosis ha sido un tema de arduo debate desde hace casi un siglo y sigue siendo un misterio. Los trabajos realizados han tenido el principio de extender sus suposiciones basadas en modelos de genética cuantitativa pero con los avances en genética molecular, ha sido posible estudiar este fenómeno de una manera más refinada. De hecho, los estudios recientes en el maíz y el arroz para intentar una interpretación de la heterosis se

han facilitado en gran medida por marcadores moleculares (Parvez, 2006). Los datos generados a partir de marcadores ofrecen un perfil impecable de regiones genómicas involucradas en la expresión característica y se espera descifrar la base inexplicable de la heterosis. Con la llegada de la tecnología del ADN recombinante y marcadores moleculares, las investigaciones de la heterosis son cada vez más avanzadas e informativas que las del pasado y se basan en la evidencia científica más precisa (Tsafaris, 1995).

La mayoría de las investigaciones recientes de la heterosis utilizan marcadores moleculares y QTL (loci de caracteres cuantitativos) de los análisis. Una abundancia de marcadores moleculares basados en el ADN presente en muchas especies de plantas permite la identificación de las relaciones entre los marcadores y rasgos fenotípicos, como la heterosis, que son la segregación de una determinada población (Stuber *et al.*, 1992).

Estudios realizados anteriormente por diferentes autores, proponen dos posibles mecanismos de la heterosis: La hipótesis de la dominancia y la hipótesis de la sobredominancia. En teoría, los dos conceptos se basan en dos fenómenos genéticos diferentes, pero en la mayoría de las situaciones dan expectativas similares (Parvez, 2006). En ambos casos, conduce a una disminución en vigor por la endogamia, al mismo tiempo que el cruzamiento conduce al incremento de su vigor. En el caso de los dos conceptos de dominancia y el exceso de posición dominante, la disminución en el vigor es

proporcional a la disminución de la heterocigosidad con independencia del número de alelos dominantes y recesivos y el grado de dominancia. Según Xu (2003), el rendimiento y sus componentes son caracteres complejos, y que la heterosis debe ser genéticamente controlado por muchos genes.

Shull (1948) fue el primero en tener un concepto claro del vigor híbrido; además, se le atribuye el haber acuñado el término de "heterosis", el cual utilizó por primera vez en 1914. Las características de la heterosis son: Un mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a enfermedades y a plagas; todo esto se manifiesta en la progenie de los organismos cruzados al compararse con los organismos endogámicos (Márquez, 1988). La heterosis se expresa cuando los progenitores de un híbrido poseen diferentes alelos en un locus y existe algún nivel de dominancia entre los alelos (Fehr, 1987).

La heterosis en sorgo se observó y describió antes de que se vislumbrara la posibilidad de explotar el vigor híbrido a escala comercial. Resultados publicados por diversos autores mencionan que el vigor híbrido no se manifestó solamente en el rendimiento, otros caracteres fueron de igual manera impactados (mayor crecimiento vegetativo, mayor número de hijuelos, hojas de mayor superficie, mayor tamaño de las panículas, y mayor altura (Ricelli *et al.*, 1977).

Kirby y Atkins (1968) mencionaron que los híbridos se caracterizan por una floración temprana, una mayor altura, tallos y hojas más grandes que incrementaron la productividad del grano y forraje. Kambal y Webster (1966) reportaron que el contenido de proteína del grano es menor en los híbridos que en las líneas parentales (heterosis negativa). Hongtu *et al.* (1990) reportaron valores negativos de heterosis para contenido de azúcar en el jugo del tallo del sorgo, sugiriendo que los genes que controlan el bajo contenido de azúcar son parcialmente dominantes o manifiestan efectos de aditividad.

Aunque la heterosis en sorgo ha sido estudiada en detalle, la mayoría de la información proviene de sorgo para grano y forraje. Sin duda, los experimentos futuros se acercarán más al fenómeno de la heterosis utilizando nuevas herramientas de tecnología avanzada; además, deben ser cuidadosamente diseñados para proporcionar una mayor evidencia del mecanismo de la heterosis y se espera que estos experimentos tengan como base el conjunto de conocimientos hasta ahora sobre la heterosis (Budak *et al.*, 2002).

En nuestro país, la información acerca del potencial de las variedades de sorgo dulce para la producción de biocombustible (etanol), así como los posibles valores de heterosis que pueden registrarse es escaso pero a nivel mundial se han realizado trabajos de investigación en sorgo dulce en diferentes países como los siguientes:

Rajendran *et al.* (2000) realizaron trabajos en la India y al momento de la cosecha se determinaron características de calidad, rendimiento de azúcar y jugo, los resultados mostraron aumentos significativos en los rendimientos de tallos y azúcar comparados con los testigos; también se incrementó la materia seca y la generación de tallos secundarios y la cantidad de jugo extraído, pero la sacarosa, los Brix y grados de pureza se redujeron en comparación con las plantas intactas.

Turgut *et al.* (2005) de la Universidad de Uludag en Turquía, estudiaron la producción de sorgo dulce aumentando la densidad de plantas y los niveles de fertilización con nitrógeno. Utilizaron cinco plantas dentro de cada distancia (5, 10, 15, 20 y 25 cm) y cinco dosis de fertilización con nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ en condiciones de riego; y entre los resultados, los rendimientos más altos en forraje y materia seca se obtuvieron a partir de los 5 a 10 cm de distancias dentro de la fila con un promedio de 82.9 t ha⁻¹ de forraje y 30,5 t ha⁻¹ de materia seca. El rendimiento de grano fue de 3.15 y 4.53 ton ha⁻¹ y el mayor rendimiento se obtuvo de la combinación 10/20 cm de separación dentro de la fila y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno. En este estudio los autores demostraron que el sorgo dulce tiende a producir más forraje y rendimiento de materia seca cuando se fertiliza con altos niveles de Nitrógeno.

Almodares *et al.* (2007) realizaron estudios de la interrelación entre el análisis del crecimiento y el contenido carbohidratos en líneas de sorgo dulce

en la Universidad de Isfahan, en Irán, encontrando que excepto en la etapa de madurez, las correlaciones entre el Índice de área foliar (IAF), la Tasa de asimilación neta (TAN) y la Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) con el contenido de sacarosa y azúcares totales fueron positivos y los azúcares invertidos (glucosa, fructosa, maltosa y xilosa) fueron negativos. La relación indica que a medida que la planta crece la cantidad de sacarosa y los azúcares totales se incrementa, mientras que la cantidad de azúcares invertidos disminuye. La relación entre los azúcares invertidos, incluida la glucosa, fructosa, maltosa y xilosa en la etapa de masa dura del grano con el IAF, TAN y TCC fueron negativos.

Channappagoudar *et al.* (2007) evaluaron en la India genotipos de sorgo dulce para el rendimiento del tallo, características del jugo y niveles de azúcar, obteniendo resultados en los genotipos de alto rendimiento SSV-74, SSV-7073, 12611 y SSV-53-SSV que registraron alto porcentaje de jugo extraíble y los genotipos SSV-7073, SSV-74 y Río registraron un alto porcentaje de Brix.

Ritter *et al.* (2007) evaluaron la relación genética entre el sorgo dulce y el sorgo de grano usando marcadores AFLP (Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados). Al realizar la comparación de 35 sorgos dulces y 64 de grano que se proyectaron con 227 marcadores AFLP, los grupos que obtuvieron no se definieron claramente sobre la base de la clasificación racial, las líneas de sorgo dulce a menudo se agrupan con los sorgos de grano de

origen racial similar, lo que indica que el sorgo dulce es de origen polifilético en *S. bicolor ssp. bicolor*.

Almodares *et al.* (2008) estudiaron el rendimiento de los tallos de sorgo dulce y carbohidratos solubles bajo diferentes niveles de salinidad utilizando dos variedades (Keller y Sofra) y una variedad de sorgo de grano (Kimia) que se sembraron en invernaderos en cuatro niveles de salinidad (2, 4, 8, y 12 dSm⁻¹). Los resultados mostraron que en la más alta concentración de sales (12 dSm⁻¹), Keller mostró una reducción del rendimiento de sus tallos (menos del 1%) y mayor contenido de sacarosa, mientras que Kimia tuvo la mayor reducción del rendimiento de tallos (más del 18%) y menor contenido de sacarosa. Con el aumento de la salinidad, la cantidad de glucosa y fructosa en Keller disminuyó y aumentaron en Sofra. El aumento de la glucosa y la fructosa en Sofra no es una indicación de su tolerancia a la sal. En la etapa de madurez fisiológica, la planta tuvo el más alto rendimiento y el contenido de sacarosa en los tallos al mismo tiempo, tiene el menor contenido de glucosa y fructosa que la etapa de floración. En base a los resultados obtenidos, los autores recomiendan la variedad Keller para ser sembrada en condiciones de salinidad del suelo y su cosecha en la etapa de madurez fisiológica.

Miller y Ottman (2010) de la Universidad de Arizona en Estados Unidos de Norteamérica, realizaron un estudio para evaluar los efectos de la frecuencia de riego sobre el crecimiento de los cultivos y la producción de etanol en sorgo

dulce. Al aplicar diferentes riegos no encontraron una diferencia en la cosecha para la concentración total de azúcar, lo que implica que el estrés hídrico no aumenta la concentración de azúcar en el sorgo dulce.

Pfeiffer *et al.* (2010) realizaron una evaluación en la Universidad de Kentucky (Estados Unidos) de 12 híbridos de sorgo dulce con citoplasma A3 encontrando que los híbridos registraron hasta 20% de azúcar, 18% de biomasa y 20% más de jugo que sus progenitores.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la investigación.

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), que se localiza en el km 17 de la carretera Zuazua-Marín, en el municipio de Marín, Nuevo León; se ubica geográficamente en las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 02' de longitud oeste, a una altura de 355 msnm, con un clima Acx que se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias escasas todo el año (INIFAP, 2010).

3.2 Material genético.

En el Cuadro 1 se muestran los progenitores femeninos y masculinos los cuales se utilizaron en el ciclo Primavera 2009 para la formación de los híbridos.

Cuadro 1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.

Núm.	Línea hembra (♀)	Núm.	Línea fértil (♂)
1	FAUANL-33A	1	FAUANL-5
2	FAUANL-35A	2	FAUANL-40
3	FAUANL-34A	3	FAUANL-10
		4	FAUANL-4
		5	FAUANL-7
		6	TX435
		7	FAUANL-8
		8	SC301
		9	PAMPA VERDE
		10	KANSAS COLLIER
		11	FAUANL-1
		12	MILENIO
		13	AB7500

En el Cuadro 2 se muestran los híbridos y sus progenitores evaluados en el ciclo Otoño 2009.

Cuadro 2. Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.

Núm Híbrido (F ₁)	Núm Línea hembra (♀)	Núm Línea fértil (♂)
1 FAUANL-33A X FAUANL-5	1 FAUANL-33A	1 FAUANL-5
2 FAUANL-33A X FAUANL-40	2 FAUANL-35A	2 FAUANL-40
3 FAUANL-33A X FAUANL-10	3 FAUANL-34A	3 FAUANL-10
4 FAUANL-33A X FAUANL-4		4 FAUANL-4
5 FAUANL-33A X FAUANL-7		5 FAUANL-7
6 FAUANL-33A X TX435		6 TX435
7 FAUANL-33A X FAUANL-8		7 FAUANL-8
8 FAUANL-35A X FAUANL-10		8 SC301
9 FAUANL-35A X FAUANL-5		9 PAMPA VERDE
10 FAUANL-35A X SC301		10 KANSAS COLLIER
11 FAUANL-35A X FAUANL-40		11 FAUANL-1
12 FAUANL-35A X PAMPA VERDE		12 MILENIO
13 FAUANL-35A X KANSAS COLLIER		13 AB7500
14 FAUANL-35A X FAUANL-8		
15 FAUANL-34A X MILENIO		
16 FAUANL-34A X KANSAS COLLIER		
17 FAUANL-34A X FAUANL-8		
18 FAUANL-34A X FAUANL-5		
19 FAUANL-34A X AB7500		

3.3 Análisis estadístico.

El diseño estadístico utilizado para el análisis individual de los genotipos fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

En donde:

μ = media general.

Y_{ij} = respuesta del tratamiento i en ambiente j.

T_i = efecto del tratamiento i.

B_j = efecto del bloque j.

E_{ij} = es el error experimental.

En la comparación entre hembras para el análisis combinado se estableció bajo el método de parcelas divididas y en cual la hembra representa a la parcela grande y los híbridos representan a la parcela chica. Para esto se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_{ij} + \beta_k + (AB)_{ik} + e_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto de la parcela grande en su nivel i.

S_{ij} = Error asociado con parcelas grandes E(a)

β_k = Efecto de la parcela chica en su nivel k

$(AB)_{ik}$ = Efecto de la interacción AB al nivel i, k

e_{ijk} = Error aleatorio asociado con parcelas chicas

3.4 Metodología general

La metodología general utilizada fue para los dos ciclos de investigación que fueron de Primavera y Otoño del 2009. En el periodo de investigación del ciclo Primavera 2009 se utilizaron dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2) y la densidad de siembra fue de 4 g por surco de 5 m y se obtuvo una densidad de 10 plantas por metro lineal. El trabajo en campo consistió en la preparación del suelo basado en el barbecho, cruza, nivelación, trazo de las acequias y preparación del riego. La siembra de las hembras de la primera fecha se efectuó el día 31 de Marzo de 2009, la siembra de los machos se realizó el 7 de abril y las hembras de la fecha dos se sembraron el día 8 de Abril con una diferencia de nueve días entre siembras de las hembras. El riego se realizó en cuatro ocasiones, se hizo un aporque y un deshierbe; los cruzamientos entre las hembras y los machos se iniciaron el 7 de Junio.

En el ciclo Otoño 2009 se realizaron las mismas prácticas agrícolas y las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2 por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.

La evaluación para alcanzar el primer objetivo se efectuó durante el ciclo de Otoño 2009 y se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea

macho). Para el registro del Contenido de solutos en tallo (% de Brix) se obtuvo una muestra del jugo del tallo y se colocó en el refractómetro y se observó la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares y los muestreos se realizaron de la siguiente manera: 1) En la aparición de la hoja bandera, 2) Floración, 3) 14 días después de la floración y 4) En la madurez.



Figuras 3 y 4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.

3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.

En el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos), los genotipos se establecieron en diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos y considerados como ambientes asociados a cada una de las hembras, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El experimento 1 se estableció con la hembra FAUANL-33A, el experimento 2 con la hembra FAUANL-35A y el experimento 3

con la hembra FAUANL-34A. Las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m² por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

Para este objetivo se realizó registro de datos en las siguientes variables:

1) Altura de la planta (cm): La medición se considera desde la base de la planta a la punta de la panoja (figura 2).



Figuras 5 y 6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.

2) Diámetro del tallo (cm): En la medición se consideró el diámetro del tallo en la altura media del mismo (Figura 3).



Figuras 7 y 8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.

3) Días a floración (días): Se consideró a partir de la siembra hasta cuando las plantas presentaron el 50 % de las panículas en anthesis.

4) Contenido de solutos en tallo (% de Brix): Se obtuvo a través de una muestra del jugo del tallo y se colocada en el refractómetro y registrando la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares. Los datos para esta variable se registraron en cuatro etapas: 1) a la aparición de la hoja bandera (BRIX M1), 2) floración (BRIX M2), 3) 14 días después de la floración (BRIX M3) y 4) durante la madurez fisiológica del grano (BRIX M4).

5) Peso fresco (g) el cual se registró el peso de 10 plantas, se realizó el cálculo del peso fresco por parcela y posteriormente se realizó la estimación del peso fresco por hectárea con la siguiente fórmula:

$$PFH = \frac{(PP)(AH)}{AP}$$

Donde:

PFH = Peso fresco por hectárea (ton ha⁻¹)

PP = Peso de plantas (10)

AH = Área de una hectárea (10,000 m²)

AP = Área de la parcela (8 m²)

El análisis estadístico se realizó con la versión 8.0 del programa SAS (SAS, 2000).

3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.

Para alcanzar el tercer objetivo de los efectos de la heterosis, en el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos) y las estimaciones de los porcentajes de heterosis y heterobeltiosis para las variables en estudio se realizaron en base a las siguientes fórmulas:

$$\text{Heterosis (\%)} = (F_1 - \text{Progenitor medio}) \times 100 / \text{Progenitor medio}$$

(Niehaus y Pickett, 1966).

$$\text{Heterobeltiosis (\%)} = (F_1 - \text{Mejor progenitor}) \times 100 / \text{Mejor progenitor}$$

(Fonseca y Patterson, 1968).

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.

Para alcanzar este objetivo se procedió a realizar los muestreos de Brix en cuatro periodos del ciclo del cultivo y en los cuales se obtuvieron los promedios que se observan en el Cuadro 3 en el cual se muestra que para los híbridos el mejor periodo de concentración de azúcares fue en el tercer periodo de los muestreos (14 días después de la floración) y para los progenitores el mejor periodo fue el de madurez fisiológica (Cuadro 4).

Cuadro 3. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de Brix en los híbridos.

Núm	Genotipo	BRIX M1	BRIX M2	BRIX M3	BRIX M4
1	FAUANL-33A X FAUANL-5	4.5	11.0	19.8	18.4
2	FAUANL-33A X FAUANL-40	4.4	10.0	17.4	15.9
3	FAUANL-33A X FAUANL-10	4.2	5.4	12.9	14.8
4	FAUANL-33A X FAUANL-4	4.9	9.6	20.1	19.2
5	FAUANL-33A X FAUANL-7	4.3	8.5	13.5	16.1
6	FAUANL-33A X FAUANL-8	5.2	10.6	16.9	15.3
7	FAUANL-33A X TX435	5.5	11.3	15.4	15.0
8	FAUANL-35A X FAUANL-8	5.6	10.9	19.2	17.0
9	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	5.2	10.8	19.6	16.4
10	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	6.2	10.7	16.8	17.5
11	FAUANL-35A X FAUANL-40	7.0	12.2	17.7	17.2
12	FAUANL-35A X SC301	6.7	13.1	17.8	16.4
13	FAUANL-35A X FAUANL-5	6.0	9.8	19.4	18.4
14	FAUANL-35A X FAUANL-10	7.2	9.6	18.4	16.3
15	FAUANL-34A X MILENIO	4.8	9.3	17.7	17.9
16	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	5.2	9.5	18.0	17.7
17	FAUANL-34A X FAUANL-8	5.0	10.7	15.8	15.5
18	FAUANL-34A X FAUANL-5	5.7	10.9	19.0	18.5
19	FAUANL-34A X AB7500	4.7	10.4	17.0	16.4

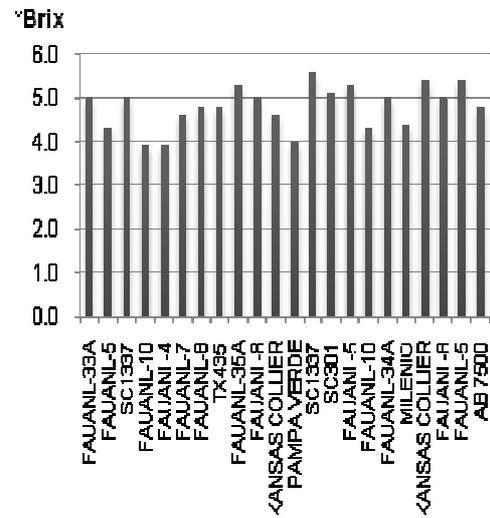
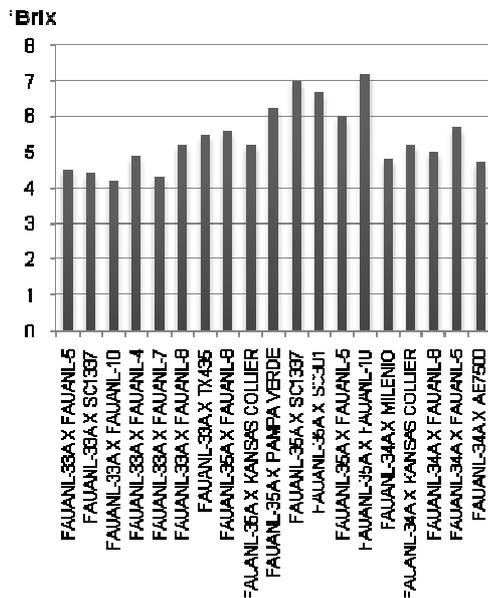
BRIX M1= Hoja bandera, BRIX M2= Floración, BRIX M3= 14 días después de floración, BRIX M4= Madurez fisiológica

Cuadro 4. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de Brix en los progenitores.

Genotipo	BRIX M1	BRIX M2	BRIX M3	BRIX M4
FAUANL-33A	5.0	9.8	14.2	14.3
FAUANL-5	4.3	9.5	19.1	19.6
FAUANL-40	5.0	9.8	16.1	15.0
FAUANL-10	3.9	5.1	13.7	13.8
FAUANL-4	3.9	11.0	18.5	19.6
FAUANL-7	4.6	11.6	13.7	15.0
FAUANL-8	4.8	11.8	13.8	14.5
TX435	4.8	12.0	13.4	12.8
FAUANL-35A	5.3	10.6	15.4	16.8
FAUANL-8	5.0	12.2	19.9	16.9
KANSAS COLLIER	4.6	11.4	19.3	19.8
PAMPA VERDE	4.0	9.0	16.6	16.8
FAUANL-40	5.6	11.6	18.4	17.5
SC301	5.1	11.5	17.5	18.2
FAUANL-5	5.3	10.2	19.9	20.5
FAUANL-10	4.3	8.0	11.6	14.0
FAUANL-34A	5.0	11.0	16.5	14.7
MILENIO	4.4	11.7	15.3	16.6
KANSAS COLLIER	5.4	13.1	17.7	17.3
FAUANL-8	5.0	11.3	14.7	16.4
FAUANL-5	5.4	11.9	18.1	20.0
AB 7500	4.8	10.5	15.2	14.5

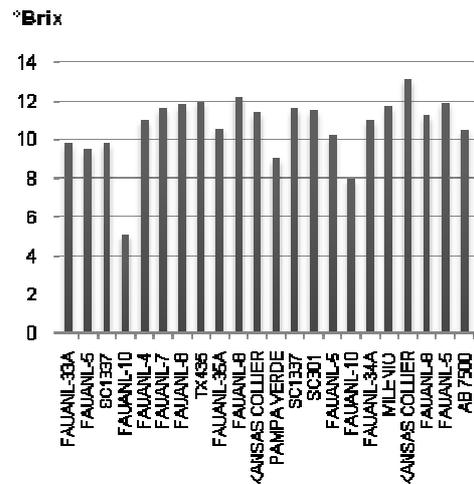
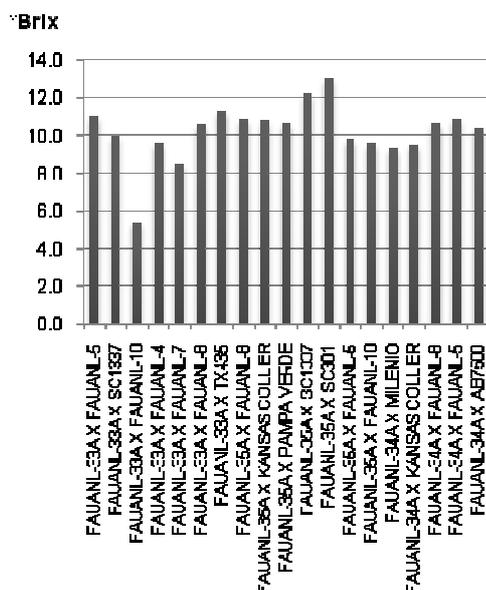
BRIX M1= Hoja bandera, BRIX M2= Floración, BRIX M3= 14 días después de floración, BRIX M4= Madurez fisiológica

En la acumulación de azúcares en los híbridos para la variable Brix muestreo 1 en hoja bandera que se muestra en la Figura 9 los híbridos presentaron un rango de 4 a 7 brix a excepción de FAUANL-35A x FAUANL-10 (7.2Bx) que fue el único genotipo que registró más de 7 brix. La acumulación de azúcares en los progenitores fue más lenta que su descendencia y en la variable brix M1 el rango fue de 3.9 a 5.6 brix (Figura 10).



Figuras 9 y 10. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).

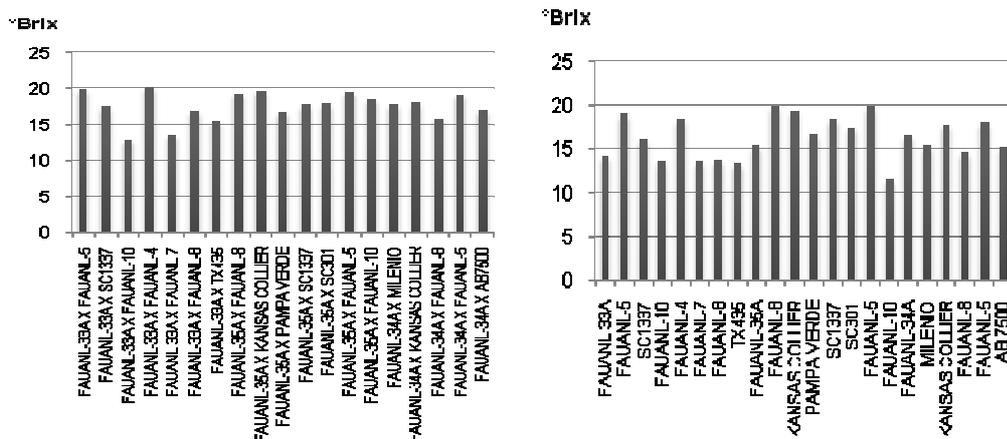
En la variable Brix muestreo 2 en floración (Figura 11) se comenzó a notar el incremento de brix en los híbridos. En este periodo los mayores promedios se registró en los híbridos FAUANL-35A x SC301 (13.1%brix) y FAUANL-35A x FAUANL-40 (12.2%brix). Durante este periodo el rango de brix en los híbridos fue muy amplio ya que se registró a partir de los 5 hasta los 13%brix. Durante este periodo las plantas concentran la mayor parte de su energía en la floración y otra parte en la concentración de brix. Para los progenitores en la variable Brix M2 se presentó un incremento de la concentración de azúcares aunque el rango fue amplio que va de 5.1 a 13.1 brix (Figura 12).



Figuras 11 y 12. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M2 (período de floración).

El periodo registrado en la variable Brix mue stro 3 a los 14 días después de la floración (Figura 13) se presentó la mayor expresión de brix en los híbridos y se registraron los promedios más altos en este estudio y destacaron los siguientes híbridos: FAUANL-33A x FAUANL-4 con 20.1 brix, FAUANL-33A x FAUANL-5 con 19.8 brix, FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 brix, FAUANL-35A x FAUANL-5 con 19.4 brix, FAUANL-35A x FAUANL-8 con 19.2 brix y FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19 brix. El rango en esta variable fue de 13 a 20.1 brix; como ejemplo se puede notar en el híbrido FAUANL-33A x FAUANL-4 que tuvo un promedio de 20.1 Brix y su progenitor masculino 18.5 y el progenitor femenino 14.2 Brix. También en este periodo, se presentó un caso como el del híbrido FAUANL-33A x FAUANL-10 que en este periodo presentó

una media de 12.9 °Brix y su progenitor masculino 13.7 y el femenino 14.2 °Brix. Se puede mencionar que el híbrido presentó un efecto tardío en la acumulación de azúcares ya que en el siguiente periodo se incrementó su porcentaje de °Brix la cual fue mayor al de sus progenitores. En °Brix M3 para los progenitores el rango de concentración en °brix fue de 11.6 a 19.9 (Figura 14).

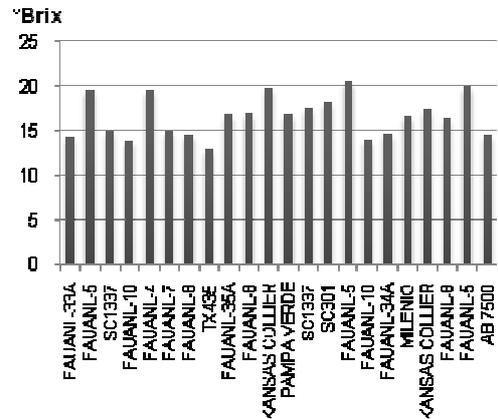
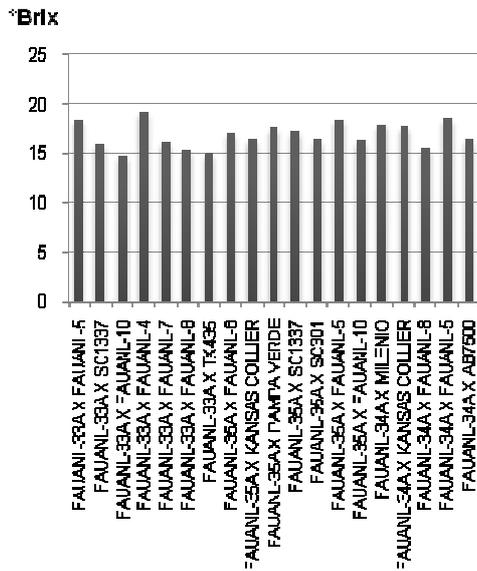


Figuras 13 y 14. Porcentajes de °Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable °Brix M3 (periodo de 14 días después de la floración).

En esta variable asociada con la concentración de azúcares en los híbridos provenientes de la hembra 2 (FAUANL-35A) no se observó una superioridad marcada de parte de los híbridos hacia los progenitores ya que los valores presentados en los híbridos fueron iguales (estadísticamente) a los valores de los progenitores; el máximo valor lo obtuvo el genotipo FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 °Brix que estadísticamente fue igual a otros 11 genotipos. En los híbridos de la hembra 3 para esta variable (°Brix M3) los valores no son más altos que en los híbridos provenientes de las hembras 1 y 2,

ya que el valor más alto fue el del híbrido FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19°Brix.

Durante el muestreo en la variable °Brix M4 en la madurez (Figura 15) se comenzó a notar un decremento en la concentración de °brix en los híbridos. Un ejemplo es el híbrido con mayor expresión de °brix que en el periodo de 14 días después de la floración registró 20.1°brix y para el periodo de madurez registró 19.2°brix. También se presentaron algunas excepciones como es el caso de los híbridos FAUANL-35A x Pampa verde y FAUANL-34A x Milenio que en el periodo anterior registraron 16.8 y 17.7°brix respectivamente y para el periodo de madurez incrementaron su concentración a 17.5 y 17.9°brix respectivamente. Misma situación situación se presentó en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-10 y FAUANL-33A x FAUANL-7 que registraron los promedios más bajos de 12.6 y 13.5°brix respectivamente en el anterior periodo y en madurez se incrementó la concentración con un promedio de 14.8 y 16.1°brix respectivamente, en síntesis estos híbridos presentaron un efecto tardío en la concentración de azúcares. El periodo de madurez fué el de mayor registro para la concentración de °brix en los progenitores en el cual se muestra su máxima expresión en la concentración de azúcares (Figura 16). Durante este periodo se presentó una situación en la cual el progenitor masculino FAUANL-5 alcanzó 20.5 °brix.



Figuras 15 y 16. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).

De forma general en la Figura 17 se puede observar la acumulación de azúcares en los híbridos y los progenitores a través de los cuatro muestreos realizados y se puede observar el incremento o disminución de la acumulación de azúcares de cada genotipo en cada uno de los diferentes muestreos así como el periodo de máxima expresión.

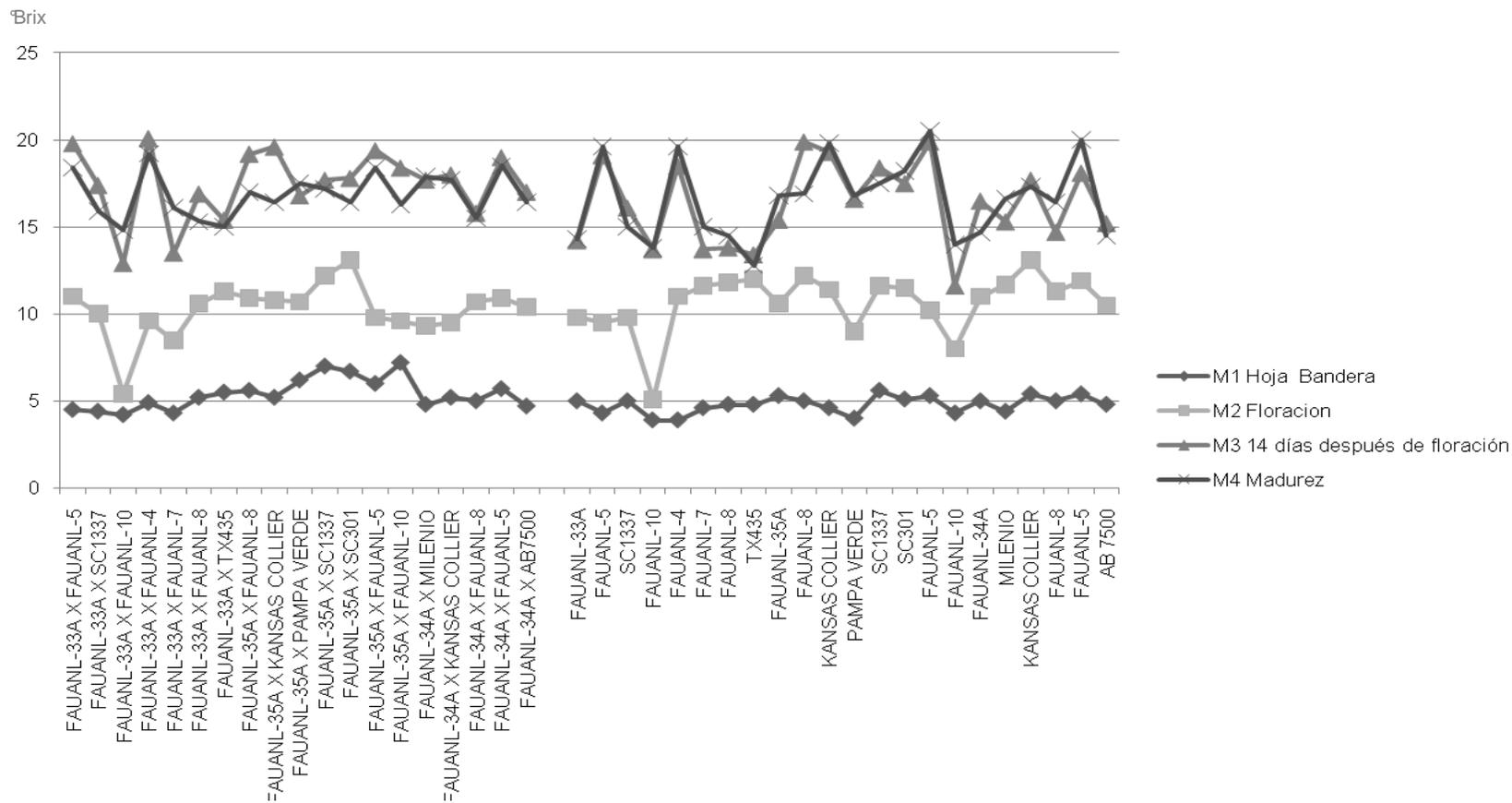


Figura 17. Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.

4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

En este objetivo se realizó el análisis combinado para la comparación entre hembras y un análisis individual para los genotipos.

4.2.1 Comparaciones entre hembras.

Se realizó el análisis de varianza combinado incluyendo las tres hembras en estudio; en el Cuadro 5 se muestra una interacción hembra x genotipo en la mayoría de las variables con excepción de Brix M1 y Brix M4, la cual demostró significancia únicamente para hembras y genotipos. Considerando estos resultados, se realizó un análisis individual por hembras que permitiera identificar la mejor combinación macho-hembra para una mayor expresión de las variables.

Cuadro 5. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	156.5955	2.03	0.0013	0.03	2.7450	1.76	0.6867	1.49
Hembras	2	856.9629	11.13*	0.0106	0.21	16.0444	10.29*	5.3779	11.65*
Error a (hem x rep)	4	157.1669	2.04	0.0372	0.74	2.5413	1.63	1.4105	3.06
Tratamiento	11	2288.4605	29.73**	0.3352	6.71**	8.8930	5.70**	0.9077	1.97
Hembras x tratamiento	5	6373.5925	82.79**	0.2224	4.45*	15.8600	10.17**	1.3185	2.86
Error b	32	76.9857		0.0499		1.5595		0.4614	

Fuente	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	4.8963	4.14	2.4339	1.60	1.6909	1.20	23.5838	0.26
Hembras	2	0.2747	0.23	8.1606	5.37	0.1756	0.12	198.1040	2.17
Error a (hem x rep)	4	2.7904	2.36	2.0933	1.38	1.3702	0.97	34.2985	0.38
Tratamiento	11	7.6915	6.51**	8.5851	5.65**	3.7236	2.64	151.8449	1.66
Hembras x tratamiento	5	4.9088	4.15*	16.6410	10.95**	7.8720	5.58	415.7920	4.56*
Error b	32	1.1817		1.5191		1.4112		91.2229	

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. **Significativo a $P \leq 0.01$, *Significativo a $P \leq 0.05$

En la comparación individual (Cuadro 6) se presentó diferencia altamente significativa en la mayoría de las variables con excepción de Peso fresco por hectárea que presentó diferencia significativa nada más.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	63.7058	0.97	0.0719	1.43	1.1176	1.7	0.2972	2.19
Tratamiento	16	4840.4607	73.41**	0.4166	8.29**	48.5931	73.7**	1.6721	12.33**
Error	32	65.9350		0.0502		0.6593		0.1355	

	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	0.9429	0.72	1.3006	0.80	4.9086	2.16	181.0829	1.21
Tratamiento	16	11.9991	9.12**	17.7343	10.93**	13.2572	5.82**	651.5225	4.34*
Error	32	1.3150		1.6228		2.2772			

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. *Significativo, **Altamente significativo,

Para la comparaciones de medias para las variables en estudio. En Altura de la planta se formaron 5 o 6 grupos en los cuales los híbridos se mostraron superiores (Cuadro 7). Para variable diámetro de tallo se formaron de 3 a 5 grupos, los progenitores presentaron el promedio más alto (Cuadro 8) y para días a floración los progenitores se presentaron más tardíos, donde se formaron 10 grupos (Cuadro 9).

En la variable Brix M1 en la Hembra FAUANL-33A se formaron 5 grupos estadísticos y en la Hembra FAUANL-35A se formaron 4 grupos. En la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística ya que solo se formó un solo grupo (Cuadro 10.) En esta variable los promedios que se registraron fue de un rango de 3.9 a 7.2 brix.

Cuadro 7. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	205.33	PAMPA VERDE	A	187.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	190.66
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	201.00	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	182.00	AB7500	A	189.66
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C	176.66	FAUANL-35 X PAMPA VERDE	A	181.66	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	184.00
FAUANL-4	C	164.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	169.33	FAUANL-34A X AB7500	A	183.33
FAUANL-5	C	159.66	FAUANL-5	A B	163.66	KANSAS COLLIER	A B	172.33
FAUANL-33A X FAUANL-10	C	159.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	163.33	FAUANL-5	A B	166.00
FAUANL-10	C	158.00	FAUANL-35A X SC301	A B	160.00	MILENIO	A B	160.66
FAUANL-33A X FAUANL-7	D	123.33	KANSAS COLLIER	A B	159.66	FAUANL-34A X MILENIO	B C	143.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	D	117.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	B C	144.33	FAUANL-8	C D	112.33
FAUANL-7	D E	111.66	FAUANL-10	B C D	141.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	D E	105.33
FAUANL-33A X TX435	D E	110.00	SC301	C D E	110.33	TES	D E	98.66
FAUANL-8	D E	109.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	D E	107.00	TES	D E	96.00
FAUANL-40	D E	106.66	FAUANL-8	E	100.66	FAUANL-34A	D E	78.00
TX435	D E F	100.00	FAUANL-40	E	97.66	FAUANL-34B	E	74.33
FAUANL-33A	E F	92.00	FAUANL-35A	E	84.00			
FAUANL-33B	F	80.33	FAUANL-35B	E	80.00			
FAUANL-1	F	79.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 8. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	2.56	FAUANL-35B	A B	2.20	TES	A	1.96
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	2.10	FAUANL-8	A B	2.10	TES	A	1.96
FAUANL-33A	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	2.06	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	1.93
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C	2.00	FAUANL-8	A B	1.86
TX435	A B	2.03	FAUANL-35A	A B C D	1.70	KANSAS COLLIER	A B C	1.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	1.96	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D E	1.63	FAUANL-34A	A B C	1.63
FAUANL-8	B C	1.86	FAUANL-10	B C D E	1.63	FAUANL-34A X MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-7	B C D	1.83	FAUANL-35A X SC301	C D E	1.56	MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-33A X TX435	B C D	1.80	FAUANL-5	D E	1.43	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	1.53
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C D	1.80	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	D E	1.40	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B C	1.53
FAUANL-10	B C D	1.73	SC301	D E	1.36	FAUANL-34B	A B C	1.46
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D	1.73	FAUANL-40	D E	1.33	FAUANL-5	A B C	1.43
FAUANL-5	B C D	1.60	PAMPA VERDE	D E	1.30	AB7500	B C	1.26
FAUANL-4	B C D	1.46	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	1.26	FAUANL-34A X AB7500	C	1.16
FAUANL-33B	C D	1.23	FAUANL-35A X FAUANL-40	D E	1.20			
FAUANL-40	D	1.16	KANSAS COLLIER	E	1.16			
FAUANL-33A X FAUANL-40	D	1.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 9. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	76.00	FAUANL-10	A	70.00	FAUANL-8	A	69.00
TX435	B	71.33	FAUANL-8	A B	69.33	MILENIO	A B	67.66
FAUANL-7	B C	69.66	KANSAS COLLIER	B	66.33	AB7500	A B	67.66
FAUANL-8	B C	69.33	FAUANL-35B	B	66.00	KANSAS COLLIER	A B	67.33
FAUANL-33A X TX435	C D	68.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	B C	64.00	FAUANL-34B	A B C	66.66
FAUANL-33B	C D	67.66	FAUANL-35A	B C D	63.66	FAUANL-34A	A B C	65.66
FAUANL-10	D E	66.66	SC301	C D E	62.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	65.66
FAUANL-4	D E F	66.00	FAUANL-5	C D E	62.33	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	65.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F G	65.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	C D E	62.33	FAUANL-5	A B C	63.33
FAUANL-5	E F G H	64.33	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	C D E	62.00	FAUANL-34A X MILENIO	B C	62.66
FAUANL-33A	F G H I	64.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	C D E	61.66	TES	B C	62.66
FAUANL-33A X FAUANL-8	G H I J	63.00	PAMPA VERDE	D E	61.00	TES	B C	62.66
FAUANL-40	G H I J	63.00	FAUANL-40	D E	61.00	FAUANL-34A X AB7500	B C	62.00
FAUANL-33A X FAUANL-10	H I J	62.33	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	D E	61.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	C	61.33
FAUANL-33A X FAUANL-5	H I J	62.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	61.00			
FAUANL-33A X FAUANL-4	I J	61.66	FAUANL-35A X SC301	E	60.66			
FAUANL-33A X FAUANL-40	J	61.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 10. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 1 (BRIX M1).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	7.06	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	7.26	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	5.73
FAUANL-33A X TX435	B	5.50	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	7.06	TES	A	5.56
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C	5.20	FAUANL-35A X SC301	A B C	6.73	KANSAS COLLIER	A	5.43
FAUANL-40	B C D	5.03	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C D	6.20	FAUANL-5	A	5.40
FAUANL-33A	B C D E	5.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C D	6.00	FAUANL-34B	A	5.23
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D E	4.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C D	5.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	5.20
TX435	B C D E	4.83	FAUANL-40	A B C D	5.63	TES	A	5.16
FAUANL-8	B C D E	4.80	FAUANL-35A	A B C D	5.36	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-7	B C D E	4.66	FAUANL-5	A B C D	5.33	FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-33A X FAUANL-5	B C D E	4.50	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B C D	5.20	FAUANL-34A	A	5.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C D E	4.43	SC301	A B C D	5.10	AB7500	A	4.83
FAUANL-5	C D E	4.30	FAUANL-8	A B C D	5.06	FAUANL-34A X MILENIO	A	4.83
FAUANL-33A X FAUANL-7	C D E	4.30	FAUANL-35B	A B C D	5.00	FAUANL-34A X AB7500	A	4.70
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D E	4.23	KANSAS COLLIER	B C D	4.66	MILENIO	A	4.40
FAUANL-33B	C D E	4.13	FAUANL-10	C D	4.30			
FAUANL-10	D E	3.93	PAMPA VERDE	D	4.00			
FAUANL-4	E	3.90						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

La comparación de medias en la variable Brix M2 se presentó un ligero incremento en los promedios registrados tanto en híbridos y progenitores el rango de los promedios fue de 5.1 a 13.2 y se formaron como máximo 2 grupos estadísticos para las dos primeras hembras y en la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística entre los genotipos ya que solo se formó un grupo estadístico (Cuadro 11).

En la variable Brix M3 se presentaron los mayores promedios registrados la mayor diferencia de grupos estadísticos se presentó en la hembra FAUANL-33A donde se formaron 6 grupos estadísticos, 3 y 2 para las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A respectivamente (Cuadro 12).

En la variable Brix M4 los progenitores fueron los que registraron los mayores promedios ya que en esta variable se presentó su máxima expresión y los híbridos ya habían presentado su máxima expresión en la variable Brix M3. Se formaron 4 grupos en la hembra 1 y 3 tanto en la hembra 2 y 3 (Cuadro 13).

En la variable peso fresco los mayores promedios registrados se presentó en los híbridos, pero la excepción fue el progenitor Milenio que presentó el mayor promedio registrado en el peso fresco por parcela. En la hembra 1 se formaron 4 grupos estadísticos, 3 en la hembra 2 y 4 en la hembra 3 (Cuadro 14).

Cuadro 11. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 2 (BRIX M2).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
TX435	A	12.03	FAUANL-35A X SC301	A B	13.16	KANSAS COLLIER	A	13.10
FAUANL-8	A	11.80	FAUAL-35A X FAUANL-40	A B	12.23	FAUANL-5	A	11.90
FAUANL-7	A	11.66	FAUANL-8	A B	12.23	MILENIO	A	11.73
FAUANL-33B	A	11.50	FAUANL-40	A B	11.66	FAUANL-8	A	11.33
FAUANL-33A X TX435	A	11.30	SC301	A B	11.53	FAUANL-34B	A	11.10
FAUANL-4	A	11.03	KANSAS COLLIER	A B	11.46	FAUANL-34A	A	11.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	11.03	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	10.90	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	10.93
FAUANL-33A X FAUANL-8	A	10.60	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	10.86	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	10.76
FAUANL-33A X FAUANL-40	A	10.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	10.73	AB7500	A	10.56
FAUANL-33A	A	9.80	FAUANL-35A	A B	10.60	FAUANL-34A X AB7500	A	10.43
FAUANL-40	A	9.80	FAUANL-5	A B	10.23	TES	A	10.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	9.60	FAUANL-35B	A B	10.00	TES	A	9.86
FAUANL-5	A	9.53	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	9.80	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	9.56
FAUANL-1	A	9.30	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	9.66	FAUANL-34A X MILENIO	A	9.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	8.53	PAMPA VERDE	A B	9.00			
FAUANL-33A X FAUANL-10	B	5.40	FAUANL-10	B	8.00			
FAUANL-10	B	5.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 12. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	20.10	FAUANL-5	A B	19.96	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	19.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	19.80	FAUANL-8	A B	19.90	FAUANL-5	A B	18.16
FAUANL-5	A B	19.13	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	19.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	18.03
FAUANL-4	A B C	18.50	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	19.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	17.40	KANSAS COLLIER	A B	19.36	KANSAS COLLIER	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D E	16.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	19.20	TES	A B	17.33
FAUANL-40	B C D E F	16.13	FAUANL-40	A B C	18.43	FAUANL-34A X AB7500	A B	17.00
FAUANL-33A X TX435	C D E F	15.40	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	18.43	FAUANL-34A	A B	16.53
FAUANL-33B	D E F	14.30	FAUANL-35A X SC301	A B C	17.83	TES	A B	16.03
FAUANL-33A	D E F	14.20	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C	17.73	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B	15.86
FAUANL-8	D E F	13.86	SC301	A B C	17.56	MILENIO	A B	15.33
FAUANL-10	D E F	13.76	FAUANL-35B	A B C	16.90	AB7500	A B	15.23
FAUANL-7	D E F	13.73	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	16.83	FAUANL-8	B	14.70
FAUANL-1	E F	13.60	PAMPA VERDE	B C	16.60	FAUANL-34B	B	14.06
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F	13.50	FAUANL-34A	C	15.43			
TX435	E F	13.40	FAUANL-10	D	11.63			
FAUANL-33A X FAUANL-10	F	12.96						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 13. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-4	A B	19.60	FAUANL-5	A B	20.50	FAUANL-5	A	20.03
FAUANL-5	A B	19.60	KANSAS COLLIER	A B	19.83	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	18.53
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	19.23	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	18.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.90
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B C	18.40	SC301	A B C	18.20	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	17.76
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B C D	16.16	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	17.53	KANSAS COLLIER	A B	17.30
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	15.93	FAUANL-40	A B C	17.53	MILENIO	A B C	16.63
FAUANL-1	A B C D	15.80	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C D	17.20	FAUANL-8	A B C	16.43
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D	15.30	FAUANL-35A X FAUANL-8	B C D	17.03	FAUANL-34A X AB7500	A B C	16.40
FAUANL-33A X TX435	B C D	15.03	FAUANL-8	B C D	16.90	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	15.50
FAUANL-7	B C D	15.00	PAMPA VERDE	B C D	16.80	FAUANL-34A	B C	14.70
FAUANL-40	B C D	15.00	FAUANL-35A	B C D	16.80	AB7500	B C	14.56
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D	14.80	FAUANL-35B	B C D	16.60	TES	B C	14.33
FAUANL-8	C D	14.56	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D	16.46	FAUANL-34B	B C	13.76
FAUANL-33A	C D	14.30	FAUANL-35A X SC301	C D	16.43	TES	C	11.70
FAUANL-10	D	13.80	FAUANL-35A X FAUANL-10	C D	16.30			
FAUANL-33B	D	13.70	FAUANL-10	D	14.00			
TX435	D	12.80						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 14. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	5966.66	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	4616.66	MILENIO	A	6266.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	5550.00	PAMPA VERDE	A	4250.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	4833.30
FAUANL-33A X FAUANL-7	A	5100.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	3850.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	B	4450.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B	4750.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	3816.66	FAUANL-8	B	4083.30
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B C	4600.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	3675.00	FAUANL-34A X MILENIO	B	4016.70
FAUANL-1	A B C	4316.00	FAUANL-35A X SC301	A B	3616.66	FAUANL-34A X AB7500	B	4000.00
FAUANL-4	A B C D	4050.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	3425.00	TES	B C	3500.00
FAUANL-8	A B C D	3983.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	3233.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	B C	3475.00
FAUANL-33A X TX435	A B C D	3700.00	FAUANL-35B	A B C	3200.00	AB7500	B C	3366.70
FAUANL-5	A B C D	3675.00	FAUANL-8	A B C	3100.00	TES	B C	3350.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	3200.00	FAUANL-5	A B C	3050.00	KANSAS COLLIER	B C	3300.00
TX435	B C D	3050.00	FAUANL-10	A B C	2775.00	FAUANL-5	B C	3266.70
FAUANL-10	B C D	3033.33	KANSAS COLLIER	A B C	2650.00	FAUANL-34A	C D	2000.00
FAUANL-7	B C D	3033.33	SC301	B C	2200.00	FAUANL-34B	D	1450.00
FAUANL-33A	B C D	3000.00	FAUANL-40	C	1233.33			
FAUANL-33B	C D	1875.00	FAUANL-35A	C	1170.00			
FAUANL-40	D	1450.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Variable Peso fresco

En la variable peso fresco se registró el peso de 10 plantas por parcela en gramos y posteriormente se realizaron las estimaciones de peso fresco en toneladas por hectárea (10,000 m²), esta estimación se muestra en el Cuadro 15 y se realizó en base a la fórmula presentada en la metodología del objetivo 2. Los híbridos registraron la mayor cantidad de biomasa en comparación con sus progenitores. Como se puede observar los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4 (74.5), FAUANL-33A x FAUANL-5 (69.30), FAUANL-34A x FAUANL-5 (60.37), FAUANL-33A x FAUANL-8 (59.37) y FAUANL-35A X KANSAS COLLIER (57.62) obtuvieron los registros más altos y los más bajos se registró en los progenitores como FAUANL-34B (18.12) y FAUANL-40 (15.37). Es de importancia mencionar que el progenitor Milenio presentó un peso fresco de 78.25 ton ha⁻¹ y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO tuvo 50.12 ton ha⁻¹. Esto se debe a que el progenitor Milenio presenta un alto peso de sus tallos pero en grados brix registró 16.6°Brix en su máximo periodo de concentración que fue en madurez y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO presentó 17.9°Brix en el periodo de 14 días después de la floración y también presenta el mismo diámetro de tallo que el híbrido (1.6 cm), otra diferencia es que durante el muestreo se observó que el progenitor Milenio acumula menos jugo que el híbrido. De forma general el rango que se presentó en el peso fresco en los híbridos fue de 40 a 69.30 ton ha⁻¹ y en los progenitores el rango fue muy amplio ya que el valor más bajo fue de 14.62 y el más alto de 78.25 ton ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 15. Estimación de peso fresco en ton ha⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.

Genotipo	Peso	Genotipo	Peso	Genotipo	Peso
FAUANL-33A X FAUANL-5	69.30	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	55.62	FAUANL-8 (H2)	38.75
FAUANL-33A X FAUANL-40	40.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	43.37	KANSAS COLLIER (H2)	33.12
FAUANL-33A X FAUANL-10	57.50	FAUANL-34A X FAUANL-5	60.37	PAMPA VERDE (H2)	53.12
FAUANL-33A X FAUANL-4	74.50	FAUANL-34A X AB7500	50.00	FAUANL-40 (H2)	15.37
FAUANL-33A X FAUANL-7	63.75	FAUANL-33A (H1)	37.50	SC301 (H2)	27.50
FAUANL-33A X FAUANL-8	59.37	FAUANL-5 (H1)	45.87	FAUANL-5 (H2)	38.12
FAUANL-33A X TX435	46.25	SC1337 (H1)	18.12	FAUANL-10 (H2)	34.62
FAUANL-35A X FAUANL-8	45.87	FAUANL-10 (H1)	37.87	FAUANL-35B (H2)	40.00
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	57.62	FAUANL-4 (H1)	50.62	FAUANL-34A (H3)	25.00
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	47.62	FAUANL-7 (H1)	37.87	MILENIO (H3)	78.25
FAUANL-35A X SC1337	42.75	FAUANL-8 (H1)	49.75	KANSAS COLLIER (H3)	41.25
FAUANL-35A X SC301	45.12	TX435 (H1)	38.12	FAUANL-8 (H3)	51.00
FAUANL-35A X FAUANL-5	40.37	FAUANL-33B (H1)	23.37	FAUANL-5 (H3)	40.75
FAUANL-35A X FAUANL-10	48.12	FAUANL-1 (H1)	53.87	AB7500 (H3)	42.00
FAUANL-34A X MILENIO	50.12	FAUANL-35A (H2)	14.62	FAUANL-34B (H3)	18.12

H1= Hembra 1, H2= Hembra 2, H3= Hembra 3.

4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.

En la estimación de heterosis (Cuadro 18) los resultados muestran que los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x SC301 fueron los que presentaron los porcentajes más altos en la variable Altura. En el diámetro de tallo se presentaron 10 casos con valores negativos y en un solo caso no hubo heterosis. En el caso de Días a floración solo se presentó un caso en el que el genotipo FAUANL-33A x TX435 presentó un porcentaje de heterosis positivo de 0.4 días y esto representa que fue el más tardío de los híbridos.

En la variable Brix M3 que es donde se presentó una mayor concentración de azúcares, los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-7 (-3.3%). Esto es un indicativo que si se utilizan progenitores con alta concentración de azúcares el vigor híbrido para esta variable puede aumentar significativamente la concentración de los azúcares.

En Brix M4 (Madurez) los mayores porcentajes fueron para FAUANL-34A x Milenio (14.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (13.4%), FAUANL-34A x AB7500 (12.0%) y FAUANL-34A x Kansas Collier (11.0%), mientras que los valores negativos fueron para FAUANL-35A x Kansas Collier (-10.1%), WA x SC301 (-6.1%), FAUANL-35A x FAUANL-5 (-1.3%) y FAUANL-34A x FAUANL-8 (-0.4%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%) y el valor negativo fue en FAUANL-34A x Milenio (-2.8%).

Cuadro 16. Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	Peso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	63.18	6.31	-3.38	-3.23	14.14	18.8	8.55	66.29
FAUANL-33A X FAUANL-40	77.85	-28.57	-3.94	-11.63	2.04	14.73	8.76	43.82
FAUANL-33A X FAUANL-10	27.2	9.57	-4.59	-5.22	-27.84	-7.27	5.34	52.49
FAUANL-33A X FAUANL-4	56.83	-2.80	-5.13	10.11	-7.84	22.94	13.47	69.27
FAUANL-33A X FAUANL-7	21.11	6.78	-2.74	-11.03	-20.50	-3.34	10.35	69.06
FAUANL-33A X FAUANL-8	16.42	-9.24	-5.50	6.12	-1.85	20.43	6.00	36.04
FAUANL-33A X TX435	14.58	-12.90	0.49	11.86	3.51	11.59	10.95	22.31
FAUANL-35A X FAUANL-8	15.88	5.26	-6.27	7.99	-4.53	8.68	1.09	72.13
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	49.38	13.95	-6.15	3.65	-1.51	12.84	-10.10	141.71
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	34.07	-6.67	-0.53	32.38	9.52	5.10	4.37	40.84
FAUANL-35A X FAUANL-40	58.90	-20.88	-1.07	28.48	9.88	4.72	0.19	185.02
FAUANL-35A X SC301	64.67	2.17	-3.70	28.66	18.98	8.08	-6.10	114.64
FAUANL-35A X FAUANL-5	36.74	-19.15	-3.17	12.15	-5.92	9.60	-1.34	53.24
FAUANL-35A X FAUANL-10	45.19	24.00	-4.24	50.34	3.94	36.21	5.84	95.18
FAUANL-34A X MILENIO	19.83	-1.03	-6.00	2.84	-17.89	11.09	14.26	-2.82
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	52.33	-8.00	-1.75	-0.32	-20.61	5.36	11.04	67.92
FAUANL-34A X FAUANL-8	10.68	10.48	-2.48	0.33	-3.58	1.60	-0.43	14.25
FAUANL-34A X FAUANL-5	50.82	0	-4.91	10.26	-4.51	9.51	6.72	83.54
FAUANL-34A X AB7500	36.99	-19.54	-7.00	-4.41	-3.25	7.03	12.07	49.07

En los porcentajes de heterobeltiosis obtenidos (Cuadro 17) los genotipos FAUANL-34A x AB7500 (135%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (94.4%), FAUANL-33A x FAUANL-10 (72.8%) presentaron los valores más altos para la variable Altura y en el cual, el genotipo FAUANL-35A x Pampa Verde fue el único que tuvo un porcentaje negativo de -2.8.

En el diámetro del tallo el valor más alto se presentó en el genotipo FAUANL-33A x FAUANL-5 (22.9%) y el más negativo fue FAUANL-34A x AB7500 (-28.5%). En Días a floración la mayoría de los híbridos presentaron porcentajes negativos lo cual nos indica su precocidad con respecto a su mejor progenitor, a excepción de los genotipos FAUANL-33A x TX435, FAUANL-35A x Pampa Verde, FAUANL-35A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x FAUANL-10 que presentaron valores positivos. En la variable Brix M3 los genotipos que presentaron los porcentajes altos fueron: FAUANL-33A x FAUANL-8 (21.8%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (19.4%) y FAUANL-34A x Milenio (15.4%), el porcentaje más negativo fue para FAUANL-33A x FAUANL-10 (-8.7%). En Brix M4 el genotipo FAUANL-34A x AB7500 (11.5%) presentó el porcentaje más alto en relación a su mejor progenitor y el más negativo fue para FAUANL-35A x Kansas Collier (-16.9). En Peso fresco el porcentaje más alto fue en FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%). En esta variable se presentaron altos porcentajes de heterobeltiosis.

Cuadro 17. Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	P eso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	28.60	22.92	-3.63	4.65	15.73	3.48	-6.12	51.02
FAUANL-33A X FAUANL-40	65.63	0	-3.17	-11.92	2.04	7.85	6.22	120.69
FAUANL-33A X FAUANL-10	72.83	0	-2.60	-15.33	-44.90	-8.69	3.50	53.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	22.31	18.18	-6.57	25.64	-12.99	8.65	-1.87	47.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	10.45	14.55	-6.70	-7.86	-26.86	-1.70	7.78	68.13
FAUANL-33A X FAUANL-8	7.34	-3.57	-9.13	8.33	-10.17	21.88	5.03	19.25
FAUANL-33A X TX435	19.57	-14.29	6.25	10.00	15.31	8.45	5.13	23.33
FAUANL-35A X FAUANL-8	6.29	-4.76	-10.10	11.18	-10.90	-3.52	0.79	18.55
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	13.99	40.00	-8.04	11.43	-5.23	1.38	-16.97	74.21
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	-2.85	7.69	1.64	55.00	19.26	1.41	4.37	-10.20
FAUANL-35A X FAUANL-40	47.78	-10.00	1.09	25.44	4.86	-3.80	-1.90	177.70
FAUANL-35A X SC301	45.02	14.63	-2.67	32.03	14.16	1.52	-9.71	64.39
FAUANL-35A X FAUANL-5	3.46	-11.63	-2.14	12.50	-4.23	-2.84	-10.24	6.01
FAUANL-35A X FAUANL-10	94.44	21.57	0.52	35.40	-8.81	19.44	-2.98	229.06
FAUANL-34A X MILENIO	-11.00	0	-7.39	9.85	-20.45	15.43	7.62	-35.90
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	10.64	-9.80	-2.97	-4.29	-26.97	1.88	2.70	34.85
FAUANL-34A X FAUANL-8	-6.23	3.57	-4.83	0	-5.00	7.94	-5.68	-14.90
FAUANL-34A X FAUANL-5	10.84	6.98	-3.16	6.17	-8.12	4.59	-7.49	47.96
FAUANL-34A X AB7500	135.04	-28.57	-5.58	-6.00	-5.15	2.82	11.56	100.00

En el análisis de correlación (Cuadro 18) las variables que presentaron una significancia estadística fueron: Altura con diámetro de tallo, con días a floración, con Brix M3, con Brix M4 y con peso fresco. Diámetro de tallo con días a floración y con peso fresco. Días a floración con Brix M3, Brix M1 con Brix M2 y Brix M3 con Brix M4, las dos últimas correlaciones se presentaron por el efecto continuo de la dinámica de acumulación de azúcares en la planta.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.

	ALTURA	DIAM	DF	BRIX1	BRIX2	BRIX3	BRIX4	PFRESCO
ALTURA	1.00000	-0.32902* <.0001	-0.40474** <.0001	-0.09257 0.2749	-0.12042 0.1549	0.44530** <.0001	0.45861** <.0001	0.51136** <.0001
DIAM		1.00000	0.36641** <.0001	0.09790 0.2481	-0.12927 0.1266	-0.25212 0.0037	-0.24815 0.0046	0.39732** <.0001
DF			1.00000	-0.12338 0.1450	0.07830 0.3561	-0.58734** <.0001	-0.30981* 0.0004	-0.08323 0.3484
BRIX1				1.00000	0.32680** <.0001	0.27719 0.0013	0.14878 0.0924	-0.06552 0.4607
BRIX2					1.00000	0.28244 0.0011	0.18738 0.0335	-0.12383 0.1621
BRIX3						1.00000	0.65522** <.0001	0.13826 0.1181
BRIX4							1.00000	0.13611 0.1240
PFRESCO								1.00000

*Significante al nivel de $p \leq 0.001$

V. DISCUSIÓN

El Sorgo con brix arriba de 8% de azúcares en el jugo del tallo se define generalmente como el sorgo dulce y para esto los tallos tienen que ser jugosos (d recesiva a D) en lugar de secos y dulces (x recesivo a X) en lugar de no dulces (Pfeiffer, 2010).

Los valores máximos de Brix obtenidos en este estudio en los resultados del objetivo 1 son satisfactorios al realizar la comparación de nuestros híbridos y sus progenitores con otros trabajos realizados, en el caso de nuestro país los trabajos en sorgo dulce son escasos el reporte más actual es sobre la variedad RB-Cañero liberado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA, 2010) y entre sus características presenta hasta 16.4 Brix en promedio para la concentración de azúcares de esta variedad y en el plano internacional hay trabajos realizados por autores como Channappagoudar *et al.*, (2007) y Abd El-Razek y Besheit (2009) que reportan hasta 16.3 Brix en sus respectivos trabajos de investigación y otros autores como Rajendran *et al.*, (2000) que reportan hasta 21 Brix en estudios realizados con sorgo dulce. Una de las razones por la cual se obtuvieron estos valores aceptables es la expresión genética de los genotipos utilizados en este estudio y como ejemplo podemos citar a los machos FAUANL-4, FAUANL-5 y Kansas Collier, que en su condición de progenitores masculinos al cruzarse con las hembras que estas no son específicamente de sorgo dulce más bien han

demostrado ser buenas progenitoras en híbridos de sorgo de grano pero al realizar los cruzamientos se incrementó los valores de Brix por las condiciones del vigor híbrido que se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos y esto es de acuerdo con Reddy *et al.*, (2005) que en un estudio realizado para determinar el potencial del sorgo dulce para bioetanol mencionaron que la probabilidad de producción de alto rendimiento de azúcar en los híbridos es significativamente mayor si ambos padres del híbridos o al menos el progenitor masculino son ricos en azúcar y en este trabajo de investigación se aplica la segunda opción.

En la región donde se realizó el estudio los primeros registros de valores de Brix en trabajos de investigación corresponden a Butrón (2006) en trabajos realizados en una serie de sorgos forrajeros durante los años 1995 y 1996. En este trabajo se incluyeron líneas e híbridos de sorgo forrajero y se registró un rango de 11 a 25 Brix en Marín, Nuevo León y en estudios realizados en los años antes mencionados en General Escobedo, Nuevo León el rango fue de 9 a 19.5 Brix la diferencia de la investigación con la que se realizó en este trabajo radica en que los materiales utilizados en el anterior trabajo son de características de más producción de biomasa para alimento animal (forraje) y en nuestro caso el enfoque es en la concentración de azúcares en los tallos del sorgo dulce para producción de bioetanol; además de que en los años que se realizó el trabajo anterior no se había considerado al sorgo para

biocombustibles, esto se debe a que el uso de energías renovables se ha incrementado en la última década por el agotamiento de los recursos petroleros.

El mejor periodo de mayor acumulación de azúcares fue en Brix Muestreo 3 (14 días después de la floración) donde los híbridos tuvieron una ventaja en la concentración de azúcares en comparación con sus progenitores y esto se demostró con la precocidad de los híbridos que en su mayoría presentan la mayor concentración de azúcares en el periodo de 14 días después de la floración y nuestros genotipos progenitores en su mayoría tuvieron su mayor concentración en el periodo de madurez, Channappagoudar *et al.*, (2007) en resultados obtenidos en trabajos realizados con líneas de sorgo dulce mencionan que el escenario más adecuado para los valores más altos de Brix y para obtener un rendimiento aceptable de semilla en las líneas es el estado de madurez fisiológica; esto en el caso de los materiales de doble propósito, es decir, producción de jugo de los tallos y producción de semilla.

En el caso de este trabajo de investigación, la formación de híbridos se enfocó en la concentración de azúcares y posteriormente los híbridos van a ser evaluados en cuanto a la producción de jugo que también es una característica necesaria que debe tener el sorgo dulce para ser utilizado como materia prima ya que es el jugo que contiene los azúcares que es sometido bajo el proceso de fermentación para la producción de bioetanol. En el caso de los materiales de doble propósito (azúcares y semilla) hay competencia entre el llenado de grano

y la concentración de azúcares, Gutjar *et al.*, (2010) hacen mención que la competición entre el llenado del grano y la acumulación de azúcares es importante pero que eso no puede representar un límite fisiológico o genético. Como se ha mencionado anteriormente una de las características del sorgo dulce es la baja cantidad de semilla que se produce debido a que concentra más energía en la acumulación de azúcares en el jugo de los tallos que en el llenado del grano.

Al mencionar las características de altura de planta y diámetro del tallo la observación realizada en este trabajo de investigación es que los genotipos con un tallo delgado y mayor altura presentaron buenas condiciones de concentración de azúcares y contenido de jugo, no así los genotipos de porte más bajo y mayor grosor de tallo que no tuvieron buena concentración de azúcares y en algunos casos ausencia de jugo pero presentaron un mayor peso fresco. Autores como Guiying *et al.*, (2000) menciona que en la herencia de sorgo para carácter altura, el tallo alto es dominante sobre el tallo enano, es decir, cruzando una variedad tallo alto con una de tallo bajo dará como resultado un híbrido alto; además menciona que la heterosis fuerte para la altura de tallos se puede encontrar en la generación F1. House (1982) menciona que el carácter planta alta es parcialmente dominante al de planta baja y los híbridos altos se pueden producir a partir de padres más bajos y en este caso los híbridos obtenidos se apegan a lo que mencionan Guiying y colaboradores ya que en la formación de dichos híbridos se utilizaron hembras

de porte bajo y machos de porte alto y como resultado los híbridos superaron a sus progenitores en el carácter altura.

Los híbridos presentaron una precocidad notoria en relación a sus progenitores en la mayoría de las variables en estudio, tal es el caso de días a floración en el cual se presenta de dos a tres días de precocidad con respecto al progenitor más precoz y en algún caso muy aislado en los híbridos se presentó un efecto tardío de la floración con respecto a su progenitor.

En una comparación del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-4 que registró 61.66 días a floración y 20.1°brix y del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-5 que registró 62 días a floración y 19.8°brix con los híbridos de sorgo dulce producidos en el ICRISAT en la India que son el híbrido ICSA 749 x SSV 74 que tuvo 85 días a floración y 18.00°brix y el híbrido ICSA 511 x SSV 74 registra 88 días a floración y 17.97°brix (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007) se puede notar que para las variables mencionadas en dicha comparación los híbridos de esta investigación presentaron una mejor acumulación de azúcares y una mayor precocidad, y es necesario nuevamente mencionar que la comparación de nuestros genotipos con los de otros países y en condiciones ambientales diferentes a las que imperan en nuestro país es por la nula información sobre genotipos de sorgo dulce existentes en México.

Respecto a las hembras que se utilizaron en esta investigación la que procreó híbridos con una mayor concentración de azúcares fue la hembra FAUANL-33A y en menor medida la hembra FAUANL-35A, y el caso de la hembra FAUANL-34A fue en menor escala esto pudiera atribuirse a que esta hembra tuvo menos cruzamientos que las anteriores y esa manera no demostró su potencial para procrear híbridos y otra situación que se puede atribuir es que no tuvo una sincronización adecuada con los machos para tener un mayor número de cruza. El efecto que se presentó en este trabajo es la influencia de las características de los progenitores masculinos hacia los híbridos.

Los valores de heterosis y heterobeltiosis obtenidos en este estudio no fueron muy altos de lo esperado ya que en algunos casos los híbridos presentaron valores negativos y los que presentaron valores positivos no fueron muy altos pero son aceptables esto se puede atribuir a algunas situaciones como el que mencionan Pfeiffer *et al.*, (2010) que la heterosis está bien establecido en grano y sorgo forrajero y que los informes de la heterosis en el sorgo dulce se limitan a los resultados de híbridos de sorgo x sorgo dulce. La ventaja de utilizar híbridos de sorgo dulce para producir bioetanol es porque presentan heterosis para rendimiento de tallos, jugo y azúcares, madurez temprana y previsible y una mayor estabilidad en comparación con las variedades (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007).

De manera general se puede mencionar que los valores superiores y mayor amplitud que se presentaron en heterosis y heterobeltiosis se pueden atribuir a la diversidad de las líneas que intervinieron en los cruzamientos como lo mencionan Orozco y Mendoza (1983) quienes observaron que la heterosis en el rendimiento de híbridos de sorgo evaluados tuvo una gran variación en los porcentajes obtenidos y estas variaciones se atribuyeron a la variabilidad de las líneas utilizadas en los cruzamientos.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Para el objetivo 1: Los híbridos presentaron su mayor concentración en °Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez. Los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 presentaron las mayores concentraciones en cuanto a contenidos de azúcares (°Brix).

Para el objetivo 2: La hembra FAUANL-33A demostró en este estudio que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruzas con machos de altos contenidos.

Para el objetivo 3: La heterosis se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos la cual se refleja en la concentración de azúcares en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier.

VII. RECOMENDACIONES

Seleccionar a la hembra FAUANL-33A por su condición de producir buenos híbridos al cruzarla con machos de sorgo dulce.

Realizar un seguimiento a los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 para evaluarlos en condiciones adecuadas de fertilización, humedad, etc. para que expresen su máximo potencial y ser utilizados para la producción de bioetanol.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

Aburto, J.; T. Martínez; F. Murrieta. 2008. Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulosicos. Tecnología, Ciencia, Educación (IMIQ). Enero-Junio, 23(1): 23-30.

Abd El-Razek A. M. and S.Y. Besheit. 2009. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) varieties for syrup and ethanol production in Egypt. Sugar Tech (2009) 11(3): 239-245

Ali M. L., J. F. Rajewski, P. S. Baenziger, K. S. Gill, K. M. Eskridge, I. Dweikat 2008. Assessment of genetic diversity and relationship among a collection of US sweet sorghum germplasm by SSR markers. Mol Breeding 21:497–509

Almodares A., R. Taheri and S. Adeli. 2007. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars and lines. Journal of Environmental Biology. 28(3) 527-531.

_____, M. R. Hadi and H. Ahmadpour. 2008. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under different salinity levels. African Journal of Biotechnology, 7 (22) 4051-4055.

_____. and M. R. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (9), pp. 772 – 780.

Al-Zuhair S. 2007. Production of biodiesel: Possibilities and challenges. Biofuels, Bioprod. Bioref. 1:57–66 (2007).

Asociación de productores de energías renovables (APPA). 2006. El biodiesel y el bioetanol, cada vez más, una opción rentable. Vida Rural, Núm. 232: 35-37.

Budak H.; L. Cesurer; Y. Bölek; T. Dokuyucu; A. Akkaya. 2002. Understanding of Heterosis. KSU J. Science and Engineering 5(2) 2002.

Butrón R. J. 2006. Potencial de rendimiento forrajero. Componentes de varianza genética y heterosis en cruizas de sorgos tropicales y templados. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N.L. 161 pág.

Castillo G. F. 1980. El rendimiento de grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) su relación con los periodos del desarrollo y otros caracteres, efecto de aptitud combinatoria. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Chandel A. K., Chan ES, R. Rudravaram, M. Lakshmi N., L. V. Rao and P. Ravindra. 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review* Vol. 2 (1), pp. 014-032

Channappagoudar B. B.; N. R. Biradar J. B. Patil and S. M. Hiremath. 2007. Assessment of Sweet Sorghum Genotypes for Cane Yield, Juice Characters and Sugar Levels. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20 (2): (294-296).

Demirba A. 2005. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 27: 327-337.

Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development. Theory and technique. Iowa State University. Macmillan Publishing Company.

Fonseca S. and F. L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*. 8: 85-88.

Guiying L., G. Weibin, A. Hicks and K. R. Chapman. 2000. A training manual for Sweet Sorghum. FAO/CAAS/CAS. Bangkok, Thailand. <http://agris.fao.org/2000>

Gutjar S., A. Clement-Vidal, G. Trouche, M. Vaksman, K. Thera; N. Sonderegger, S. Braconnier, M. Dingkuhn and D. Luquet. 2010. Functional

analysis of sugar accumulation in sorghum stems and its competition with grain filling among contrasted genotypes. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Hongtu, M.A., Xide, Xu. And Xiuying, Hua. 1990. Inheritance of sugar content in juice of sorghum stalks. *Sorghum News letter*, 31:29.

House L.R. 1982. El sorgo, guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma Chapingo. México. 425p.

INIFAP. 2010. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. www.inifap.gob.mx

Jianliang Yu; Jing Zhong; Xu Zhang and Tianwei Tan. 2010. Ethanol Production from H₂SO₃-Steam-Pretreated Fresh Sweet Sorghum Stem by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Appl Biochem Biotechnol* (2010) 160:401–409.

Jingyang BAN; Jianliang YU; Xu ZHANG; Tianwei TAN. 2008. Ethanol production from sweet sorghum residual. *Chem. Eng. China*, 2(4): 452–455.

Kambal, A.E. and O.J. Webster. 1966. Manifestations of hybrid vigor in grain sorghum and the relations among the components of yield, weight per bushel and height. *Crop Sci.* 6:513-515.

Kirby, J.S. y R.E. Atkins 1968. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain Sorghum, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Crop Sci. 8:335-339.

Márquez S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II. Teoría, métodos y resultados. AGT EDITOR. México, DF. 665 p.

Miller A.N. and M. J. Ottman. 2010. Irrigation Frequency Effects on Growth and Ethanol Yield in Sweet Sorghum. Agronomy Journal.102:60–70 (2010).

Niehaus M. H. and R. C. Pickett. 1966. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. Crop Science. 6: 33-39.

Orozco M. F. J, L. E. Mendoza O. 1983. Comparación de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y alguno de sus progenitores. Agrociencia. 53: 87-97.

Parvez S. 2006. Recent advances in understanding genetic basis of heterosis in rice (*Oriza sativa* L.). Revista UDO Agrícola 6 (1): 1-10

Pfeiffer T. W., M. J. Bitzer, J. J. Toy, and J. F. Pedersen. 2010. Heterosis in Sweet Sorghum and Selection of a New Sweet Sorghum Hybrid for Use in Syrup Production in Appalachia. Crop Science. 50:1788–1794

Rajendran C., K. Ramamoorthy and S. Backiyarani. 2000. Effect of Deheading on Juice Quality Characteristics and Sugar Yield of Sweet Sorghum. *J. Agronomy & Crop Science* 185: 23-26.

Reddy B. VS.; S. Ramesh; P. S. Reddy; B. Ramaiah; P.M. Salimath and R. Kachapur. 2005. Sweet sorghum – A potential alternate raw material for bioethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46:79–86.

Revista Claridades Agropecuarias. 2007. Biodiesel: Combustible del futuro. Núm. 163: 3-12. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

_____. 2007. Los bioenergéticos, una visión integral. Núm. 169: 73-74. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

Riccelli M., Luna G., Sequera P. 1977. Creación de los primeros híbridos venezolanos de sorgo granífero. *Agronomía tropical*. 27(1): 49-68.

Ritter K. B., C. L. McIntyre, I. D. Godwin, D. R. Jordan, S. C. Chapman. 2007. An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers. *Euphytica*, 157:161–176.

_____.; D. R. Jordan; S. C. Chapman; I. D. Godwin; E. S. Mace and C. L. McIntyre. 2008. Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet 3 grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. Mol Breeding (2008) 22:367–384.

Rodríguez G., A. 2003. Formación de variedades e híbridos de sorgo escobero. www.uaaan.mx/2003.

SAS (Statistical Analysis System). 2000. SAS® Proprietary Software Release 8.0. SAS Inst., Inc., Cary, NC. USA.

Shull G. H. 1948. What is “heterosis”? Genetics. 33:439.

Siri P., G; Ernst O.; Martínez H., M.; S. Albano. 2007. Productividad del sorgo dulce para la producción de etanol según variedad, época de siembra y población en el noroeste uruguayo. www.iica.org.uy/2007

Srinivasa R. P., SS. Rao, N. Seetharama, AV. Umakanth, P. Sanjana Reddy., B. VS Reddy and CLL. Gowda. 2009. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Information Bulletin No. 77. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. www.icrisat.org/2009

_____. P. Sanjana Reddy, K Lavakusa Rao, B. VS Reddy and S. Bracconier. 2010. Identification of mid-season moisture stress tolerant sweet sorghum material. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Stuber, C. W., S. E. Lincoln, D. W. Wolff, T. Helenjaris, and E. S. Lander. 1992. Identification of Genetic Factors Contributing to Heterosis in a Hybrid from Two Elite Maize Inbred Lines Using Molecular Markers. *Genetics*. 132:823-839.

Tsaftaris, S. A. 1995. Molecular Aspects of Heterosis in Plants. *Physiol. Plant*. 94:362-370.

Turgut I., U. Bilgili, A. Duman and E. Acikgoz. 2005. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant*, 55: 236-240.

www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007

www.financierarural.gob.mx/2009

www.icrisat.org/2008

www.sagarpa.gob.mx/2010

Xu, Y. 2003. Developing marker-assisted selection strategies for breeding hybrid rice. *Plant Breeding Reviews*. 23: 73-174.

IX. APÉNDICE

Altura de planta.

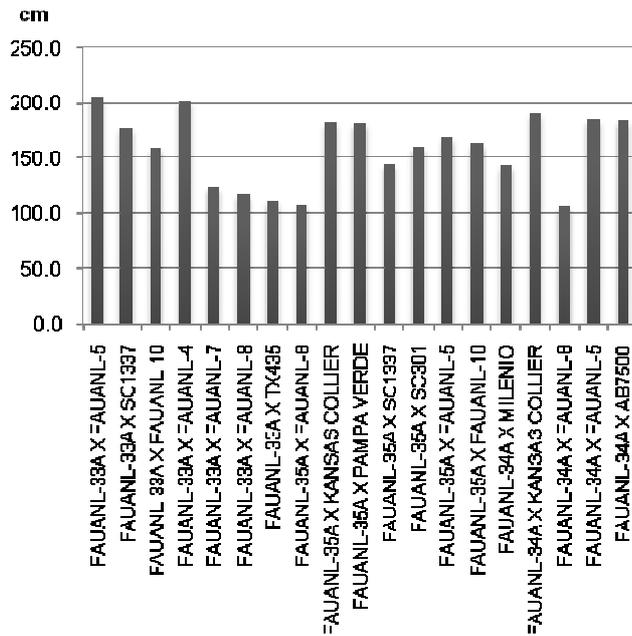


Figura 6. Altura de la planta (ALT PL) en los híbridos.

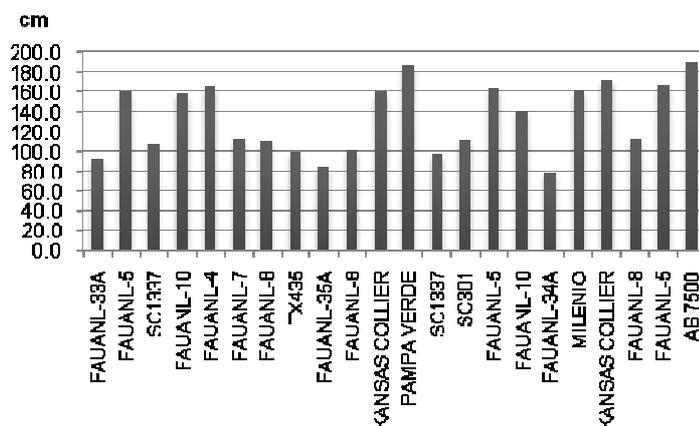


Figura 7. Altura de la planta (ALT PL) en los progenitores.

Diámetro de tallo.

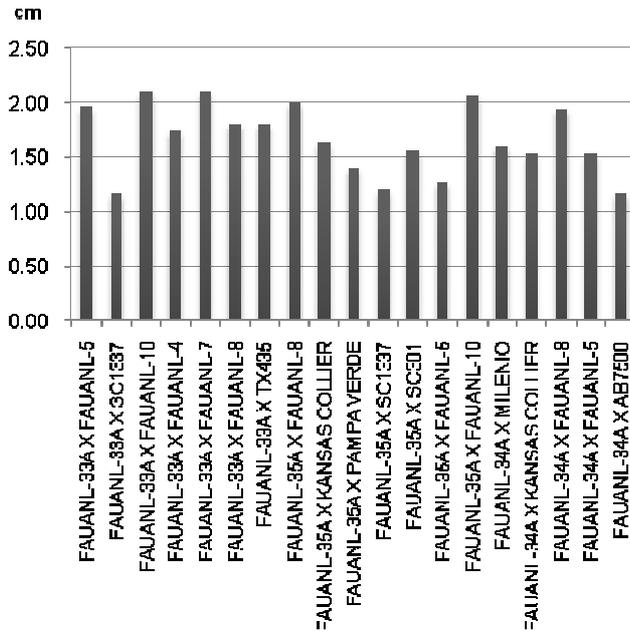


Figura 8. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los híbridos.

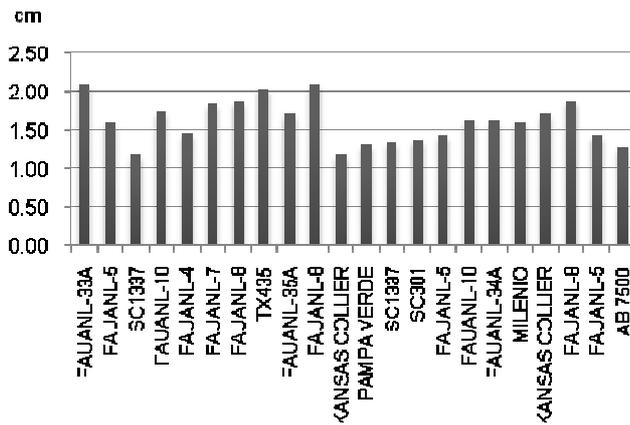


Figura 9. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los progenitores.

Días a floración.

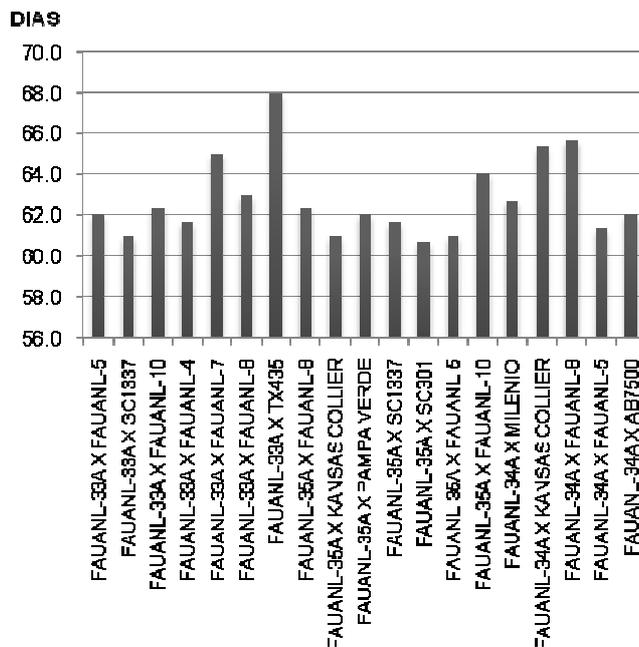


Figura 10. Días a floración (DIAS FLOR) en los híbridos.

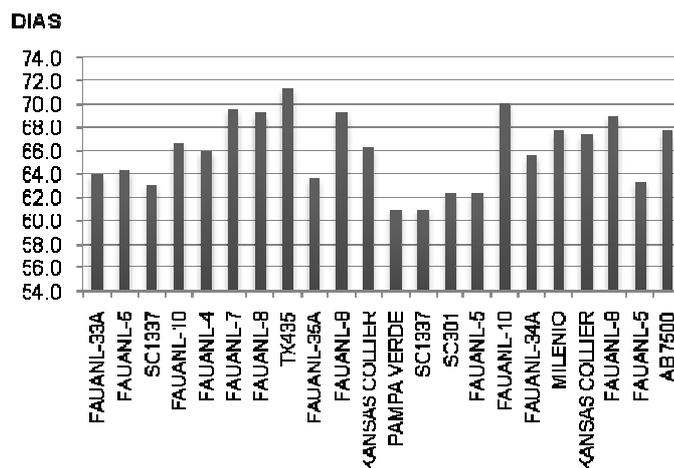


Figura 11. Días a floración (DIAS FLOR) en los progenitores.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA
PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE
(*Sorghum bicolor* L. Moench)**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

JOSÉ ALONSO YERBES VÁZQUEZ

MARÍN, NUEVO LEÓN

JUNIO DE 2011

La presente tesis titulada “**HETEROSIS EN CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON LA PRODUCCIÓN DE ETANOL EN SORGO DULCE (*Sorghum bicolor* L. Moench)**” fue sometida para su revisión bajo la dirección del Comité Particular indicado, y ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Comité Particular:

Ph.D. Francisco Zavala García
Asesor Principal

Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Coasesor

Dr. Cs. José Butrón Rodríguez
Coasesor Externo

Ph.D. Francisco Zavala García

**Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de
Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León**

Marín, Nuevo León, México. Junio de 2011

DEDICATORIA

Mis padres:

Sra. Enriqueta Vázquez

Sr. Alonso Yerbes

Mis hermanas:

Martha Alicia

Martina Concepción

Clara María

Mi hermano:

Jaime Alberto

Sra. Esthela Kantún

Sr. Evaristo Pacheco

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Comunidad Europea por el apoyo al proyecto SWEET SORGHUM: AN ALTERNATIVE ENERGY CROP donde se realizo el presente trabajo

A la Subdirección de Estudios de Posgrado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su empeño en formar profesionales de alto nivel.

Al Ph.D. Francisco Zavala García por llevar a cabo de buena forma la dirección de este trabajo de investigación y contribuir en mi formación profesional.

Al Ph.D. Ciro G. S. Valdés Lozano por sus aportaciones en este trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos.

Al Dr. Cs. José Butrón Rodríguez por su participación en las correcciones de este trabajo.

Al M.C. Héctor Williams Alanís por sus consejos y sugerencias.

Al Dr. Cs. José Elías Treviño Ramírez un agradecimiento especial por su apoyo desinteresado que me brindó durante el periodo de mi formación profesional.

Al Dr. Juan Antonio Vidales Contreras por su apoyo incondicional y al Dr. Gilberto E. Salinas García por su gran disposición como maestro y compartir conocimientos.

A Javier Sánchez, Rogelio Meza y Eulalio Benavides por su apoyo en el trabajo de campo para llevar a cabo esta investigación.

A María Guadalupe Mireles por su amistad y apoyo.

A mis compañeros: José García, María del Carmen Rodríguez, Uriel Hernández, Rodolfo García, Ángel Pardo, Francisco Piñera, Jesús Olvera, Jessica Rivera, Ariana Torres y Noé Cardona con quienes compartí el periodo de la maestría.

A los maestros del Posgrado en Ciencias Agrícolas de la FAUANL por compartir sus conocimientos y guiarnos en nuestra formación académica.

A todos los que colaboraron desinteresadamente en la realización de este trabajo de investigación, gracias.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Los biocombustibles.....	5
2.1.1 Bioetanol.....	6
2.1.2 Biodiesel.....	9
2.2 El sorgo dulce.....	10
2.3 Hibridación.....	12
2.4 Heterosis.....	12
III. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 Ubicación de la investigación.....	20
3.2 Material genético.....	20
3.3 Análisis estadístico.....	21
3.4 Metodología general.....	23

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.....	23
3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.....	24
3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.....	27
IV. RESULTADOS.....	28
4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.....	28
4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.....	35
4.2.1 Análisis estadístico.....	35
4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.....	47
V. DISCUSIÓN.....	53
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES.....	61
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	62
IX. APÉNDICE.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.....	7
2 Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.....	8
3 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los híbridos.....	9
4 Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los progenitores.....	9
5 Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.....	15
6 Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.....	16
7 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).....	18
8 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).....	19
9 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).....	23
10 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable \bar{B} rix muestreo 1 (\bar{B} RIX M1).....	23
11 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable	

Brix muestreo 2 (BRIX M2).....	33
12 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).....	33
13 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).....	34
14 Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).....	44
15 Estimación de peso fresco en ton ha ⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.....	44
16 Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas	46
17 Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.....	46
18 Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1 Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol.....	8
2. Diseño propuesto para la producción de bioetanol con sorgo Dulce.....	9
3. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	21
4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.....	22
5. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	22
6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.....	25
7. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	27
8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.....	28
9. Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	29
10 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).....	30
11 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M2 (período de floración).....	40
12 Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M2 (período de floración).....	42
13 Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44

14	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M3 (período de 14 días después de la floración).....	44
15	Porcentajes de Brix en híbridos en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
16	Porcentajes de Brix en progenitores en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).....	44
17	Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León en Marín, Nuevo León, se realizó con el fin de obtener híbridos de sorgo dulce con características favorables para la producción de etanol, con alta producción de biomasa y concentración de azúcares en los tallos. Para este propósito en el ciclo primavera de 2009 se seleccionaron tres hembras por su condición de producir buenos híbridos y trece líneas machos de sorgo dulce los cuales tienen la característica de producir una buena cantidad de biomasa, así como una alta concentración de azúcares en sus tallos. Se realizaron las respectivas cruza de los progenitores hembras y machos y los híbridos obtenidos fueron evaluados junto con sus progenitores en el ciclo otoño de 2009. En este ciclo se sembraron híbridos (19) y progenitores (3 hembras y 13 machos), el estudio se dividió en un análisis combinado entre hembras la cual se estableció bajo un diseño de parcelas divididas y un análisis individual de genotipos que se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS. En los resultados obtenidos, la mayoría de los híbridos superaron a sus progenitores en altura y fueron más precoces en la floración que estos, pero en los Brix, en forma conjunta, no demostraron superioridad en relación a los progenitores. Los promedios más altos para Brix lo alcanzaron los genotipos FAUNL-33A x

FAUANL-4 (20.1°Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8°Brix), FAUANL-35A x Kansas Collier (19.6°Brix), FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4°Brix) y FAUANL-34A x Rox Orange (19.0°Brix). Para heterosis, en la variable °Brix M3 los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (-3.3%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). En la heterobeltiosis se presentó el porcentaje más alto en el peso fresco para FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%) en °Brix el mayor valor se presentó en el muestreo 3 (°Brix M3) y fue para el híbrido FAUANL-33A X FAUANL-8 con 21.88 %. En conclusión los híbridos presentaron mayor °Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez; la hembra FAUANL-33A demostró en este estudio, que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruza con machos de altos contenidos. La heterosis se presentó de forma positiva en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier que fueron los sobresalientes en concentración de azúcares.

SUMMARY

This research was conducted in the Campus Marin School of Agronomy of the Universidad Autonoma de Nuevo Leon in Marin, Nuevo Leon, was made to obtain hybrids of sweet sorghum with favorable characteristics for the production of ethanol with high biomass production and concentration of sugars in the stems. For this purpose in the spring 2009 cycle three females were selected for their condition to produce good hybrids and thirteen males sweet sorghum lines which have the characteristic of producing a good amount of biomass and a high concentration of sugars in their stalks. Crosses were made of the respective male and female parents and hybrids were evaluated along with their parents in the fall 2009 cycle. In this cycle hybrids were planted (19) and parents (3 females and 13 males), the study was divided into a pooled analysis between females which was established under a split plot design and analysis of individual genotypes was established under a design of a randomized complete block with three replications in three experiments, each experiment was established according to the hybrids from the three females used as maternal parent. Statistical analysis was performed using SAS. In the results, most hybrids were well above their parents in height and were more precocious flowering of parents, but in degrees brix together showed no superiority in relation to parents the difference was so individual. The highest average in what amounted to °Brix genotypes FAUANL FAUNL-33A x-4 (20.1 °Brix), FAUANL-33A x FAUANL-5 (19.8 ° Brix), FAUANL-35A x Kansas C ollier (19.6 ° Brix) , FAUANL-35A x FAUANL-4 (19.4 °Brix) and FAUANL-34A x Rox Orange (19.0 °

Brix). In the estimation of heterosis in the variable M3 °Brix higher percentages were obtained for genotype x FAUANL FAUANL-35A-10 (36.2% heterosis) FAUANL FAUANL-33A x-4 (22.9%) and FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), while the percentages were negative for genotypes x FAUANL FAUANL-33A-10 (-7.2%), x FAUANL FAUANL-33A-4 (-3.3%). Fresh weight in the highest percentage appeared in FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%). In heterobeltiosis presented the highest percentage in the fresh weight was for x FAUANL FAUANL-35A-10 (229.0%) and more negative for X-34A FAUANL Goals (-35.9%) in °Brix was presented the highest value in the sample 3 (°Brix M3) and was for the hybrid X-33A FAUANL FAUANL-8 with 21.88%. In conclusion, the hybrids had the highest concentration in °Brix in the period 14 days after flowering and parents showed their higher concentration of sugars in the mature period and female-33A FAUANL demonstrated in this study across this female with male high sugar content can be obtained hybrids with high levels of sugars for the production of bioethanol and females FAUANL FAUANL-35A-34A and produced hybrids with acceptable sugar content but this aspect can be improved in crosses with males of high content. Heterosis was presented positively in hybrids x FAUANL FAUANL-33A-4, x FAUANL FAUANL-33A-5-35A and FAUANL x Kansas Collier who were the outstanding concentration of sugars.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido al alto precio del petróleo, la escasez del mismo y la preocupación por la contaminación del ambiente producto de su uso masivo, se está incrementando el uso de fuentes renovables de energía. Como consecuencia, se ha fomentado en años recientes, la producción de fuentes alternativas a los combustibles fósiles. Entre estas fuentes se encuentran los biocombustibles tales como el bioetanol, biodiesel y biogás (Siri *et al.*, 2007). México se ha rezagado en la implementación de un plan energético que considere la utilización de biocombustibles que permita aliviar la constante disminución de las reservas de combustibles fósiles. En el año 2008 se aprobó la Ley de Bioenergéticos que fomenta la utilización del bioetanol en el pool de gasolina nacional con el fin de disminuir el uso de agentes oxigenantes como el éter metilterbutílico (MTBE, por sus siglas en inglés) que ha resultado ser dañino para los ecosistemas, así como reducir la importación de gasolina procedente de los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU) (Aburto, *et al.*, 2008).

Nuestro país tiene un gran potencial para convertirse en un productor importante de biocombustible debido a la diversidad de cultivos y plantas que se pueden aprovechar para la producción de estos; además, hay que mencionar la diversidad de climas con que cuenta nuestro país en el que crecen varias especies de plantas. Entre los cultivos más utilizados a nivel mundial para la

producción de biocombustibles son: La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench), la remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y el Maíz (*Zea mays*); sin embargo, debido a las características que posee el sorgo, como su mayor eficiencia en el uso del agua, por su alto contenido de azúcares y por la duración del ciclo de crecimiento, hacen ver al sorgo dulce como un cultivo con un alto potencial para utilizarse como fuente de azúcares en el proceso para la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005; Almodares y Hadi, 2009).

En México, el sorgo de grano es un cultivo que ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo del sector agropecuario, ocupando el segundo lugar en la producción de granos básicos, solamente después del maíz. Además, es el tercer cultivo con mayor superficie sembrada después del maíz y frijol. Tamaulipas y Guanajuato son los principales estados en producción a Nivel Nacional, en conjunto aportan el 61% de la producción total nacional, lo que equivale a 3.8 millones de toneladas. Sinaloa es el tercer lugar en producción con un volumen de 0.61 millones de toneladas, seguido de Michoacán con 0.50 millones y Nayarit con un volumen de 0.30 millones de toneladas (www.financierarural.gob.mx/2009). Además del sorgo de grano, también está el sorgo escobero (*Sorghum vulgare* var. *Technicum*) el cual a pesar de no ser un cultivo básico, posee potencial económico ya que puede cultivarse en áreas donde otros cultivos no prosperan (Rodríguez, 2003).

También existen variedades de sorgo forrajero y dulce, las cuales tienen la característica de producir grandes cantidades de forraje. El sorgo dulce es una fuente muy eficiente de la bioenergía al igual que el sorgo de grano y escobero, posee el ciclo C4 en el proceso fotosintético en el cual una molécula de sacarosa de almacenamiento, puede ser directamente fermentado; sin embargo existe todavía un potencial alto para incrementar el nivel de azúcares en el jugo del tallo. Por lo tanto, es muy imprescindible formar nuevas variedades e híbridos de sorgo dulce, con alto contenido de azúcar en combinación con otras características agronómicas deseables (Ali *et al.*, 2008). Un aspecto importante en estas variedades e híbridos además de la producción *per sé* de biomasa, es el almacenamiento de azúcares en el jugo de sus tallos que puede llegar hasta los 22°Brix o más, el cual puede entrar directamente en un proceso fermentativo para la producción de alcohol etílico o etanol (Almodares y Hadi, 2009).

En teoría, el 85% del jugo de sorgo dulce es convertido a etanol, o 54.4 L de etanol por cada 100 kg de rendimiento de tallos frescos. Una producción de 50 toneladas de tallo por hectárea puede producir hasta 3451.29 litros de etanol a partir del jugo extraído de los tallos (Almodares y Hadi, 2009).

En México, no hay mucha información generada sobre los materiales genéticos disponibles para la producción de sorgo enfocado a la producción de azúcares pero se ha demostrado en sorgo para grano, que el vigor híbrido o heterosis es un aspecto importante a considerar en la generación de nuevos

genotipos, ya que permiten una mayor expresión de las características de interés. Por tal motivo, los objetivos del presente trabajo son:

1.1 Objetivos.

- 1). Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix en los tallos del sorgo dulce.

- 2). Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

- 3). Evaluar los efectos de heterosis en los caracteres asociados en la producción de bioetanol.

1.2 Hipótesis.

Los cruzamientos entre progenitores con características diferentes para Brix y diámetro del tallo producirán híbridos con altos niveles de heterosis en estas características relacionadas con la producción de etanol.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los biocombustibles.

En la actualidad hay un creciente interés ecológicamente sostenible por los biocombustibles, ha crecido de manera significativa y se han convertido en el inicio de toda una revolución en el mundo, especialmente en países donde la dependencia de petróleo es alta (Chandel *et al.*, 2007). Tanto el bioetanol como el biodiesel que se producen fundamentalmente a base de cultivos agrícolas, están incrementando su participación como generadores de energía; si bien el primero ha tenido un gran auge en Brasil y en Estados Unidos de Norteamérica, el biodiesel ha ido adquiriendo mayor fuerza al paso del tiempo, fomentando con ello el desarrollo de la producción de oleaginosas en muchos países (Claridades Agropecuarias, 2007).

Los biocombustibles se pueden utilizar principalmente como fuente de energía de vehículos a motor y producción de electricidad. Se obtienen a partir de materias primas de origen agrícola, ganadero y desechos orgánicos, los cuales pueden ir sustituyendo de forma parcial o total a los combustibles de origen fósil (Aburto *et al.*, 2008). El incremento de la demanda en el mercado de biocombustibles se puede aprovechar para que la agricultura crezca y que favorezca la creación de empleos, la fijación de la población en las áreas rurales, el desarrollo de industrias y actividades agrícolas y la reducción de la

desertificación de las tierras por medio de los cultivos energéticos (APPA, 2006).

Los biocombustibles se clasifican en varios tipos: La primera son los llamados biocombustibles de primera generación que es el biodiesel producido a partir de semillas de cultivos como la colza, soya, girasol, aceites vegetales, entre otros; el bioetanol que es a base de granos, caña de azúcar, sorgo dulce, etc. Otro tipo son los llamados biocombustibles de segunda generación que se obtiene de materias lignocelulósicas como rastrojos, pastos, hierbas y madera; estas materias primas con escaso valor en la actualidad, pueden aprovecharse en la producción de biocombustibles (Claridades agropecuarias, 2007).

2.1.1 Bioetanol.

El etanol fermentado a partir de fuentes renovables es conocido como bioetanol y es un biocombustible que se obtiene de la fermentación a partir de azúcares, almidón o de fécula a partir de biomasa celulósica. La mayoría de la producción comercial de bioetanol proviene de la caña de azúcar y de la remolacha azucarera, pero también del grano de maíz. Se utilizan como fuentes de energía de combustibles renovables, así como para la fabricación de cosméticos, farmacéuticos, bebidas alcohólicas, etc. (Demirba, 2005).

El etanol a partir de cultivos agrícolas (bioetanol) es de interés a causa de la naturaleza renovable de las materias primas y se puede obtener básicamente a

partir de cuatro grandes grupos de materias primas, según la facilidad de fermentación en el proceso productivo del biocarburante: 1) alcohol etílico, procedente de las industrias vitivinícolas; 2) plantas ricas en azúcares como la caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce, etc.; 3) cereales como el trigo, cebada y maíz; 4) material lignocelulósico como la hierba, madera y celulosa (APPA, 2006).

El etanol producido a partir de jugo de sorgo dulce (etanol a partir de la savia del tallo) es a través de la tecnología de fermentación similar a la melaza proceso basado utilizando la misma infraestructura utilizada para la industria de la caña de azúcar. Los tallos son triturados para extraer el jugo similar a la de caña de azúcar (Srinivasa *et al.*, 2009).

La producción de etanol a partir de biomasa se pueden resumir brevemente en los siguientes pasos: 1) Despolimerización del sustrato monomérico de la holocelulosa fermentable, 2) la fermentación de los sustratos despolimerizados, y 3) la destilación del caldo de fermentación para la obtención de etanol deshidratado. En el caso de la bioconversión de la lignocelulosa en etanol consiste en las siguientes operaciones básicas principales: 1) Pretratamiento, 2) Hidrólisis, 3) Fermentación y la separación del producto y 4) Destilación (Figura 1) (Chandel *et al.*, 2007).

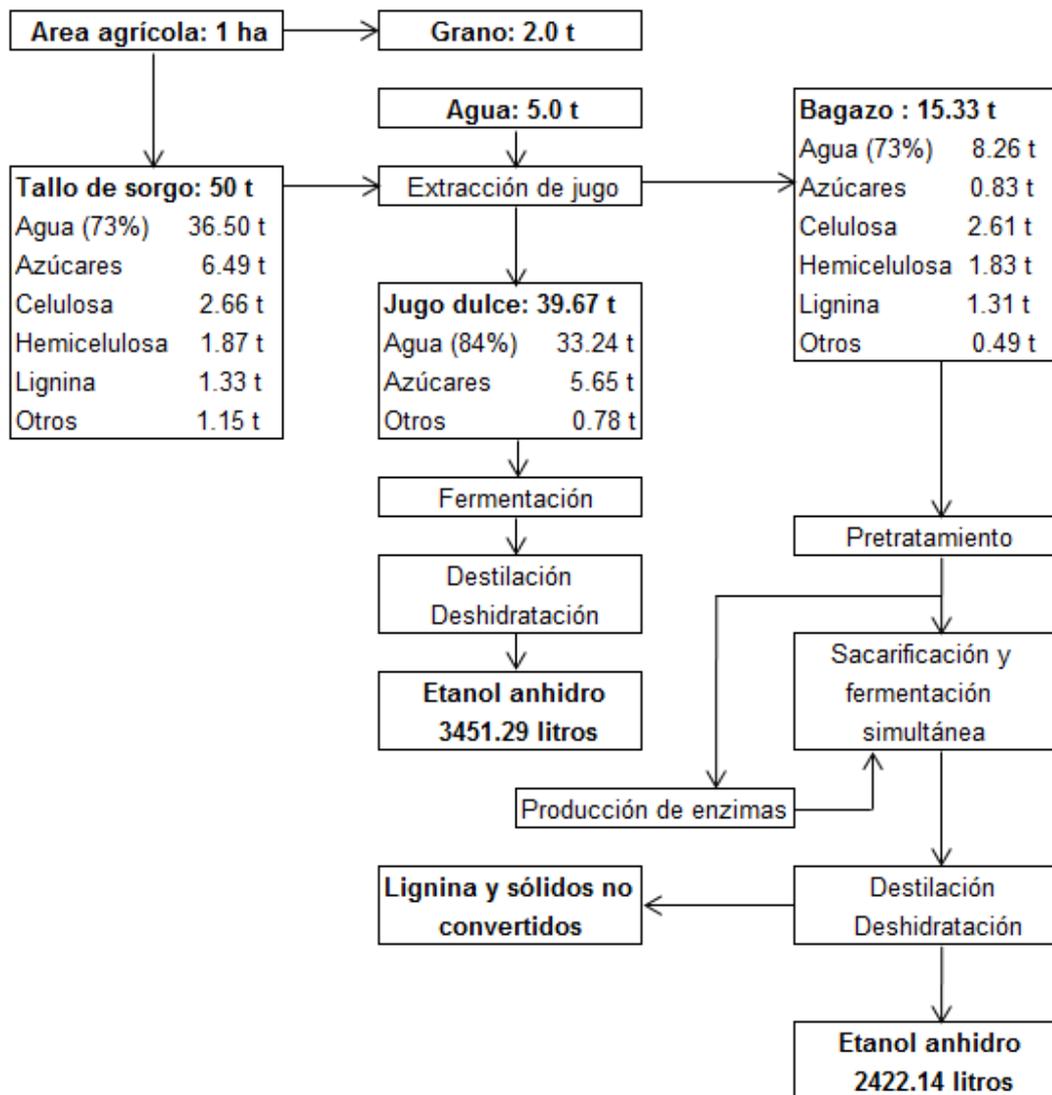


Figura 1. Balance de masa de la extracción de jugo de sorgo dulce y la producción de bioetanol (Almodares y Hadi, 2009).

El bioetanol a partir de sorgo dulce ha sido considerado como un combustible alternativo en el futuro. El jugo que se extrae del sorgo dulce tiene una alta concentración de sacarosa que puede ser utilizado directamente como medio de fermentación para la producción de bioetanol (Jingyang *et al.*, 2008).

aceites vegetales con metanol (o etanol) (Claridades Agropecuarias, 2007). El biodiesel tiene muchas ventajas como la energía renovable que incluyen los recursos que se derivan de una fuente renovable, recursos internos, aliviando así la dependencia de petróleo fósil, es biodegradable y no tóxico. Además, en comparación con el diesel derivado del petróleo, el biodiesel tiene un perfil más favorable de emisiones de combustión, tales como las bajas emisiones de monóxido de carbono, partículas y los hidrocarburos no quemados. Además, el uso de biodiesel a gran escala es promover las siembras de los cultivos utilizados para producir su materia prima. Ello se traduciría en más CO₂ reciclado mediante la fotosíntesis, minimizando así el impacto en el efecto invernadero. El biodiesel tiene un punto de inflamación relativamente alto (150°C), que hace que sea menos volátil y más seguro en su transporte y su manejo que el diesel del petróleo (Al-Zuhair, 2007).

2.2 El sorgo dulce.

El sorgo dulce crece en ambientes extremos, es un cultivo que permite obtener alimento, forrajes y combustible a bajo costo y es una buena opción como cultivo alternativo (Srinivasa *et al.*, 2010). Algunos países ya utilizan sorgo dulce como principal materia prima para la producción de bioetanol, en países como la India el costo de producción de un galón de bioetanol a partir de sorgo dulce es de 1.74 USD, en comparación con los 2.12 USD del maíz y los 2.19 USD de la caña de azúcar. Actualmente, centros de investigación como el International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT)

trabajan en el desarrollo de variedades de sorgo dulce insensibles al fotoperiodo y a la temperatura (www.icrisat.org/2008).

El sorgo dulce es similar al sorgo de grano, con un crecimiento rápido, alta producción de biomasa y una mayor capacidad de adaptación y se sabe que tienen un gran potencial en la producción de bioetanol (Reddy *et al.*, 2005); su productividad de bioetanol es alta, de 3,500 l ha⁻¹ a 5,600 l ha⁻¹, y tiene una menor necesidad de fertilizantes nitrogenados y agua en comparación con otros cultivos tradicionales como el maíz (Jianliang *et al.*, 2010); Además, es un cultivo C4 y tiene una elevada eficiencia fotosintética, con ello desempeña un papel fundamental en la concentración de azúcares (Almodares y Hadi, 2009). Las variedades de sorgo dulce acumulan de 10 a 25% de azúcar en el jugo del tallo y expresando sus máximos valores cerca del momento de la madurez del grano. La glucosa y la fructosa son los azúcares reductores predominantes en el jugo y la sacarosa es el disacárido predominante (Ritter *et al.*, 2008).

Los hidratos de carbono que están presentes en el sorgo dulce, pueden ser no estructurales como los azúcares y el almidón, o de sustancias estructurales, tales como celulosa, hemicelulosa y pécticas, las cuales se concentran en el tallo (sacarosa y azúcar invertido); estos son aptos en la producción de bioetanol para biocombustible debido a que estos hidratos de carbono son fácilmente convertidos (Almodares y Hadi, 2009). Sin embargo, en México no

existen variedades mejoradas específicamente seleccionadas por su producción de azúcares.

2.3 Hibridación.

En la hibridación se aprovecha la generación F_1 proveniente del cruzamiento entre dos progenitores (Márquez, 1988). En el sorgo, los híbridos que se forman son de cruce simple utilizando tres líneas que se denominan A, B y R. Las líneas A y B son isogénicas y solo difieren en que la línea A es androestéril y la B es androfértil. Las líneas R son capaces de restaurar la fertilidad en el híbrido de la cruce A x R, por lo que las líneas A y R se seleccionan por su aptitud combinatoria para la expresión del vigor híbrido o heterosis en caracteres tales como rendimiento y otros agrónomicamente deseables (crecimiento, tamaño, vigor en general) (Castillo, 1980; House, 1982). Uno de los propósitos de formar híbridos es precisamente el explotar la heterosis o vigor híbrido que se presenta al cruzar dos líneas homocigóticas (Orozco y Mendoza, 1983).

2.4 Heterosis.

La base genética de la heterosis ha sido un tema de arduo debate desde hace casi un siglo y sigue siendo un misterio. Los trabajos realizados han tenido el principio de extender sus suposiciones basadas en modelos de genética cuantitativa pero con los avances en genética molecular, ha sido posible estudiar este fenómeno de una manera más refinada. De hecho, los estudios recientes en el maíz y el arroz para intentar una interpretación de la heterosis se

han facilitado en gran medida por marcadores moleculares (Parvez, 2006). Los datos generados a partir de marcadores ofrecen un perfil impecable de regiones genómicas involucradas en la expresión característica y se espera descifrar la base inexplicable de la heterosis. Con la llegada de la tecnología del ADN recombinante y marcadores moleculares, las investigaciones de la heterosis son cada vez más avanzadas e informativas que las del pasado y se basan en la evidencia científica más precisa (Tsaftaris, 1995).

La mayoría de las investigaciones recientes de la heterosis utilizan marcadores moleculares y QTL (loci de caracteres cuantitativos) de los análisis. Una abundancia de marcadores moleculares basados en el ADN presente en muchas especies de plantas permite la identificación de las relaciones entre los marcadores y rasgos fenotípicos, como la heterosis, que son la segregación de una determinada población (Stuber *et al.*, 1992).

Estudios realizados anteriormente por diferentes autores, proponen dos posibles mecanismos de la heterosis: La hipótesis de la dominancia y la hipótesis de la sobredominancia. En teoría, los dos conceptos se basan en dos fenómenos genéticos diferentes, pero en la mayoría de las situaciones dan expectativas similares (Parvez, 2006). En ambos casos, conduce a una disminución en vigor por la endogamia, al mismo tiempo que el cruzamiento conduce al incremento de su vigor. En el caso de los dos conceptos de dominancia y el exceso de posición dominante, la disminución en el vigor es

proporcional a la disminución de la heterocigosidad con independencia del número de alelos dominantes y recesivos y el grado de dominancia. Según Xu (2003), el rendimiento y sus componentes son caracteres complejos, y que la heterosis debe ser genéticamente controlado por muchos genes.

Shull (1948) fue el primero en tener un concepto claro del vigor híbrido; además, se le atribuye el haber acuñado el término de “heterosis”, el cual utilizó por primera vez en 1914. Las características de la heterosis son: Un mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a enfermedades y a plagas; todo esto se manifiesta en la progenie de los organismos cruzados al compararse con los organismos endogámicos (Márquez, 1988). La heterosis se expresa cuando los progenitores de un híbrido poseen diferentes alelos en un locus y existe algún nivel de dominancia entre los alelos (Fehr, 1987).

La heterosis en sorgo se observó y describió antes de que se vislumbrara la posibilidad de explotar el vigor híbrido a escala comercial. Resultados publicados por diversos autores mencionan que el vigor híbrido no se manifestó solamente en el rendimiento, otros caracteres fueron de igual manera impactados (mayor crecimiento vegetativo, mayor número de hijuelos, hojas de mayor superficie, mayor tamaño de las panículas, y mayor altura (Ricelli *et al.*, 1977).

Kirby y Atkins (1968) mencionaron que los híbridos se caracterizan por una floración temprana, una mayor altura, tallos y hojas más grandes que incrementaron la productividad del grano y forraje. Kambal y Webster (1966) reportaron que el contenido de proteína del grano es menor en los híbridos que en las líneas parentales (heterosis negativa). Hongtu *et al.* (1990) reportaron valores negativos de heterosis para contenido de azúcar en el jugo del tallo del sorgo, sugiriendo que los genes que controlan el bajo contenido de azúcar son parcialmente dominantes o manifiestan efectos de aditividad.

Aunque la heterosis en sorgo ha sido estudiada en detalle, la mayoría de la información proviene de sorgo para grano y forraje. Sin duda, los experimentos futuros se acercarán más al fenómeno de la heterosis utilizando nuevas herramientas de tecnología avanzada; además, deben ser cuidadosamente diseñados para proporcionar una mayor evidencia del mecanismo de la heterosis y se espera que estos experimentos tengan como base el conjunto de conocimientos hasta ahora sobre la heterosis (Budak *et al.*, 2002).

En nuestro país, la información acerca del potencial de las variedades de sorgo dulce para la producción de biocombustible (etanol), así como los posibles valores de heterosis que pueden registrarse es escaso pero a nivel mundial se han realizado trabajos de investigación en sorgo dulce en diferentes países como los siguientes:

Rajendran *et al.* (2000) realizaron trabajos en la India y al momento de la cosecha se determinaron características de calidad, rendimiento de azúcar y jugo, los resultados mostraron aumentos significativos en los rendimientos de tallos y azúcar comparados con los testigos; también se incrementó la materia seca y la generación de tallos secundarios y la cantidad de jugo extraído, pero la sacarosa, los Brix y grados de pureza se redujeron en comparación con las plantas intactas.

Turgut *et al.* (2005) de la Universidad de Uludag en Turquía, estudiaron la producción de sorgo dulce aumentando la densidad de plantas y los niveles de fertilización con nitrógeno. Utilizaron cinco plantas dentro de cada distancia (5, 10, 15, 20 y 25 cm) y cinco dosis de fertilización con nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹ en condiciones de riego; y entre los resultados, los rendimientos más altos en forraje y materia seca se obtuvieron a partir de los 5 a 10 cm de distancias dentro de la fila con un promedio de 82.9 t ha⁻¹ de forraje y 30,5 t ha⁻¹ de materia seca. El rendimiento de grano fue de 3.15 y 4.53 ton ha⁻¹ y el mayor rendimiento se obtuvo de la combinación 10/20 cm de separación dentro de la fila y 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno. En este estudio los autores demostraron que el sorgo dulce tiende a producir más forraje y rendimiento de materia seca cuando se fertiliza con altos niveles de Nitrógeno.

Almodares *et al.* (2007) realizaron estudios de la interrelación entre el análisis del crecimiento y el contenido carbohidratos en líneas de sorgo dulce

en la Universidad de Isfahan, en Irán, encontrando que excepto en la etapa de madurez, las correlaciones entre el Índice de área foliar (IAF), la Tasa de asimilación neta (TAN) y la Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) con el contenido de sacarosa y azúcares totales fueron positivos y los azúcares invertidos (glucosa, fructosa, maltosa y xilosa) fueron negativos. La relación indica que a medida que la planta crece la cantidad de sacarosa y los azúcares totales se incrementa, mientras que la cantidad de azúcares invertidos disminuye. La relación entre los azúcares invertidos, incluida la glucosa, fructosa, maltosa y xilosa en la etapa de masa dura del grano con el IAF, TAN y TCC fueron negativos.

Channappagoudar *et al.* (2007) evaluaron en la India genotipos de sorgo dulce para el rendimiento del tallo, características del jugo y niveles de azúcar, obteniendo resultados en los genotipos de alto rendimiento SSV-74, SSV-7073, 12611 y SSV-53-SSV que registraron alto porcentaje de jugo extraíble y los genotipos SSV-7073, SSV-74 y Río registraron un alto porcentaje de Brix.

Ritter *et al.* (2007) evaluaron la relación genética entre el sorgo dulce y el sorgo de grano usando marcadores AFLP (Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados). Al realizar la comparación de 35 sorgos dulces y 64 de grano que se proyectaron con 227 marcadores AFLP, los grupos que obtuvieron no se definieron claramente sobre la base de la clasificación racial, las líneas de sorgo dulce a menudo se agrupan con los sorgos de grano de

origen racial similar, lo que indica que el sorgo dulce es de origen polifilético en *S. bicolor ssp. bicolor*.

Almodares *et al.* (2008) estudiaron el rendimiento de los tallos de sorgo dulce y carbohidratos solubles bajo diferentes niveles de salinidad utilizando dos variedades (Keller y Sofra) y una variedad de sorgo de grano (Kimia) que se sembraron en invernaderos en cuatro niveles de salinidad (2, 4, 8, y 12 dSm⁻¹). Los resultados mostraron que en la más alta concentración de sales (12 dSm⁻¹), Keller mostró una reducción del rendimiento de sus tallos (menos del 1%) y mayor contenido de sacarosa, mientras que Kimia tuvo la mayor reducción del rendimiento de tallos (más del 18%) y menor contenido de sacarosa. Con el aumento de la salinidad, la cantidad de glucosa y fructosa en Keller disminuyó y aumentaron en Sofra. El aumento de la glucosa y la fructosa en Sofra no es una indicación de su tolerancia a la sal. En la etapa de madurez fisiológica, la planta tuvo el más alto rendimiento y el contenido de sacarosa en los tallos al mismo tiempo, tiene el menor contenido de glucosa y fructosa que la etapa de floración. En base a los resultados obtenidos, los autores recomiendan la variedad Keller para ser sembrada en condiciones de salinidad del suelo y su cosecha en la etapa de madurez fisiológica.

Miller y Ottman (2010) de la Universidad de Arizona en Estados Unidos de Norteamérica, realizaron un estudio para evaluar los efectos de la frecuencia de riego sobre el crecimiento de los cultivos y la producción de etanol en sorgo

dulce. Al aplicar diferentes riegos no encontraron una diferencia en la cosecha para la concentración total de azúcar, lo que implica que el estrés hídrico no aumenta la concentración de azúcar en el sorgo dulce.

Pfeiffer *et al.* (2010) realizaron una evaluación en la Universidad de Kentucky (Estados Unidos) de 12 híbridos de sorgo dulce con citoplasma A3 encontrando que los híbridos registraron hasta 20% de azúcar, 18% de biomasa y 20% más de jugo que sus progenitores.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de la investigación.

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), que se localiza en el km 17 de la carretera Zuazua-Marín, en el municipio de Marín, Nuevo León; se ubica geográficamente en las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 02' de longitud oeste, a una altura de 355 msnm, con un clima Acx que se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias escasas todo el año (INIFAP, 2010).

3.2 Material genético.

En el Cuadro 1 se muestran los progenitores femeninos y masculinos los cuales se utilizaron en el ciclo Primavera 2009 para la formación de los híbridos.

Cuadro 1. Líneas utilizadas en el experimento de formación de híbridos, Primavera 2009.

Núm.	Línea hembra (♀)	Núm.	Línea fértil (♂)
1	FAUANL-33A	1	FAUANL-5
2	FAUANL-35A	2	FAUANL-40
3	FAUANL-34A	3	FAUANL-10
		4	FAUANL-4
		5	FAUANL-7
		6	TX435
		7	FAUANL-8
		8	SC301
		9	PAMPA VERDE
		10	KANSAS COLLIER
		11	FAUANL-1
		12	MILENIO
		13	AB7500

En el Cuadro 2 se muestran los híbridos y sus progenitores evaluados en el ciclo Otoño 2009.

Cuadro 2. Híbridos y líneas utilizadas en los experimentos, Otoño 2009.

Núm Híbrido (F ₁)	Núm Línea hembra (♀)	Núm Línea fértil (♂)
1 FAUANL-33A X FAUANL-5	1 FAUANL-33A	1 FAUANL-5
2 FAUANL-33A X FAUANL-40	2 FAUANL-35A	2 FAUANL-40
3 FAUANL-33A X FAUANL-10	3 FAUANL-34A	3 FAUANL-10
4 FAUANL-33A X FAUANL-4		4 FAUANL-4
5 FAUANL-33A X FAUANL-7		5 FAUANL-7
6 FAUANL-33A X TX435		6 TX435
7 FAUANL-33A X FAUANL-8		7 FAUANL-8
8 FAUANL-35A X FAUANL-10		8 SC301
9 FAUANL-35A X FAUANL-5		9 PAMPA VERDE
10 FAUANL-35A X SC301		10 KANSAS COLLIER
11 FAUANL-35A X FAUANL-40		11 FAUANL-1
12 FAUANL-35A X PAMPA VERDE		12 MILENIO
13 FAUANL-35A X KANSAS COLLIER		13 AB7500
14 FAUANL-35A X FAUANL-8		
15 FAUANL-34A X MILENIO		
16 FAUANL-34A X KANSAS COLLIER		
17 FAUANL-34A X FAUANL-8		
18 FAUANL-34A X FAUANL-5		
19 FAUANL-34A X AB7500		

3.3 Análisis estadístico.

El diseño estadístico utilizado para el análisis individual de los genotipos fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

En donde:

μ = media general.

Y_{ij} = respuesta del tratamiento i en ambiente j.

T_i = efecto del tratamiento i.

B_j = efecto del bloque j.

E_{ij} = es el error experimental.

En la comparación entre hembras para el análisis combinado se estableció bajo el método de parcelas divididas y en cual la hembra representa a la parcela grande y los híbridos representan a la parcela chica. Para esto se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_{ij} + \beta_k + (AB)_{ik} + e_{ijk}$$

En donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media general

A_i = Efecto de la parcela grande en su nivel i.

S_{ij} = Error asociado con parcelas grandes E(a)

β_k = Efecto de la parcela chica en su nivel k

$(AB)_{ik}$ = Efecto de la interacción AB al nivel i, k

e_{ijk} = Error aleatorio asociado con parcelas chicas

3.4 Metodología general

La metodología general utilizada fue para los dos ciclos de investigación que fueron de Primavera y Otoño del 2009. En el periodo de investigación del ciclo Primavera 2009 se utilizaron dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2) y la densidad de siembra fue de 4 g por surco de 5 m y se obtuvo una densidad de 10 plantas por metro lineal. El trabajo en campo consistió en la preparación del suelo basado en el barbecho, cruza, nivelación, trazo de las acequias y preparación del riego. La siembra de las hembras de la primera fecha se efectuó el día 31 de Marzo de 2009, la siembra de los machos se realizó el 7 de abril y las hembras de la fecha dos se sembraron el día 8 de Abril con una diferencia de nueve días entre siembras de las hembras. El riego se realizó en cuatro ocasiones, se hizo un aporque y un deshierbe; los cruzamientos entre las hembras y los machos se iniciaron el 7 de Junio.

En el ciclo Otoño 2009 se realizaron las mismas prácticas agrícolas y las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m^2 por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

3.4.1 Metodología para alcanzar el objetivo 1.

La evaluación para alcanzar el primer objetivo se efectuó durante el ciclo de Otoño 2009 y se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea

macho). Para el registro del Contenido de solutos en tallo (% de Brix) se obtuvo una muestra del jugo del tallo y se colocó en el refractómetro y se observó la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares y los muestreos se realizaron de la siguiente manera: 1) En la aparición de la hoja bandera, 2) Floración, 3) 14 días después de la floración y 4) En la madurez.



Figuras 3 y 4. Registro de Brix en el ciclo Otoño 2009.

3.4.2 Metodología para alcanzar el objetivo 2.

En el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos), los genotipos se establecieron en diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en tres experimentos y considerados como ambientes asociados a cada una de las hembras, cada experimento se estableció de acuerdo a los híbridos provenientes de las tres hembras utilizadas como progenitor materno. El experimento 1 se estableció con la hembra FAUANL-33A, el experimento 2 con la hembra FAUANL-35A y el experimento 3

con la hembra FAUANL-34A. Las unidades experimentales utilizadas consistieron en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos (8m² por parcela). Se realizó una fertilización con urea (46-00-00) con una aplicación de 150 g por surco de 5 m y 300 g por parcela.

Para este objetivo se realizó registro de datos en las siguientes variables:

1) Altura de la planta (cm): La medición se considera desde la base de la planta a la punta de la panoja (figura 2).



Figuras 5 y 6. Medición de altura de la planta en el ciclo Otoño 2009.

2) Diámetro del tallo (cm): En la medición se consideró el diámetro del tallo en la altura media del mismo (Figura 3).



Figuras 7 y 8. Medición del diámetro del tallo en el ciclo Otoño 2009.

3) Días a floración (días): Se consideró a partir de la siembra hasta cuando las plantas presentaron el 50 % de las panículas en anthesis.

4) Contenido de solutos en tallo (% de Brix): Se obtuvo a través de una muestra del jugo del tallo y se colocada en el refractómetro y registrando la lectura correspondiente para tener un estimado de la concentración total de azúcares. Los datos para esta variable se registraron en cuatro etapas: 1) a la aparición de la hoja bandera (BRIX M1), 2) floración (BRIX M2), 3) 14 días después de la floración (BRIX M3) y 4) durante la madurez fisiológica del grano (BRIX M4).

5) Peso fresco (g) el cual se registró el peso de 10 plantas, se realizó el cálculo del peso fresco por parcela y posteriormente se realizó la estimación del peso fresco por hectárea con la siguiente fórmula:

$$PFH = \frac{(PP)(AH)}{AP}$$

Donde:

PFH = Peso fresco por hectárea (ton ha⁻¹)

PP = Peso de plantas (10)

AH = Área de una hectárea (10,000 m²)

AP = Área de la parcela (8 m²)

El análisis estadístico se realizó con la versión 8.0 del programa SAS (SAS, 2000).

3.4.3 Metodología para alcanzar el objetivo 3.

Para alcanzar el tercer objetivo de los efectos de la heterosis, en el ciclo Otoño 2009 se sembraron híbridos y progenitores (línea hembra y línea machos) y las estimaciones de los porcentajes de heterosis y heterobeltiosis para las variables en estudio se realizaron en base a las siguientes fórmulas:

$$\text{Heterosis (\%)} = (F_1 - \text{Progenitor medio}) \times 100 / \text{Progenitor medio}$$

(Niehaus y Pickett, 1966).

$$\text{Heterobeltiosis (\%)} = (F_1 - \text{Mejor progenitor}) \times 100 / \text{Mejor progenitor}$$

(Fonseca y Patterson, 1968).

IV. RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo 1. Determinación del mejor periodo de acumulación de Brix.

Para alcanzar este objetivo se procedió a realizar los muestreos de Brix en cuatro periodos del ciclo del cultivo y en los cuales se obtuvieron los promedios que se observan en el Cuadro 3 en el cual se muestra que para los híbridos el mejor periodo de concentración de azúcares fue en el tercer periodo de los muestreos (14 días después de la floración) y para los progenitores el mejor periodo fue el de madurez fisiológica (Cuadro 4).

Cuadro 3. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de Brix en los híbridos.

Núm	Genotipo	BRIX M1	BRIX M2	BRIX M3	BRIX M4
1	FAUANL-33A X FAUANL-5	4.5	11.0	19.8	18.4
2	FAUANL-33A X FAUANL-40	4.4	10.0	17.4	15.9
3	FAUANL-33A X FAUANL-10	4.2	5.4	12.9	14.8
4	FAUANL-33A X FAUANL-4	4.9	9.6	20.1	19.2
5	FAUANL-33A X FAUANL-7	4.3	8.5	13.5	16.1
6	FAUANL-33A X FAUANL-8	5.2	10.6	16.9	15.3
7	FAUANL-33A X TX435	5.5	11.3	15.4	15.0
8	FAUANL-35A X FAUANL-8	5.6	10.9	19.2	17.0
9	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	5.2	10.8	19.6	16.4
10	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	6.2	10.7	16.8	17.5
11	FAUANL-35A X FAUANL-40	7.0	12.2	17.7	17.2
12	FAUANL-35A X SC301	6.7	13.1	17.8	16.4
13	FAUANL-35A X FAUANL-5	6.0	9.8	19.4	18.4
14	FAUANL-35A X FAUANL-10	7.2	9.6	18.4	16.3
15	FAUANL-34A X MILENIO	4.8	9.3	17.7	17.9
16	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	5.2	9.5	18.0	17.7
17	FAUANL-34A X FAUANL-8	5.0	10.7	15.8	15.5
18	FAUANL-34A X FAUANL-5	5.7	10.9	19.0	18.5
19	FAUANL-34A X AB7500	4.7	10.4	17.0	16.4

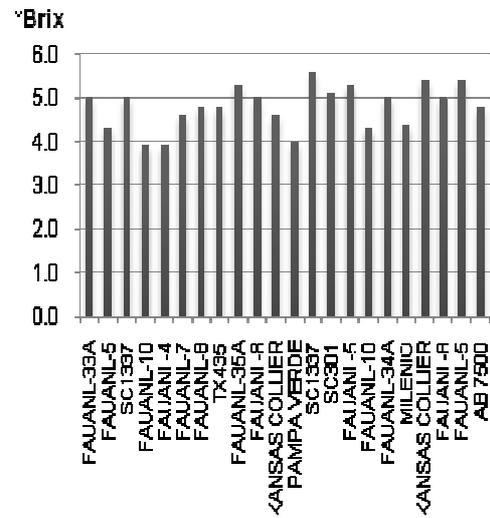
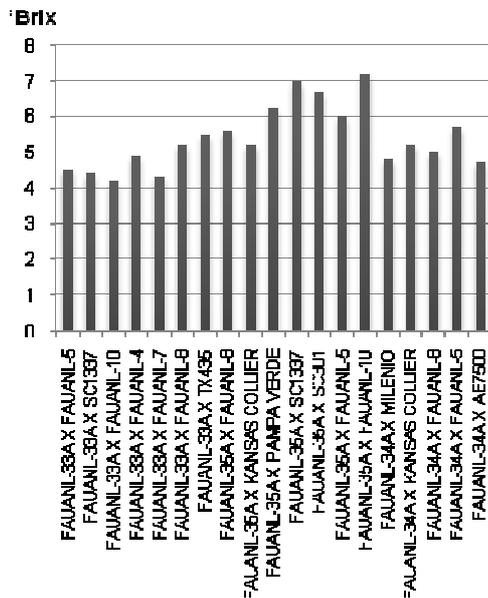
BRIX M1= Hoja bandera, BRIX M2= Floración, BRIX M3= 14 días después de floración, BRIX M4= Madurez fisiológica

Cuadro 4. Promedios obtenidos en los cuatro muestreos para determinación de \bar{B} rix en los progenitores.

Genotipo	\bar{B} RIX M1	\bar{B} RIX M2	\bar{B} RIX M3	\bar{B} RIX M4
FAUANL-33A	5.0	9.8	14.2	14.3
FAUANL-5	4.3	9.5	19.1	19.6
FAUANL-40	5.0	9.8	16.1	15.0
FAUANL-10	3.9	5.1	13.7	13.8
FAUANL-4	3.9	11.0	18.5	19.6
FAUANL-7	4.6	11.6	13.7	15.0
FAUANL-8	4.8	11.8	13.8	14.5
TX435	4.8	12.0	13.4	12.8
FAUANL-35A	5.3	10.6	15.4	16.8
FAUANL-8	5.0	12.2	19.9	16.9
KANSAS COLLIER	4.6	11.4	19.3	19.8
PAMPA VERDE	4.0	9.0	16.6	16.8
FAUANL-40	5.6	11.6	18.4	17.5
SC301	5.1	11.5	17.5	18.2
FAUANL-5	5.3	10.2	19.9	20.5
FAUANL-10	4.3	8.0	11.6	14.0
FAUANL-34A	5.0	11.0	16.5	14.7
MILENIO	4.4	11.7	15.3	16.6
KANSAS COLLIER	5.4	13.1	17.7	17.3
FAUANL-8	5.0	11.3	14.7	16.4
FAUANL-5	5.4	11.9	18.1	20.0
AB 7500	4.8	10.5	15.2	14.5

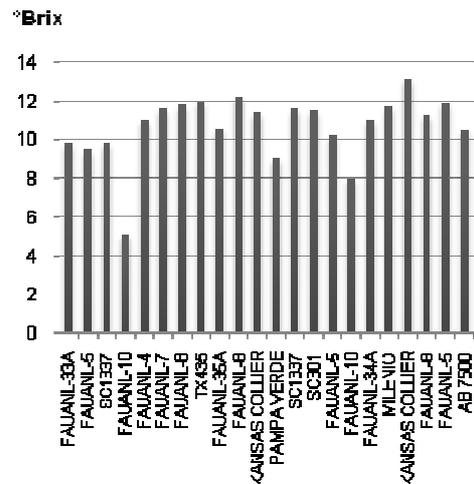
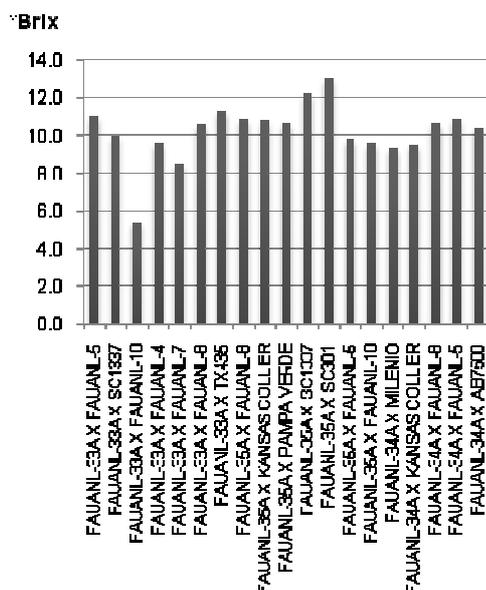
\bar{B} RIX M1= Hoja bandera, \bar{B} RIX M2= Floración, \bar{B} RIX M3= 14 días después de floración, \bar{B} RIX M4= Madurez fisiológica

En la acumulación de azúcares en los híbridos para la variable \bar{B} rix muestreo 1 en hoja bandera que se muestra en la Figura 9 los híbridos presentaron un rango de 4 a 7 \bar{B} rix a excepción de FAUANL-35A x FAUANL-10 (7.2 \bar{B} x) que fue el único genotipo que registró más de 7 \bar{B} rix. La acumulación de azúcares en los progenitores fue más lenta que su descendencia y en la variable \bar{B} rix M1 el rango fue de 3.9 a 5.6 \bar{B} rix (Figura 10).



Figuras 9 y 10. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M1 (período de hoja bandera).

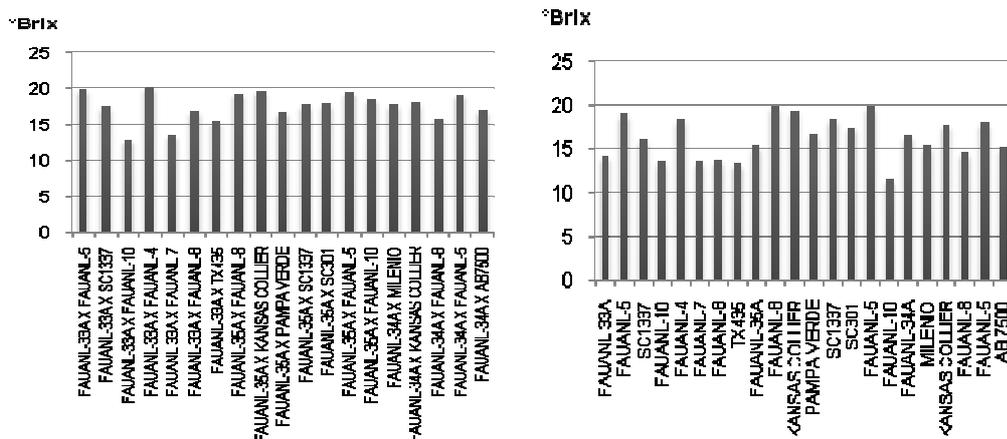
En la variable Brix muestreo 2 en floración (Figura 11) se comenzó a notar el incremento de brix en los híbridos. En este periodo los mayores promedios se registró en los híbridos FAUANL-35A x SC301 (13.1%bx) y FAUANL-35A x FAUANL-40 (12.2%bx). Durante este periodo el rango de brix en los híbridos fue muy amplio ya que se registró a partir de los 5 hasta los 13%brix. Durante este periodo las plantas concentran la mayor parte de su energía en la floración y otra parte en la concentración de brix. Para los progenitores en la variable Brix M2 se presentó un incremento de la concentración de azúcares aunque el rango fue amplio que va de 5.1 a 13.1 %brix (Figura 12).



Figuras 11 y 12. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M2 (período de floración).

El periodo registrado en la variable Brix mue stroe 3 a los 14 días después de la floración (Figura 13) se presentó la mayor expresión de brix en los híbridos y se registraron los promedios más altos en este estudio y destacaron los siguientes híbridos: FAUANL-33A x FAUANL-4 con 20.1 brix, FAUANL-33A x FAUANL-5 con 19.8 brix, FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 brix, FAUANL-35A x FAUANL-5 con 19.4 brix, FAUANL-35A x FAUANL-8 con 19.2 brix y FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19 brix. El rango en esta variable fue de 13 a 20.1 brix; como ejemplo se puede notar en el híbrido FAUANL-33A x FAUANL-4 que tuvo un promedio de 20.1 Brix y su progenitor masculino 18.5 y el progenitor femenino 14.2 Brix. También en este periodo, se presentó un caso como el del híbrido FAUANL-33A x FAUANL-10 que en este periodo presentó

una media de 12.9°Brix y su progenitor masculino 13.7 y el femenino 14.2°Brix. Se puede mencionar que el híbrido presentó un efecto tardío en la acumulación de azúcares ya que en el siguiente periodo se incrementó su porcentaje de °Brix la cual fue mayor al de sus progenitores. En °Brix M3 para los progenitores el rango de concentración en °brix fue de 11.6 a 19.9 (Figura 14).

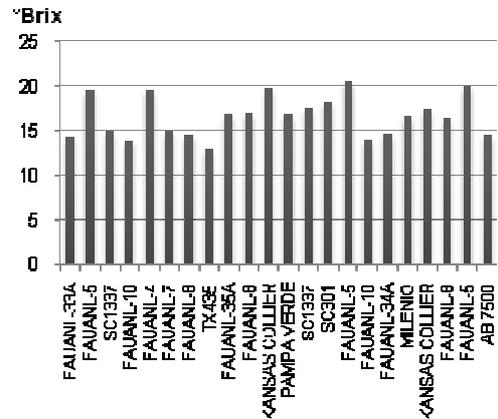
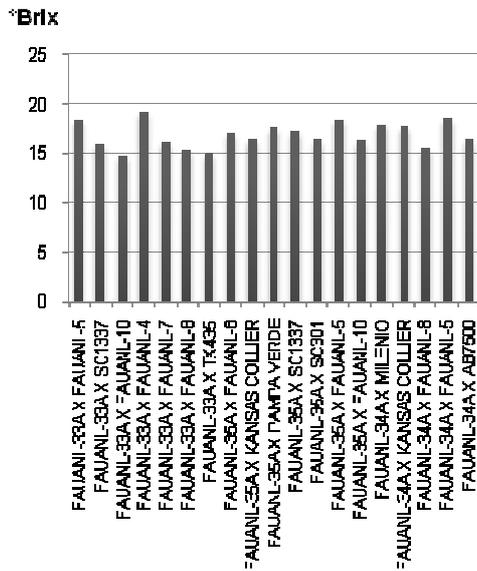


Figuras 13 y 14. Porcentajes de °Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable °Brix M3 (periodo de 14 días después de la floración).

En esta variable asociada con la concentración de azúcares en los híbridos provenientes de la hembra 2 (FAUANL-35A) no se observó una superioridad marcada de parte de los híbridos hacia los progenitores ya que los valores presentados en los híbridos fueron iguales (estadísticamente) a los valores de los progenitores; el máximo valor lo obtuvo el genotipo FAUANL-35A x Kansas Collier con 19.6 °Brix que estadísticamente fue igual a otros 11 genotipos. En los híbridos de la hembra 3 para esta variable (°Brix M3) los valores no son más altos que en los híbridos provenientes de las hembras 1 y 2,

ya que el valor más alto fue el del híbrido FAUANL-34A x FAUANL-5 con 19°Brix.

Durante el muestreo en la variable °Brix M4 en la madurez (Figura 15) se comenzó a notar un decremento en la concentración de °brix en los híbridos. Un ejemplo es el híbrido con mayor expresión de °brix que en el periodo de 14 días después de la floración registró 20.1°brix y para el periodo de madurez registró 19.2°brix. También se presentaron algunas excepciones como es el caso de los híbridos FAUANL-35A x Pampa verde y FAUANL-34A x Milenio que en el periodo anterior registraron 16.8 y 17.7°brix respectivamente y para el periodo de madurez incrementaron su concentración a 17.5 y 17.9°brix respectivamente. Misma situación situación se presentó en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-10 y FAUANL-33A x FAUANL-7 que registraron los promedios más bajos de 12.6 y 13.5°brix respectivamente en el anterior periodo y en madurez se incrementó la concentración con un promedio de 14.8 y 16.1°brix respectivamente, en síntesis estos híbridos presentaron un efecto tardío en la concentración de azúcares. El periodo de madurez fué el de mayor registro para la concentración de °brix en los progenitores en el cual se muestra su máxima expresión en la concentración de azúcares (Figura 16). Durante este periodo se presentó una situación en la cual el progenitor masculino FAUANL-5 alcanzó 20.5 °brix.



Figuras 15 y 16. Porcentajes de Brix en híbridos y progenitores respectivamente en la variable Brix M4 (período de madurez fisiológica).

De forma general en la Figura 17 se puede observar la acumulación de azúcares en los híbridos y los progenitores a través de los cuatro muestreos realizados y se puede observar el incremento o disminución de la acumulación de azúcares de cada genotipo en cada uno de los diferentes muestreos así como el periodo de máxima expresión.

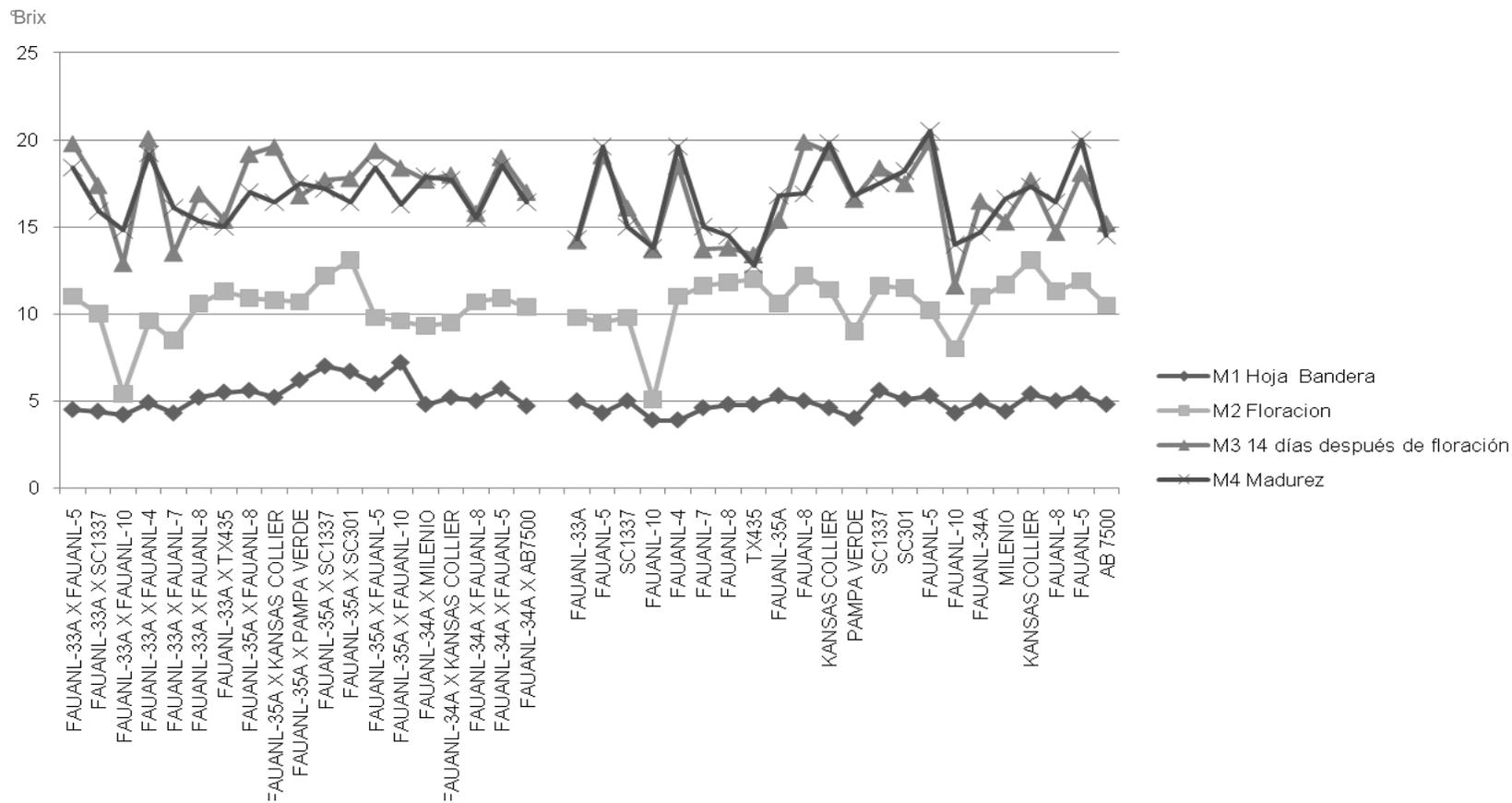


Figura 17. Acumulación de azúcares (Brix) de híbridos y progenitores a través de los cuatro periodos de muestreo.

4.2 Resultados del objetivo 2. Comparación de hembras para estimar los efectos maternos.

En este objetivo se realizó el análisis combinado para la comparación entre hembras y un análisis individual para los genotipos.

4.2.1 Comparaciones entre hembras.

Se realizó el análisis de varianza combinado incluyendo las tres hembras en estudio; en el Cuadro 5 se muestra una interacción hembra x genotipo en la mayoría de las variables con excepción de Brix M1 y Brix M4, la cual demostró significancia únicamente para hembras y genotipos. Considerando estos resultados, se realizó un análisis individual por hembras que permitiera identificar la mejor combinación macho-hembra para una mayor expresión de las variables.

Cuadro 5. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinados y la significancia mostrada en las variables.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	156.5955	2.03	0.0013	0.03	2.7450	1.76	0.6867	1.49
Hembras	2	856.9629	11.13*	0.0106	0.21	16.0444	10.29*	5.3779	11.65*
Error a (hem x rep)	4	157.1669	2.04	0.0372	0.74	2.5413	1.63	1.4105	3.06
Tratamiento	11	2288.4605	29.73**	0.3352	6.71**	8.8930	5.70**	0.9077	1.97
Hembras x tratamiento	5	6373.5925	82.79**	0.2224	4.45*	15.8600	10.17**	1.3185	2.86
Error b	32	76.9857		0.0499		1.5595		0.4614	

Fuente	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	4.8963	4.14	2.4339	1.60	1.6909	1.20	23.5838	0.26
Hembras	2	0.2747	0.23	8.1606	5.37	0.1756	0.12	198.1040	2.17
Error a (hem x rep)	4	2.7904	2.36	2.0933	1.38	1.3702	0.97	34.2985	0.38
Tratamiento	11	7.6915	6.51**	8.5851	5.65**	3.7236	2.64	151.8449	1.66
Hembras x tratamiento	5	4.9088	4.15*	16.6410	10.95**	7.8720	5.58	415.7920	4.56*
Error b	32	1.1817		1.5191		1.4112		91.2229	

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. **Significativo a $P \leq 0.01$, *Significativo a $P \leq 0.05$

En la comparación individual (Cuadro 6) se presentó diferencia altamente significativa en la mayoría de las variables con excepción de Peso fresco por hectárea que presentó diferencia significativa nada más.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza del análisis individual de genotipos.

Fuente	Alt de planta			Diam tallo		Dias floración		Brix M1	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	63.7058	0.97	0.0719	1.43	1.1176	1.7	0.2972	2.19
Tratamiento	16	4840.4607	73.41**	0.4166	8.29**	48.5931	73.7**	1.6721	12.33**
Error	32	65.9350		0.0502		0.6593		0.1355	

	Brix M2			Brix M3		Brix M4		P fresco Ha	
	GL	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2	0.9429	0.72	1.3006	0.80	4.9086	2.16	181.0829	1.21
Tratamiento	16	11.9991	9.12**	17.7343	10.93**	13.2572	5.82**	651.5225	4.34*
Error	32	1.3150		1.6228		2.2772			

GL = Grados de libertad, CM = Cuadrados medios, F = F calculada. *Significativo, **Altamente significativo,

Para la comparaciones de medias para las variables en estudio. En Altura de la planta se formaron 5 o 6 grupos en los cuales los híbridos se mostraron superiores (Cuadro 7). Para variable diámetro de tallo se formaron de 3 a 5 grupos, los progenitores presentaron el promedio más alto (Cuadro 8) y para días a floración los progenitores se presentaron más tardíos, donde se formaron 10 grupos (Cuadro 9).

En la variable Brix M1 en la Hembra FAUANL-33A se formaron 5 grupos estadísticos y en la Hembra FAUANL-35A se formaron 4 grupos. En la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística ya que solo se formó un solo grupo (Cuadro 10.) En esta variable los promedios que se registraron fue de un rango de 3.9 a 7.2 brix.

Cuadro 7. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Altura de la planta (ALT PL).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	205.33	PAMPA VERDE	A	187.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	190.66
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	201.00	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	182.00	AB7500	A	189.66
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C	176.66	FAUANL-35 X PAMPA VERDE	A	181.66	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	184.00
FAUANL-4	C	164.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	169.33	FAUANL-34A X AB7500	A	183.33
FAUANL-5	C	159.66	FAUANL-5	A B	163.66	KANSAS COLLIER	A B	172.33
FAUANL-33A X FAUANL-10	C	159.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	163.33	FAUANL-5	A B	166.00
FAUANL-10	C	158.00	FAUANL-35A X SC301	A B	160.00	MILENIO	A B	160.66
FAUANL-33A X FAUANL-7	D	123.33	KANSAS COLLIER	A B	159.66	FAUANL-34A X MILENIO	B C	143.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	D	117.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	B C	144.33	FAUANL-8	C D	112.33
FAUANL-7	D E	111.66	FAUANL-10	B C D	141.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	D E	105.33
FAUANL-33A X TX435	D E	110.00	SC301	C D E	110.33	TES	D E	98.66
FAUANL-8	D E	109.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	D E	107.00	TES	D E	96.00
FAUANL-40	D E	106.66	FAUANL-8	E	100.66	FAUANL-34A	D E	78.00
TX435	D E F	100.00	FAUANL-40	E	97.66	FAUANL-34B	E	74.33
FAUANL-33A	E F	92.00	FAUANL-35A	E	84.00			
FAUANL-33B	F	80.33	FAUANL-35B	E	80.00			
FAUANL-1	F	79.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 8. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Diámetro de tallo (DIAM TALLO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	2.56	FAUANL-35B	A B	2.20	TES	A	1.96
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	2.10	FAUANL-8	A B	2.10	TES	A	1.96
FAUANL-33A	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	2.06	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	1.93
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B	2.10	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C	2.00	FAUANL-8	A B	1.86
TX435	A B	2.03	FAUANL-35A	A B C D	1.70	KANSAS COLLIER	A B C	1.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	1.96	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D E	1.63	FAUANL-34A	A B C	1.63
FAUANL-8	B C	1.86	FAUANL-10	B C D E	1.63	FAUANL-34A X MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-7	B C D	1.83	FAUANL-35A X SC301	C D E	1.56	MILENIO	A B C	1.60
FAUANL-33A X TX435	B C D	1.80	FAUANL-5	D E	1.43	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	1.53
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C D	1.80	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	D E	1.40	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B C	1.53
FAUANL-10	B C D	1.73	SC301	D E	1.36	FAUANL-34B	A B C	1.46
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D	1.73	FAUANL-40	D E	1.33	FAUANL-5	A B C	1.43
FAUANL-5	B C D	1.60	PAMPA VERDE	D E	1.30	AB7500	B C	1.26
FAUANL-4	B C D	1.46	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	1.26	FAUANL-34A X AB7500	C	1.16
FAUANL-33B	C D	1.23	FAUANL-35A X FAUANL-40	D E	1.20			
FAUANL-40	D	1.16	KANSAS COLLIER	E	1.16			
FAUANL-33A X FAUANL-40	D	1.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 9. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Días a floración (DIAS FLOR).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	76.00	FAUANL-10	A	70.00	FAUANL-8	A	69.00
TX435	B	71.33	FAUANL-8	A B	69.33	MILENIO	A B	67.66
FAUANL-7	B C	69.66	KANSAS COLLIER	B	66.33	AB7500	A B	67.66
FAUANL-8	B C	69.33	FAUANL-35B	B	66.00	KANSAS COLLIER	A B	67.33
FAUANL-33A X TX435	C D	68.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	B C	64.00	FAUANL-34B	A B C	66.66
FAUANL-33B	C D	67.66	FAUANL-35A	B C D	63.66	FAUANL-34A	A B C	65.66
FAUANL-10	D E	66.66	SC301	C D E	62.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	65.66
FAUANL-4	D E F	66.00	FAUANL-5	C D E	62.33	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B C	65.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F G	65.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	C D E	62.33	FAUANL-5	A B C	63.33
FAUANL-5	E F G H	64.33	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	C D E	62.00	FAUANL-34A X MILENIO	B C	62.66
FAUANL-33A	F G H I	64.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	C D E	61.66	TES	B C	62.66
FAUANL-33A X FAUANL-8	G H I J	63.00	PAMPA VERDE	D E	61.00	TES	B C	62.66
FAUANL-40	G H I J	63.00	FAUANL-40	D E	61.00	FAUANL-34A X AB7500	B C	62.00
FAUANL-33A X FAUANL-10	H I J	62.33	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	D E	61.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	C	61.33
FAUANL-33A X FAUANL-5	H I J	62.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	D E	61.00			
FAUANL-33A X FAUANL-4	I J	61.66	FAUANL-35A X SC301	E	60.66			
FAUANL-33A X FAUANL-40	J	61.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 10. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 1 (BRIX M1).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-1	A	7.06	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	7.26	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	5.73
FAUANL-33A X TX435	B	5.50	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	7.06	TES	A	5.56
FAUANL-33A X FAUANL-8	B C	5.20	FAUANL-35A X SC301	A B C	6.73	KANSAS COLLIER	A	5.43
FAUANL-40	B C D	5.03	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C D	6.20	FAUANL-5	A	5.40
FAUANL-33A	B C D E	5.00	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C D	6.00	FAUANL-34B	A	5.23
FAUANL-33A X FAUANL-4	B C D E	4.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B C D	5.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	5.20
TX435	B C D E	4.83	FAUANL-40	A B C D	5.63	TES	A	5.16
FAUANL-8	B C D E	4.80	FAUANL-35A	A B C D	5.36	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-7	B C D E	4.66	FAUANL-5	A B C D	5.33	FAUANL-8	A	5.03
FAUANL-33A X FAUANL-5	B C D E	4.50	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B C D	5.20	FAUANL-34A	A	5.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	B C D E	4.43	SC301	A B C D	5.10	AB7500	A	4.83
FAUANL-5	C D E	4.30	FAUANL-8	A B C D	5.06	FAUANL-34A X MILENIO	A	4.83
FAUANL-33A X FAUANL-7	C D E	4.30	FAUANL-35B	A B C D	5.00	FAUANL-34A X AB7500	A	4.70
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D E	4.23	KANSAS COLLIER	B C D	4.66	MILENIO	A	4.40
FAUANL-33B	C D E	4.13	FAUANL-10	C D	4.30			
FAUANL-10	D E	3.93	PAMPA VERDE	D	4.00			
FAUANL-4	E	3.90						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

La comparación de medias en la variable Brix M2 se presentó un ligero incremento en los promedios registrados tanto en híbridos y progenitores el rango de los promedios fue de 5.1 a 13.2 y se formaron como máximo 2 grupos estadísticos para las dos primeras hembras y en la Hembra FAUANL-34A no se presentó diferencia estadística entre los genotipos ya que solo se formó un grupo estadístico (Cuadro 11).

En la variable Brix M3 se presentaron los mayores promedios registrados la mayor diferencia de grupos estadísticos se presentó en la hembra FAUANL-33A donde se formaron 6 grupos estadísticos, 3 y 2 para las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A respectivamente (Cuadro 12).

En la variable Brix M4 los progenitores fueron los que registraron los mayores promedios ya que en esta variable se presentó su máxima expresión y los híbridos ya habían presentado su máxima expresión en la variable Brix M3. Se formaron 4 grupos en la hembra 1 y 3 tanto en la hembra 2 y 3 (Cuadro 13).

En la variable peso fresco los mayores promedios registrados se presentó en los híbridos, pero la excepción fue el progenitor Milenio que presentó el mayor promedio registrado en el peso fresco por parcela. En la hembra 1 se formaron 4 grupos estadísticos, 3 en la hembra 2 y 4 en la hembra 3 (Cuadro 14).

Cuadro 11. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 2 (BRIX M2).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
TX435	A	12.03	FAUANL-35A X SC301	A B	13.16	KANSAS COLLIER	A	13.10
FAUANL-8	A	11.80	FAUAL-35A X FAUANL-40	A B	12.23	FAUANL-5	A	11.90
FAUANL-7	A	11.66	FAUANL-8	A B	12.23	MILENIO	A	11.73
FAUANL-33B	A	11.50	FAUANL-40	A B	11.66	FAUANL-8	A	11.33
FAUANL-33A X TX435	A	11.30	SC301	A B	11.53	FAUANL-34B	A	11.10
FAUANL-4	A	11.03	KANSAS COLLIER	A B	11.46	FAUANL-34A	A	11.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	11.03	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	10.90	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	10.93
FAUANL-33A X FAUANL-8	A	10.60	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	10.86	FAUANL-34A X FAUANL-8	A	10.76
FAUANL-33A X FAUANL-40	A	10.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	10.73	AB7500	A	10.56
FAUANL-33A	A	9.80	FAUANL-35A	A B	10.60	FAUANL-34A X AB7500	A	10.43
FAUANL-40	A	9.80	FAUANL-5	A B	10.23	TES	A	10.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	9.60	FAUANL-35B	A B	10.00	TES	A	9.86
FAUANL-5	A	9.53	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	9.80	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A	9.56
FAUANL-1	A	9.30	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	9.66	FAUANL-34A X MILENIO	A	9.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B	8.53	PAMPA VERDE	A B	9.00			
FAUANL-33A X FAUANL-10	B	5.40	FAUANL-10	B	8.00			
FAUANL-10	B	5.16						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 12. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 3 (BRIX M3).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	20.10	FAUANL-5	A B	19.96	FAUANL-34A X FAUANL-5	A	19.00
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B	19.80	FAUANL-8	A B	19.90	FAUANL-5	A B	18.16
FAUANL-5	A B	19.13	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A B	19.63	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	18.03
FAUANL-4	A B C	18.50	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B	19.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	17.40	KANSAS COLLIER	A B	19.36	KANSAS COLLIER	A B	17.70
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D E	16.90	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	19.20	TES	A B	17.33
FAUANL-40	B C D E F	16.13	FAUANL-40	A B C	18.43	FAUANL-34A X AB7500	A B	17.00
FAUANL-33A X TX435	C D E F	15.40	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B C	18.43	FAUANL-34A	A B	16.53
FAUANL-33B	D E F	14.30	FAUANL-35A X SC301	A B C	17.83	TES	A B	16.03
FAUANL-33A	D E F	14.20	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C	17.73	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B	15.86
FAUANL-8	D E F	13.86	SC301	A B C	17.56	MILENIO	A B	15.33
FAUANL-10	D E F	13.76	FAUANL-35B	A B C	16.90	AB7500	A B	15.23
FAUANL-7	D E F	13.73	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	16.83	FAUANL-8	B	14.70
FAUANL-1	E F	13.60	PAMPA VERDE	B C	16.60	FAUANL-34B	B	14.06
FAUANL-33A X FAUANL-7	E F	13.50	FAUANL-34A	C	15.43			
TX435	E F	13.40	FAUANL-10	D	11.63			
FAUANL-33A X FAUANL-10	F	12.96						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 13. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Brix muestreo 4 (BRIX M4).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-4	A B	19.60	FAUANL-5	A B	20.50	FAUANL-5	A	20.03
FAUANL-5	A B	19.60	KANSAS COLLIER	A B	19.83	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	18.53
FAUANL-33A X FAUANL-4	A B	19.23	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	18.40	FAUANL-34A X MILENIO	A B	17.90
FAUANL-33A X FAUANL-5	A B C	18.40	SC301	A B C	18.20	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	A B	17.76
FAUANL-33A X FAUANL-7	A B C D	16.16	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B C	17.53	KANSAS COLLIER	A B	17.30
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	15.93	FAUANL-40	A B C	17.53	MILENIO	A B C	16.63
FAUANL-1	A B C D	15.80	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B C D	17.20	FAUANL-8	A B C	16.43
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B C D	15.30	FAUANL-35A X FAUANL-8	B C D	17.03	FAUANL-34A X AB7500	A B C	16.40
FAUANL-33A X TX435	B C D	15.03	FAUANL-8	B C D	16.90	FAUANL-34A X FAUANL-8	A B C	15.50
FAUANL-7	B C D	15.00	PAMPA VERDE	B C D	16.80	FAUANL-34A	B C	14.70
FAUANL-40	B C D	15.00	FAUANL-35A	B C D	16.80	AB7500	B C	14.56
FAUANL-33A X FAUANL-10	C D	14.80	FAUANL-35B	B C D	16.60	TES	B C	14.33
FAUANL-8	C D	14.56	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	B C D	16.46	FAUANL-34B	B C	13.76
FAUANL-33A	C D	14.30	FAUANL-35A X SC301	C D	16.43	TES	C	11.70
FAUANL-10	D	13.80	FAUANL-35A X FAUANL-10	C D	16.30			
FAUANL-33B	D	13.70	FAUANL-10	D	14.00			
TX435	D	12.80						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Cuadro 14. Comparación de medias en híbridos y progenitores para la variable Peso fresco (PESO FRESCO).

Hembra 1 (FAUANL-33A)			Hembra 2 (FAUANL-35A)			Hembra 3 (FAUANL-34A)		
Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio		Genotipo	Promedio	
FAUANL-33A X FAUANL-4	A	5966.66	FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	A	4616.66	MILENIO	A	6266.70
FAUANL-33A X FAUANL-5	A	5550.00	PAMPA VERDE	A	4250.00	FAUANL-34A X FAUANL-5	A B	4833.30
FAUANL-33A X FAUANL-7	A	5100.00	FAUANL-35A X FAUANL-10	A B	3850.00	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	B	4450.00
FAUANL-33A X FAUANL-8	A B	4750.00	FAUANL-35A X PAMPA VERDE	A B	3816.66	FAUANL-8	B	4083.30
FAUANL-33A X FAUANL-10	A B C	4600.00	FAUANL-35A X FAUANL-8	A B	3675.00	FAUANL-34A X MILENIO	B	4016.70
FAUANL-1	A B C	4316.00	FAUANL-35A X SC301	A B	3616.66	FAUANL-34A X AB7500	B	4000.00
FAUANL-4	A B C D	4050.00	FAUANL-35A X FAUANL-40	A B	3425.00	TES	B C	3500.00
FAUANL-8	A B C D	3983.33	FAUANL-35A X FAUANL-5	A B C	3233.33	FAUANL-34A X FAUANL-8	B C	3475.00
FAUANL-33A X TX435	A B C D	3700.00	FAUANL-35B	A B C	3200.00	AB7500	B C	3366.70
FAUANL-5	A B C D	3675.00	FAUANL-8	A B C	3100.00	TES	B C	3350.00
FAUANL-33A X FAUANL-40	A B C D	3200.00	FAUANL-5	A B C	3050.00	KANSAS COLLIER	B C	3300.00
TX435	B C D	3050.00	FAUANL-10	A B C	2775.00	FAUANL-5	B C	3266.70
FAUANL-10	B C D	3033.33	KANSAS COLLIER	A B C	2650.00	FAUANL-34A	C D	2000.00
FAUANL-7	B C D	3033.33	SC301	B C	2200.00	FAUANL-34B	D	1450.00
FAUANL-33A	B C D	3000.00	FAUANL-40	C	1233.33			
FAUANL-33B	C D	1875.00	FAUANL-35A	C	1170.00			
FAUANL-40	D	1450.00						

*Las letras mayúsculas representan los grupos estadísticos, medias con diferente letra en una columna son diferentes.

Variable Peso fresco

En la variable peso fresco se registró el peso de 10 plantas por parcela en gramos y posteriormente se realizaron las estimaciones de peso fresco en toneladas por hectárea (10,000 m²), esta estimación se muestra en el Cuadro 15 y se realizó en base a la fórmula presentada en la metodología del objetivo 2. Los híbridos registraron la mayor cantidad de biomasa en comparación con sus progenitores. Como se puede observar los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4 (74.5), FAUANL-33A x FAUANL-5 (69.30), FAUANL-34A x FAUANL-5 (60.37), FAUANL-33A x FAUANL-8 (59.37) y FAUANL-35A X KANSAS COLLIER (57.62) obtuvieron los registros más altos y los más bajos se registró en los progenitores como FAUANL-34B (18.12) y FAUANL-40 (15.37). Es de importancia mencionar que el progenitor Milenio presentó un peso fresco de 78.25 ton ha⁻¹ y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO tuvo 50.12 ton ha⁻¹. Esto se debe a que el progenitor Milenio presenta un alto peso de sus tallos pero en grados brix registró 16.6°Brix en su máximo periodo de concentración que fue en madurez y el híbrido FAUANL-34A X MILENIO presentó 17.9°Brix en el periodo de 14 días después de la floración y también presenta el mismo diámetro de tallo que el híbrido (1.6 cm), otra diferencia es que durante el muestreo se observó que el progenitor Milenio acumula menos jugo que el híbrido. De forma general el rango que se presentó en el peso fresco en los híbridos fue de 40 a 69.30 ton ha⁻¹ y en los progenitores el rango fue muy amplio ya que el valor más bajo fue de 14.62 y el más alto de 78.25 ton ha⁻¹ respectivamente.

Cuadro 15. Estimación de peso fresco en ton ha⁻¹ de híbridos y progenitores en Otoño 2009.

Genotipo	Peso	Genotipo	Peso	Genotipo	Peso
FAUANL-33A X FAUANL-5	69.30	FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	55.62	FAUANL-8 (H2)	38.75
FAUANL-33A X FAUANL-40	40.00	FAUANL-34A X FAUANL-8	43.37	KANSAS COLLIER (H2)	33.12
FAUANL-33A X FAUANL-10	57.50	FAUANL-34A X FAUANL-5	60.37	PAMPA VERDE (H2)	53.12
FAUANL-33A X FAUANL-4	74.50	FAUANL-34A X AB7500	50.00	FAUANL-40 (H2)	15.37
FAUANL-33A X FAUANL-7	63.75	FAUANL-33A (H1)	37.50	SC301 (H2)	27.50
FAUANL-33A X FAUANL-8	59.37	FAUANL-5 (H1)	45.87	FAUANL-5 (H2)	38.12
FAUANL-33A X TX435	46.25	SC1337 (H1)	18.12	FAUANL-10 (H2)	34.62
FAUANL-35A X FAUANL-8	45.87	FAUANL-10 (H1)	37.87	FAUANL-35B (H2)	40.00
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	57.62	FAUANL-4 (H1)	50.62	FAUANL-34A (H3)	25.00
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	47.62	FAUANL-7 (H1)	37.87	MILENIO (H3)	78.25
FAUANL-35A X SC1337	42.75	FAUANL-8 (H1)	49.75	KANSAS COLLIER (H3)	41.25
FAUANL-35A X SC301	45.12	TX435 (H1)	38.12	FAUANL-8 (H3)	51.00
FAUANL-35A X FAUANL-5	40.37	FAUANL-33B (H1)	23.37	FAUANL-5 (H3)	40.75
FAUANL-35A X FAUANL-10	48.12	FAUANL-1 (H1)	53.87	AB7500 (H3)	42.00
FAUANL-34A X MILENIO	50.12	FAUANL-35A (H2)	14.62	FAUANL-34B (H3)	18.12

H1= Hembra 1, H2= Hembra 2, H3= Hembra 3.

4.3 Resultados del objetivo 3. Efectos de heterosis.

En la estimación de heterosis (Cuadro 18) los resultados muestran que los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x SC301 fueron los que presentaron los porcentajes más altos en la variable Altura. En el diámetro de tallo se presentaron 10 casos con valores negativos y en un solo caso no hubo heterosis. En el caso de Días a floración solo se presentó un caso en el que el genotipo FAUANL-33A x TX435 presentó un porcentaje de heterosis positivo de 0.4 días y esto representa que fue el más tardío de los híbridos.

En la variable Brix M3 que es donde se presentó una mayor concentración de azúcares, los porcentajes más altos se obtuvieron para los genotipos FAUANL-35A x FAUANL-10 (36.2% de heterosis), FAUANL-33A x FAUANL-4 (22.9%) y FAUANL-33A x FAUANL-8 (20.4%), mientras que los porcentajes negativos fueron para los genotipos FAUANL-33A x FAUANL-10 (-7.2%), FAUANL-33A x FAUANL-7 (-3.3%). Esto es un indicativo que si se utilizan progenitores con alta concentración de azúcares el vigor híbrido para esta variable puede aumentar significativamente la concentración de los azúcares.

En Brix M4 (Madurez) los mayores porcentajes fueron para FAUANL-34A x Milenio (14.2%), FAUANL-33A x FAUANL-4 (13.4%), FAUANL-34A x AB7500 (12.0%) y FAUANL-34A x Kansas Collier (11.0%), mientras que los valores negativos fueron para FAUANL-35A x Kansas Collier (-10.1%), WA x SC301 (-6.1%), FAUANL-35A x FAUANL-5 (-1.3%) y FAUANL-34A x FAUANL-8 (-0.4%). En el peso fresco el porcentaje más alto se presentó en FAUANL-35A x FAUANL-40 (185.0%) y el valor negativo fue en FAUANL-34A x Milenio (-2.8%).

Cuadro 16. Valores de heterosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	Peso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	63.18	6.31	-3.38	-3.23	14.14	18.8	8.55	66.29
FAUANL-33A X FAUANL-40	77.85	-28.57	-3.94	-11.63	2.04	14.73	8.76	43.82
FAUANL-33A X FAUANL-10	27.2	9.57	-4.59	-5.22	-27.84	-7.27	5.34	52.49
FAUANL-33A X FAUANL-4	56.83	-2.80	-5.13	10.11	-7.84	22.94	13.47	69.27
FAUANL-33A X FAUANL-7	21.11	6.78	-2.74	-11.03	-20.50	-3.34	10.35	69.06
FAUANL-33A X FAUANL-8	16.42	-9.24	-5.50	6.12	-1.85	20.43	6.00	36.04
FAUANL-33A X TX435	14.58	-12.90	0.49	11.86	3.51	11.59	10.95	22.31
FAUANL-35A X FAUANL-8	15.88	5.26	-6.27	7.99	-4.53	8.68	1.09	72.13
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	49.38	13.95	-6.15	3.65	-1.51	12.84	-10.10	141.71
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	34.07	-6.67	-0.53	32.38	9.52	5.10	4.37	40.84
FAUANL-35A X FAUANL-40	58.90	-20.88	-1.07	28.48	9.88	4.72	0.19	185.02
FAUANL-35A X SC301	64.67	2.17	-3.70	28.66	18.98	8.08	-6.10	114.64
FAUANL-35A X FAUANL-5	36.74	-19.15	-3.17	12.15	-5.92	9.60	-1.34	53.24
FAUANL-35A X FAUANL-10	45.19	24.00	-4.24	50.34	3.94	36.21	5.84	95.18
FAUANL-34A X MILENIO	19.83	-1.03	-6.00	2.84	-17.89	11.09	14.26	-2.82
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	52.33	-8.00	-1.75	-0.32	-20.61	5.36	11.04	67.92
FAUANL-34A X FAUANL-8	10.68	10.48	-2.48	0.33	-3.58	1.60	-0.43	14.25
FAUANL-34A X FAUANL-5	50.82	0	-4.91	10.26	-4.51	9.51	6.72	83.54
FAUANL-34A X AB7500	36.99	-19.54	-7.00	-4.41	-3.25	7.03	12.07	49.07

En los porcentajes de heterobeltiosis obtenidos (Cuadro 17) los genotipos FAUANL-34A x AB7500 (135%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (94.4%), FAUANL-33A x FAUANL-10 (72.8%) presentaron los valores más altos para la variable Altura y en el cual, el genotipo FAUANL-35A x Pampa Verde fue el único que tuvo un porcentaje negativo de -2.8.

En el diámetro del tallo el valor más alto se presentó en el genotipo FAUANL-33A x FAUANL-5 (22.9%) y el más negativo fue FAUANL-34A x AB7500 (-28.5%). En Días a floración la mayoría de los híbridos presentaron porcentajes negativos lo cual nos indica su precocidad con respecto a su mejor progenitor, a excepción de los genotipos FAUANL-33A x TX435, FAUANL-35A x Pampa Verde, FAUANL-35A x FAUANL-40 y FAUANL-35A x FAUANL-10 que presentaron valores positivos. En la variable Brix M3 los genotipos que presentaron los porcentajes altos fueron: FAUANL-33A x FAUANL-8 (21.8%), FAUANL-35A x FAUANL-10 (19.4%) y FAUANL-34A x Milenio (15.4%), el porcentaje más negativo fue para FAUANL-33A x FAUANL-10 (-8.7%). En Brix M4 el genotipo FAUANL-34A x AB7500 (11.5%) presentó el porcentaje más alto en relación a su mejor progenitor y el más negativo fue para FAUANL-35A x Kansas Collier (-16.9). En Peso fresco el porcentaje más alto fue en FAUANL-35A x FAUANL-10 (229.0%) y el más negativo para FAUANL-34A x Milenio (-35.9%). En esta variable se presentaron altos porcentajes de heterobeltiosis.

Cuadro 17. Valores de heterobeltiosis (%) para las variables estudiadas.

Genotipo	Altura de planta	Diam. Tallo	DF	Brix M1	Brix M2	Brix M3	Brix M4	P eso fresco
FAUANL-33A X FAUANL-5	28.60	22.92	-3.63	4.65	15.73	3.48	-6.12	51.02
FAUANL-33A X FAUANL-40	65.63	0	-3.17	-11.92	2.04	7.85	6.22	120.69
FAUANL-33A X FAUANL-10	72.83	0	-2.60	-15.33	-44.90	-8.69	3.50	53.33
FAUANL-33A X FAUANL-4	22.31	18.18	-6.57	25.64	-12.99	8.65	-1.87	47.33
FAUANL-33A X FAUANL-7	10.45	14.55	-6.70	-7.86	-26.86	-1.70	7.78	68.13
FAUANL-33A X FAUANL-8	7.34	-3.57	-9.13	8.33	-10.17	21.88	5.03	19.25
FAUANL-33A X TX435	19.57	-14.29	6.25	10.00	15.31	8.45	5.13	23.33
FAUANL-35A X FAUANL-8	6.29	-4.76	-10.10	11.18	-10.90	-3.52	0.79	18.55
FAUANL-35A X KANSAS COLLIER	13.99	40.00	-8.04	11.43	-5.23	1.38	-16.97	74.21
FAUANL-35A X PAMPA VERDE	-2.85	7.69	1.64	55.00	19.26	1.41	4.37	-10.20
FAUANL-35A X FAUANL-40	47.78	-10.00	1.09	25.44	4.86	-3.80	-1.90	177.70
FAUANL-35A X SC301	45.02	14.63	-2.67	32.03	14.16	1.52	-9.71	64.39
FAUANL-35A X FAUANL-5	3.46	-11.63	-2.14	12.50	-4.23	-2.84	-10.24	6.01
FAUANL-35A X FAUANL-10	94.44	21.57	0.52	35.40	-8.81	19.44	-2.98	229.06
FAUANL-34A X MILENIO	-11.00	0	-7.39	9.85	-20.45	15.43	7.62	-35.90
FAUANL-34A X KANSAS COLLIER	10.64	-9.80	-2.97	-4.29	-26.97	1.88	2.70	34.85
FAUANL-34A X FAUANL-8	-6.23	3.57	-4.83	0	-5.00	7.94	-5.68	-14.90
FAUANL-34A X FAUANL-5	10.84	6.98	-3.16	6.17	-8.12	4.59	-7.49	47.96
FAUANL-34A X AB7500	135.04	-28.57	-5.58	-6.00	-5.15	2.82	11.56	100.00

En el análisis de correlación (Cuadro 18) las variables que presentaron una significancia estadística fueron: Altura con diámetro de tallo, con días a floración, con Brix M3, con Brix M4 y con peso fresco. Diámetro de tallo con días a floración y con peso fresco. Días a floración con Brix M3, Brix M1 con Brix M2 y Brix M3 con Brix M4, las dos últimas correlaciones se presentaron por el efecto continuo de la dinámica de acumulación de azúcares en la planta.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación y significancias estadísticas para las variables estudiadas.

	ALTURA	DIAM	DF	BRIX1	BRIX2	BRIX3	BRIX4	PFRESCO
ALTURA	1.00000	-0.32902* <.0001	-0.40474** <.0001	-0.09257 0.2749	-0.12042 0.1549	0.44530** <.0001	0.45861** <.0001	0.51136** <.0001
DIAM		1.00000	0.36641** <.0001	0.09790 0.2481	-0.12927 0.1266	-0.25212 0.0037	-0.24815 0.0046	0.39732** <.0001
DF			1.00000	-0.12338 0.1450	0.07830 0.3561	-0.58734** <.0001	-0.30981* 0.0004	-0.08323 0.3484
BRIX1				1.00000	0.32680** <.0001	0.27719 0.0013	0.14878 0.0924	-0.06552 0.4607
BRIX2					1.00000	0.28244 0.0011	0.18738 0.0335	-0.12383 0.1621
BRIX3						1.00000	0.65522** <.0001	0.13826 0.1181
BRIX4							1.00000	0.13611 0.1240
PFRESCO								1.00000

*Significante al nivel de $p \leq 0.001$

V. DISCUSIÓN

El Sorgo con \geq 8% de azúcares en el jugo del tallo se define generalmente como el sorgo dulce y para esto los tallos tienen que ser jugosos (d recesiva a D) en lugar de secos y dulces (x recesivo a X) en lugar de no dulces (Pfeiffer, 2010).

Los valores máximos de \geq Brix obtenidos en este estudio en los resultados del objetivo 1 son satisfactorios al realizar la comparación de nuestros híbridos y sus progenitores con otros trabajos realizados, en el caso de nuestro país los trabajos en sorgo dulce son escasos el reporte más actual es sobre la variedad RB-Cañero liberado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA, 2010) y entre sus características presenta hasta 16.4 \geq Brix en promedio para la concentración de azúcares de esta variedad y en el plano internacional hay trabajos realizados por autores como Channappagoudar *et al.*, (2007) y Abd El-Razek y Besheit (2009) que reportan hasta 16.3 \geq Brix en sus respectivos trabajos de investigación y otros autores como Rajendran *et al.*, (2000) que reportan hasta 21 \geq Brix en estudios realizados con sorgo dulce. Una de las razones por la cual se obtuvieron estos valores aceptables es la expresión genética de los genotipos utilizados en este estudio y como ejemplo podemos citar a los machos FAUANL-4, FAUANL-5 y Kansas Collier, que en su condición de progenitores masculinos al cruzarse con las hembras que estas no son específicamente de sorgo dulce más bien han

demostrado ser buenas progenitoras en híbridos de sorgo de grano pero al realizar los cruzamientos se incrementó los valores de Brix por las condiciones del vigor híbrido que se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos y esto es de acuerdo con Reddy *et al.*, (2005) que en un estudio realizado para determinar el potencial del sorgo dulce para bioetanol mencionaron que la probabilidad de producción de alto rendimiento de azúcar en los híbridos es significativamente mayor si ambos padres del híbridos o al menos el progenitor masculino son ricos en azúcar y en este trabajo de investigación se aplica la segunda opción.

En la región donde se realizó el estudio los primeros registros de valores de Brix en trabajos de investigación corresponden a Butrón (2006) en trabajos realizados en una serie de sorgos forrajeros durante los años 1995 y 1996. En este trabajo se incluyeron líneas e híbridos de sorgo forrajero y se registró un rango de 11 a 25 Brix en Marín, Nuevo León y en estudios realizados en los años antes mencionados en General Escobedo, Nuevo León el rango fue de 9 a 19.5 Brix la diferencia de la investigación con la que se realizó en este trabajo radica en que los materiales utilizados en el anterior trabajo son de características de más producción de biomasa para alimento animal (forraje) y en nuestro caso el enfoque es en la concentración de azúcares en los tallos del sorgo dulce para producción de bioetanol; además de que en los años que se realizó el trabajo anterior no se había considerado al sorgo para

biocombustibles, esto se debe a que el uso de energías renovables se ha incrementado en la última década por el agotamiento de los recursos petroleros.

El mejor periodo de mayor acumulación de azúcares fue en Brix Muestreo 3 (14 días después de la floración) donde los híbridos tuvieron una ventaja en la concentración de azúcares en comparación con sus progenitores y esto se demostró con la precocidad de los híbridos que en su mayoría presentan la mayor concentración de azúcares en el periodo de 14 días después de la floración y nuestros genotipos progenitores en su mayoría tuvieron su mayor concentración en el periodo de madurez, Channappagoudar *et al.*, (2007) en resultados obtenidos en trabajos realizados con líneas de sorgo dulce mencionan que el escenario más adecuado para los valores más altos de Brix y para obtener un rendimiento aceptable de semilla en las líneas es el estado de madurez fisiológica; esto en el caso de los materiales de doble propósito, es decir, producción de jugo de los tallos y producción de semilla.

En el caso de este trabajo de investigación, la formación de híbridos se enfocó en la concentración de azúcares y posteriormente los híbridos van a ser evaluados en cuanto a la producción de jugo que también es una característica necesaria que debe tener el sorgo dulce para ser utilizado como materia prima ya que es el jugo que contiene los azúcares que es sometido bajo el proceso de fermentación para la producción de bioetanol. En el caso de los materiales de doble propósito (azúcares y semilla) hay competencia entre el llenado de grano

y la concentración de azúcares, Gutjar *et al.*, (2010) hacen mención que la competición entre el llenado del grano y la acumulación de azúcares es importante pero que eso no puede representar un límite fisiológico o genético. Como se ha mencionado anteriormente una de las características del sorgo dulce es la baja cantidad de semilla que se produce debido a que concentra más energía en la acumulación de azúcares en el jugo de los tallos que en el llenado del grano.

Al mencionar las características de altura de planta y diámetro del tallo la observación realizada en este trabajo de investigación es que los genotipos con un tallo delgado y mayor altura presentaron buenas condiciones de concentración de azúcares y contenido de jugo, no así los genotipos de porte más bajo y mayor grosor de tallo que no tuvieron buena concentración de azúcares y en algunos casos ausencia de jugo pero presentaron un mayor peso fresco. Autores como Guiying *et al.*, (2000) menciona que en la herencia de sorgo para carácter altura, el tallo alto es dominante sobre el tallo enano, es decir, cruzando una variedad tallo alto con una de tallo bajo dará como resultado un híbrido alto; además menciona que la heterosis fuerte para la altura de tallos se puede encontrar en la generación F1. House (1982) menciona que el carácter planta alta es parcialmente dominante al de planta baja y los híbridos altos se pueden producir a partir de padres más bajos y en este caso los híbridos obtenidos se apegan a lo que mencionan Guiying y colaboradores ya que en la formación de dichos híbridos se utilizaron hembras

de porte bajo y machos de porte alto y como resultado los híbridos superaron a sus progenitores en el carácter altura.

Los híbridos presentaron una precocidad notoria en relación a sus progenitores en la mayoría de las variables en estudio, tal es el caso de días a floración en el cual se presenta de dos a tres días de precocidad con respecto al progenitor más precoz y en algún caso muy aislado en los híbridos se presentó un efecto tardío de la floración con respecto a su progenitor.

En una comparación del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-4 que registró 61.66 días a floración y 20.1°brix y del híbrido FAUANL-33A X FAUANL-5 que registró 62 días a floración y 19.8°brix con los híbridos de sorgo dulce producidos en el ICRISAT en la India que son el híbrido ICSA 749 x SSV 74 que tuvo 85 días a floración y 18.00°brix y el híbrido ICSA 511 x SSV 74 registra 88 días a floración y 17.97°brix (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007) se puede notar que para las variables mencionadas en dicha comparación los híbridos de esta investigación presentaron una mejor acumulación de azúcares y una mayor precocidad, y es necesario nuevamente mencionar que la comparación de nuestros genotipos con los de otros países y en condiciones ambientales diferentes a las que imperan en nuestro país es por la nula información sobre genotipos de sorgo dulce existentes en México.

Respecto a las hembras que se utilizaron en esta investigación la que procreó híbridos con una mayor concentración de azúcares fue la hembra FAUANL-33A y en menor medida la hembra FAUANL-35A, y el caso de la hembra FAUANL-34A fue en menor escala esto pudiera atribuirse a que esta hembra tuvo menos cruzamientos que las anteriores y esa manera no demostró su potencial para procrear híbridos y otra situación que se puede atribuir es que no tuvo una sincronización adecuada con los machos para tener un mayor número de cruza. El efecto que se presentó en este trabajo es la influencia de las características de los progenitores masculinos hacia los híbridos.

Los valores de heterosis y heterobeltiosis obtenidos en este estudio no fueron muy altos de lo esperado ya que en algunos casos los híbridos presentaron valores negativos y los que presentaron valores positivos no fueron muy altos pero son aceptables esto se puede atribuir a algunas situaciones como el que mencionan Pfeiffer *et al.*, (2010) que la heterosis está bien establecido en grano y sorgo forrajero y que los informes de la heterosis en el sorgo dulce se limitan a los resultados de híbridos de sorgo x sorgo dulce. La ventaja de utilizar híbridos de sorgo dulce para producir bioetanol es porque presentan heterosis para rendimiento de tallos, jugo y azúcares, madurez temprana y previsible y una mayor estabilidad en comparación con las variedades (www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007).

De manera general se puede mencionar que los valores superiores y mayor amplitud que se presentaron en heterosis y heterobeltiosis se pueden atribuir a la diversidad de las líneas que intervinieron en los cruzamientos como lo mencionan Orozco y Mendoza (1983) quienes observaron que la heterosis en el rendimiento de híbridos de sorgo evaluados tuvo una gran variación en los porcentajes obtenidos y estas variaciones se atribuyeron a la variabilidad de las líneas utilizadas en los cruzamientos.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Para el objetivo 1: Los híbridos presentaron su mayor concentración en °Brix en el periodo 14 días después de la floración y los progenitores presentaron su mayor concentración de azúcares en el periodo de madurez. Los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 presentaron las mayores concentraciones en cuanto a contenidos de azúcares (°Brix).

Para el objetivo 2: La hembra FAUANL-33A demostró en este estudio que cruzando esta hembra con machos de alto contenido de azúcares, se pueden obtener híbridos con altos niveles de azúcares para la producción de bioetanol y las hembras FAUANL-35A y FAUANL-34A produjeron híbridos con contenidos de azúcares aceptables pero ese aspecto se puede mejorar en las cruzas con machos de altos contenidos.

Para el objetivo 3: La heterosis se presentó de forma positiva en la mayoría de los casos la cual se refleja en la concentración de azúcares en los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5 y FAUANL-35A x Kansas Collier.

VII. RECOMENDACIONES

Seleccionar a la hembra FAUANL-33A por su condición de producir buenos híbridos al cruzarla con machos de sorgo dulce.

Realizar un seguimiento a los híbridos FAUANL-33A x FAUANL-4, FAUANL-33A x FAUANL-5, FAUANL-35A x Kansas Collier, FAUANL-35A x FAUANL-5 y FAUANL-34A x FAUANL-5 para evaluarlos en condiciones adecuadas de fertilización, humedad, etc. para que expresen su máximo potencial y ser utilizados para la producción de bioetanol.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

Aburto, J.; T. Martínez; F. Murrieta. 2008. Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulosicos. Tecnología, Ciencia, Educación (IMIQ). Enero-Junio, 23(1): 23-30.

Abd El-Razek A. M. and S.Y. Besheit. 2009. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) varieties for syrup and ethanol production in Egypt. Sugar Tech (2009) 11(3): 239-245

Ali M. L., J. F. Rajewski, P. S. Baenziger, K. S. Gill, K. M. Eskridge, I. Dweikat 2008. Assessment of genetic diversity and relationship among a collection of US sweet sorghum germplasm by SSR markers. Mol Breeding 21:497–509

Almodares A., R. Taheri and S. Adeli. 2007. Inter-relationship between growth analysis and carbohydrate contents of sweet sorghum cultivars and lines. Journal of Environmental Biology. 28(3) 527-531.

_____, M. R. Hadi and H. Ahmadpour. 2008. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under different salinity levels. African Journal of Biotechnology, 7 (22) 4051-4055.

_____. and M. R. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (9), pp. 772 – 780.

Al-Zuhair S. 2007. Production of biodiesel: Possibilities and challenges. Biofuels, Bioprod. Bioref. 1:57–66 (2007).

Asociación de productores de energías renovables (APPA). 2006. El biodiesel y el bioetanol, cada vez más, una opción rentable. Vida Rural, Núm. 232: 35-37.

Budak H.; L. Cesurer; Y. Bölek; T. Dokuyucu; A. Akkaya. 2002. Understanding of Heterosis. KSU J. Science and Engineering 5(2) 2002.

Butrón R. J. 2006. Potencial de rendimiento forrajero. Componentes de varianza genética y heterosis en cruizas de sorgos tropicales y templados. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N.L. 161 pág.

Castillo G. F. 1980. El rendimiento de grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) su relación con los periodos del desarrollo y otros caracteres, efecto de aptitud combinatoria. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Chandel A. K., Chan ES, R. Rudravaram, M. Lakshmi N., L. V. Rao and P. Ravindra. 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review* Vol. 2 (1), pp. 014-032

Channappagoudar B. B.; N. R. Biradar J. B. Patil and S. M. Hiremath. 2007. Assessment of Sweet Sorghum Genotypes for Cane Yield, Juice Characters and Sugar Levels. *Karnataka J. Agric. Sci.* 20 (2): (294-296).

Demirba A. 2005. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 27: 327-337.

Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development. Theory and technique. Iowa State University. Macmillan Publishing Company.

Fonseca S. and F. L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in seven parent diallel cross in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Science*. 8: 85-88.

Guiying L., G. Weibin, A. Hicks and K. R. Chapman. 2000. A training manual for Sweet Sorghum. FAO/CAAS/CAS. Bangkok, Thailand. <http://agris.fao.org/2000>

Gutjar S., A. Clement-Vidal, G. Trouche, M. Vaksman, K. Thera; N. Sonderegger, S. Braconnier, M. Dingkuhn and D. Luquet. 2010. Functional

analysis of sugar accumulation in sorghum stems and its competition with grain filling among contrasted genotypes. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Hongtu, M.A., Xide, Xu. And Xiuying, Hua. 1990. Inheritance of sugar content in juice of sorghum stalks. *Sorghum News letter*, 31:29.

House L.R. 1982. El sorgo, guía para su mejoramiento genético. Universidad Autónoma Chapingo. México. 425p.

INIFAP. 2010. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. www.inifap.gob.mx

Jianliang Yu; Jing Zhong; Xu Zhang and Tianwei Tan. 2010. Ethanol Production from H₂SO₃-Steam-Pretreated Fresh Sweet Sorghum Stem by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Appl Biochem Biotechnol* (2010) 160:401–409.

Jingyang BAN; Jianliang YU; Xu ZHANG; Tianwei TAN. 2008. Ethanol production from sweet sorghum residual. *Chem. Eng. China*, 2(4): 452–455.

Kambal, A.E. and O.J. Webster. 1966. Manifestations of hybrid vigor in grain sorghum and the relations among the components of yield, weight per bushel and height. *Crop Sci.* 6:513-515.

Kirby, J.S. y R.E. Atkins 1968. Heterotic response for vegetative and mature plant characters in grain Sorghum, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Crop Sci. 8:335-339.

Márquez S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II. Teoría, métodos y resultados. AGT EDITOR. México, DF. 665 p.

Miller A.N. and M. J. Ottman. 2010. Irrigation Frequency Effects on Growth and Ethanol Yield in Sweet Sorghum. Agronomy Journal.102:60–70 (2010).

Niehaus M. H. and R. C. Pickett. 1966. Heterosis and combining ability in a diallel cross in *Sorghum vulgare* Pers. Crop Science. 6: 33-39.

Orozco M. F. J, L. E. Mendoza O. 1983. Comparación de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y alguno de sus progenitores. Agrociencia. 53: 87-97.

Parvez S. 2006. Recent advances in understanding genetic basis of heterosis in rice (*Oriza sativa* L.). Revista UDO Agrícola 6 (1): 1-10

Pfeiffer T. W., M. J. Bitzer, J. J. Toy, and J. F. Pedersen. 2010. Heterosis in Sweet Sorghum and Selection of a New Sweet Sorghum Hybrid for Use in Syrup Production in Appalachia. Crop Science. 50:1788–1794

Rajendran C., K. Ramamoorthy and S. Backiyarani. 2000. Effect of Deheading on Juice Quality Characteristics and Sugar Yield of Sweet Sorghum. *J. Agronomy & Crop Science* 185: 23-26.

Reddy B. VS.; S. Ramesh; P. S. Reddy; B. Ramaiah; P.M. Salimath and R. Kachapur. 2005. Sweet sorghum – A potential alternate raw material for bioethanol and bio-energy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46:79–86.

Revista Claridades Agropecuarias. 2007. Biodiesel: Combustible del futuro. Núm. 163: 3-12. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

_____. 2007. Los bioenergéticos, una visión integral. Núm. 169: 73-74. ASERCA-SAGARPA, México. www.infoaserca.gob.mx

Riccelli M., Luna G., Sequera P. 1977. Creación de los primeros híbridos venezolanos de sorgo granífero. *Agronomía tropical*. 27(1): 49-68.

Ritter K. B., C. L. McIntyre, I. D. Godwin, D. R. Jordan, S. C. Chapman. 2007. An assessment of the genetic relationship between sweet and grain sorghums, within *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* (L.) Moench, using AFLP markers. *Euphytica*, 157:161–176.

_____.; D. R. Jordan; S. C. Chapman; I. D. Godwin; E. S. Mace and C. L. McIntyre. 2008. Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet 3 grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. *Mol Breeding* (2008) 22:367–384.

Rodríguez G., A. 2003. Formación de variedades e híbridos de sorgo escobero. www.uaaan.mx/2003.

SAS (Statistical Analysis System). 2000. SAS® Proprietary Software Release 8.0. SAS Inst., Inc., Cary, NC. USA.

Shull G. H. 1948. What is “heterosis”? *Genetics*. 33:439.

Siri P., G; Ernst O.; Martínez H., M.; S. Albano. 2007. Productividad del sorgo dulce para la producción de etanol según variedad, época de siembra y población en el noroeste uruguayo. www.iica.org.uy/2007

Srinivasa R. P., SS. Rao, N. Seetharama, AV. Umakanth, P. Sanjana Reddy., B. VS Reddy and CLL. Gowda. 2009. Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement. Information Bulletin No. 77. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. www.icrisat.org/2009

_____. P. Sanjana Reddy, K Lavakusa Rao, B. VS Reddy and S. Bracconier. 2010. Identification of mid-season moisture stress tolerant sweet sorghum material. www.sweetfuel-project.eu/agro2010

Stuber, C. W., S. E. Lincoln, D. W. Wolff, T. Helenjaris, and E. S. Lander. 1992. Identification of Genetic Factors Contributing to Heterosis in a Hybrid from Two Elite Maize Inbred Lines Using Molecular Markers. *Genetics*. 132:823-839.

Tsaftaris, S. A. 1995. Molecular Aspects of Heterosis in Plants. *Physiol. Plant*. 94:362-370.

Turgut I., U. Bilgili, A. Duman and E. Acikgoz. 2005. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant*, 55: 236-240.

www.ars.usda.gov/meetings/Biofuel2007

www.financierarural.gob.mx/2009

www.icrisat.org/2008

www.sagarpa.gob.mx/2010

Xu, Y. 2003. Developing marker-assisted selection strategies for breeding hybrid rice. *Plant Breeding Reviews*. 23: 73-174.

IX. APÉNDICE

Altura de planta.

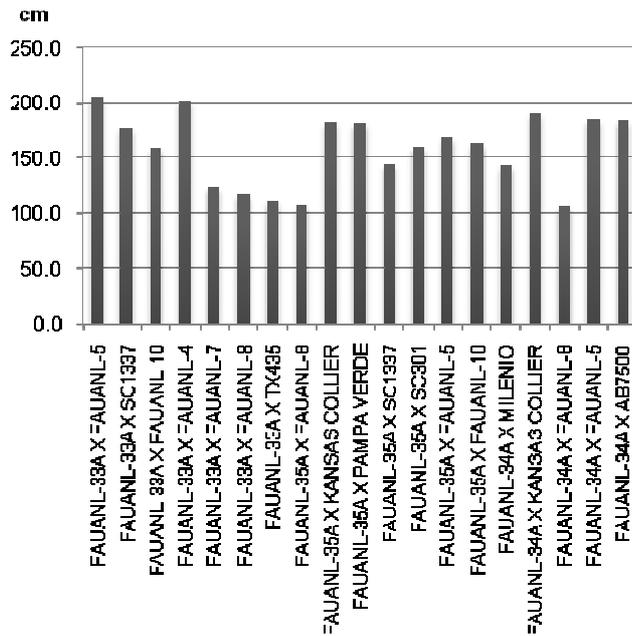


Figura 6. Altura de la planta (ALT PL) en los híbridos.

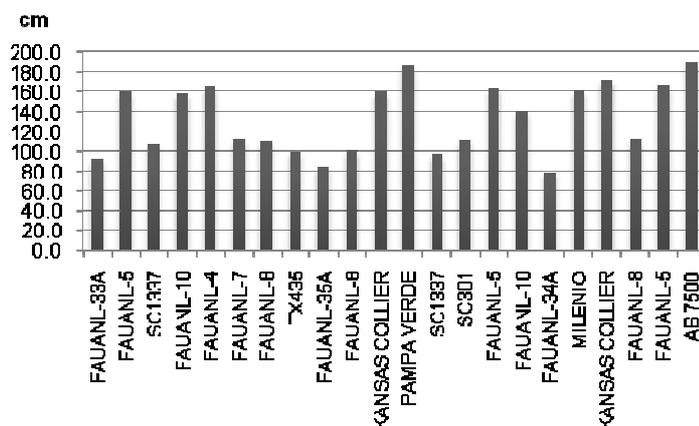


Figura 7. Altura de la planta (ALT PL) en los progenitores.

Diámetro de tallo.

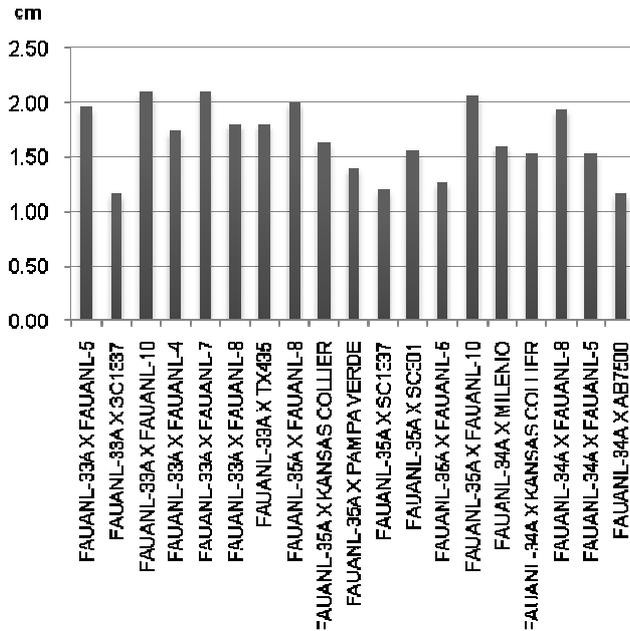


Figura 8. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los híbridos.

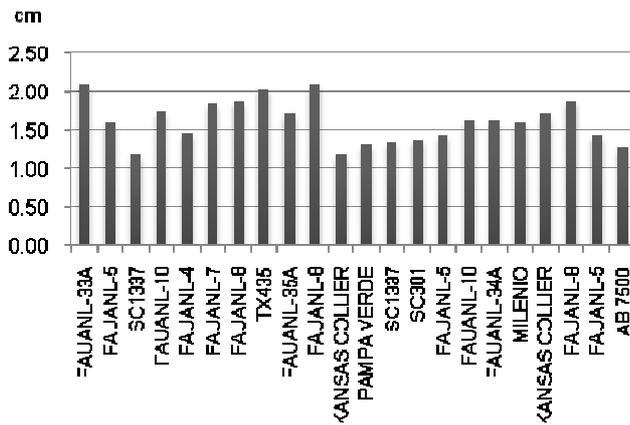


Figura 9. Diámetro de tallo (DIAM TALLO) en los progenitores.

Días a floración.

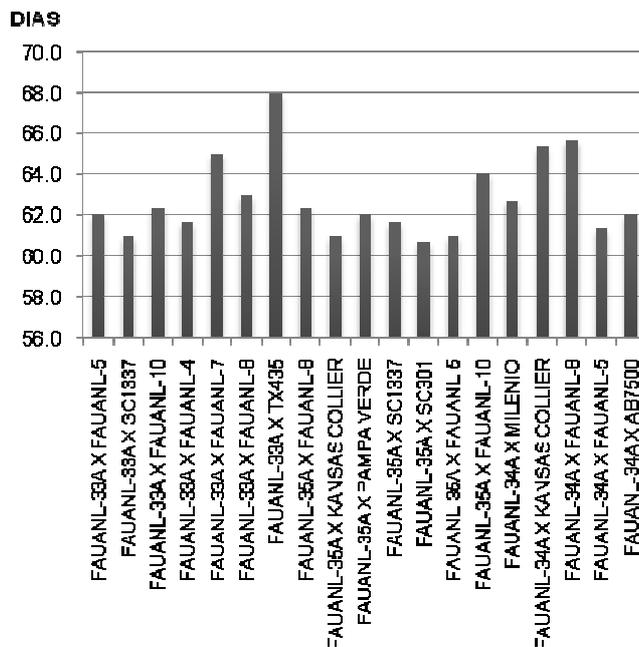


Figura 10. Días a floración (DIAS FLOR) en los híbridos.

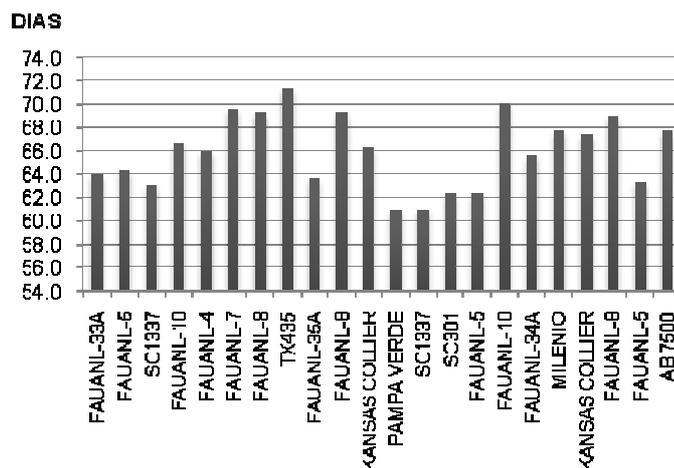


Figura 11. Días a floración (DIAS FLOR) en los progenitores.

