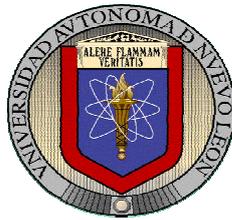


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍOLAS



INTROGRESIÓN DEL CARÁCTER TAMAÑO DE GLUMA CORTA Y  
MENOR COBERTURA DE GRANO EN POBLACIONES MEJORADAS  
Y FORMACIÓN DE LÍNEAS ISOGÉNICAS DE SORGO  
PARA GRANO (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)

Por: LETICIA ALCALÁ SALINAS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ORIENTACIÓN EN  
MEJORAMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS

Marín, N. L. Junio del 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



INTROGRESIÓN DEL CARÁCTER TAMAÑO DE GLUMA CORTA Y  
MENOR COBERTURA DE GRANO EN POBLACIONES MEJORADAS  
Y FORMACIÓN DE LÍNEAS ISOGÉNICAS DE SORGO  
PARA GRANO (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)

Por: LETICIA ALCALÁ SALINAS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ORIENTACIÓN EN  
MEJORAMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS

Marín, N. L., Junio 2009

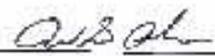
**INTROGRESIÓN DEL CARÁCTER TAMAÑO DE GLUMA CORTA Y MENOR  
GRANO EN POBLACIONES MEJORADAS Y FORMACIÓN DE LÍNEAS ISOGI  
PARA GRANO (*Sorghum bicolor* L. Moench)**

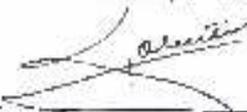
**Aprobación  
Comité Particular de Tesis**

**Asesor Principal**

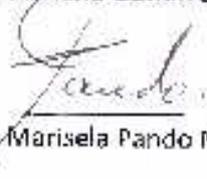
  
\_\_\_\_\_  
Ph. D. Francisco Zavala García

**Coasesores**

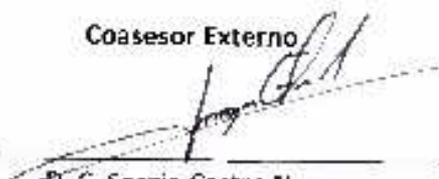
  
\_\_\_\_\_  
D. C. Omar Guadalupe Alvarado Gómez

  
\_\_\_\_\_  
Ph. D. Gilberto Eduardo Salinas García

  
\_\_\_\_\_  
D. C. Adriana Gutiérrez Díez

  
\_\_\_\_\_  
Ph. D. Marisela Pando Moreno

**Coasesor Externo**

  
\_\_\_\_\_  
D. C. Sergio Castro Nava

**Subdirector de Estudios de Posgrado**

  
\_\_\_\_\_  
Ph. D. Francisco Zavala García

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a las Instituciones SAGARPA, CONACYT y la FAUANL, por los apoyos otorgada para la realización de los estudios de este proyecto de investigación.

De SAGARPA especialmente a: Lic. Héctor Hernández Rolón, Ing. Luis Carlos García Albarrán, Lic. José Luis Hernández Carmona, Lic. Eduardo Camarena Gámez. Lic. Rosalba Herrera Vázquez, Lic. Grisel Muñoz Tirado, Ing. Marcia Cristina Vázquez Gonzáles, Javier González, Ing. Ignacio Montes, Ing. Anastacio Montoya, T. A. Jesús González, Yolanda Ibarra, Ociel Garza y Delfina.

A los autores de investigaciones sobre sorgo y maíz, cuyas publicaciones, me ayudaron a comprender mas el cultivo de sorgo y estudiar algunos aspectos sobre mejoramiento.

Al Dr. Francisco Zavala García, Asesor Principal de Tesis; por impartir sus conocimientos y su asesoría sobre mis estudios académicos realizados y su orientación para desarrollar los trabajos de investigación del presente estudio.

A los Coautores que realizaron aportaciones a este proyecto de investigación.

A las instituciones U. de Nebraska. U. de Texas A & M, ICRISAT de la India por los materiales genéticos aportados para realizar esta investigación.

Al INIFAP Río Bravo, Tamaulipas por su colaboración para realizar algunos trabajos importantes en esta investigación, en particular agradezco la valiosa ayuda del M. C. Miguel Ángel García Gracia y especialmente al Dr. Noé Montes García con quien desarrollamos trabajos relacionados con aspectos de los mohos del grano de sorgo.

A la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias de la U.A.T., especialmente al Dr. Sergio Castro Nava quien participó como coasesor externo y al Dr. José Alberto López Santillán, por su valiosa ayuda académica y apoyos recibidos para realizar algunos trabajos relevantes y estudios de esta investigación.

A los profesores de la FAUNAL: DR. Elías Treviño, Dra. Juany Aranda, M. C. Jesús Pedroza, Dr. Rigo Vázquez, Dr. Emilio Olivares, Dr. Rigoberto González, Dr. Roberto Carranza, M.C. Carlos Sandoval y Dr. Alfonso Fernández Delgado, por sus consejos y apoyo durante mi estancia en esta Facultad; también a mis amigos de esta escuela: Jorge, Jacinto, Juanito, Javier, Lalo y Paty Fuantos por su buena disposición y apoyo en mi estancia en esta escuela.

A mi familia (padres, hermanas hermanos y sobrinos) y amigos por su apoyo y cariño recibido en estos años de estudio y dedicación para obtener el doctorado.

A DIOS y Jesús de Nazaret por haberme permitido realizar este deseo de estudiar un poco mas y darme esperanzas a través del ejemplo de la Madre Teresa de Calcuta, quien siendo tan frágil y pequeña realizó grandes obras en beneficio de los necesitados, algunas de sus frases que siempre recuerdo son: ..."la piel se arruga, el pelo se vuelve blanco, los días se convierten en años ...pero lo importante no cambia; tu fuerza y convicción no tienen edad ...detrás de cada línea de llegada hay una de partida... Detrás de cada logro hay otro desafío.....Mientras estés vivo... "vive aunque todos esperen que abandones. No dejes que se oxide el hierro que hay en ti... haz que en vez de lástima te tengan respeto....."

## INDICE

	Página
Índice.....	Vi
Índice de Cuadros.....	X
Índice de Figuras.....	Xiii
Índice de Fotografías.....	Xiv
Índice de Cuadros del Apéndice.....	Xvi
Índice de Fotografías del Apéndice.....	Xix
Resumen Bibliográfico.....	Xxi
Resumen.....	xxiii
Abstract.....	xxvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. Objetivo general.....	3
I.2. Objetivos específicos.....	3
I.3. Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
II.1. La gluma del sorgo.....	5
II.1.1. La gluma, su estructura y función.....	5
II.1.2. La genética del tamaño de la gluma y su cobertura en el grano.....	9
II.1.3. La gluma y la cosecha del sorgo.....	12
II.1.4. Producción y uso del sorgo.....	15
II.2. El mejoramiento del sorgo.....	18
II.2.1. Origen y domesticación del sorgo.....	18
II.2.2. Descripción del sorgo.....	22
II.3. La introgresión de germoplasma exótico en poblaciones mejoradas.....	25
II.4. Formación de líneas isogénicas de sorgo con germoplasma exótico.....	28

II.5	Estimaciones de varianzas genéticas.....	30
II.5.1.	Estudio de la variabilidad genética.....	31
II.5.2.	El análisis de varianza.....	37
II.5.2.1.	El análisis estadístico diseños aumentados y bloques incompletos....	46
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	49
III.1.	Localización y materiales genéticos .....	49
III.1.1.	Localización y clima .....	49
III.1.2.	Materiales genéticos.....	50
III.2.	Introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano de líneas exóticas en dos poblaciones mejoradas de sorgo.....	53
III.3.	Estimación de varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y variables agronómicas.....	63
III.3.1.	Formación de familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	64
III.3.2.	Evaluación de las familias de MH y AH.....	66
III.3.2.1.	Procedimiento para estimar las variables en la población.....	68
III.3.3.	Análisis estadístico.....	70
III.3.4.	Estimación de las varianzas genéticas y fenotípicas, heredabilidad .....	71
III.4.	Formación de líneas isogénicas élite con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	74
IV.	RESULTADOS.....	82
IV.1.	Introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura del grano de líneas exóticas en dos poblaciones mejoradas de sorgo para grano.....	82

IV.1.1.	Caracterización de las líneas exóticas e incremento de semilla de los materiales genético.....	83
IV.1.2.	Primeros cruzamientos para formar las poblaciones $P_1$ y $P_2$ mejoradas mediante la introgresión.....	85
IV.1.3.	Avance generacional $F_1$ a $F_2$ del primer ciclo de cruzamientos .....	86
IV.1.4.	Recombinación de genes en las poblaciones $P_1$ con un ciclo de cruzamientos.....	87
IV.1.5.	Segundo ciclo de cruzamientos.....	88
IV.1.6.	Avance generacional $F_1$ a $F_2$ de los segundos cruzamientos de las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	90
IV.1.7.	Poblaciones recombinantes con dos ciclos de cruzamientos.....	91
IV.2.	Varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas en familias de medios hermanos y autohermanos.....	93
IV.2.1.	Formación de las familias de MH y AH.....	93
IV.2.2.	Evaluación en campo de las familias de medios hermanos y autohermanos en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	94
IV.2.3.	Análisis estadístico de las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	94
IV.2.3.1.	Medias de las familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	94
IV.2.3.2.	Componentes de varianza de las familias de MH y AH.....	99

IV.2.3.3.	Varianza aditiva .....	101
IV.2.3.4.	Varianza de dominancia .....	105
IV.2.3.5.	Varianzas fenotípicas.....	106
IV.3.	Heredabilidad en sentido estrecho.....	108
IV.4	Respuesta predicha a la selección .....	110
IV.5	Formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	112
IV.5.1.	Primer ciclo de cruzamientos y avance $F_1$ a $F_2$	113
IV.5.2.	Primera retrocruza.....	114
IV.5.2.1.	Primer Retrocruzas en plantas $F_2$ ...	114
IV.5.2.2.	Primera retrocruzas en plantas $F_3$ ..	115
IV.5.3.	Segunda retrocruza.....	116
IV. 5.3.1	Segunda retrocruza en plantas $F_2$ ..	116
IV.5.3.2.	Segunda retrocruza en plantas $F_3$ ..	117
V.	DISCUSIÓN.....	120
V.1.	Formación de las poblaciones mejoradas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	120
V.2.	Varianzas genéticas, heredabilidad en sentido estrecho y la respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas en dos poblaciones con introgresión de líneas exóticas.....	123
V.3.	Formación de líneas isogénicas élite con el carácter tamaño gluma corta y menor cobertura de grano.....	134
VI.	CONCLUSIONES .....	136
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	137

## Índice de Cuadros

Cuadro	Título	Página
1	Superficie, producción y valor de la producción del cultivo de sorgo para grano en México.....	17
2	Materiales genéticos utilizados para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones de sorgo adaptadas y la formación de líneas isogénicas élite de sorgo.....	52
3	Actividades realizadas en cada ciclo agrícola para formar las poblaciones mejoradas NESSC7 y NE39R con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	54
4	Tipos de cruzamientos en la población original y la F <sub>2</sub> de las poblaciones NESSC7 y NE39R con las líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	60
5	Ciclos agrícolas realizados para formar las familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R, originales (P <sub>0</sub> ) y con introgresión (P <sub>1</sub> ).....	64
6	Componentes de varianza y esperanzas de cuadrados medios del diseño de Bloques Aumentados (Federer, 2003; Scout y Milliken, 1993).....	71
7	Actividades realizadas para la formación de líneas isogénicas élite de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	75

8	Tamaño de la gluma, cobertura de grano y producción de semilla obtenida de líneas exóticas utilizadas para la introgresión de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones y líneas élite de sorgo para grano.....	84
9	Primeros cruzamientos para la introgresión de germoplasma exótico con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	86
10	Autofecundaciones y producción de semilla obtenida para el avance generacional $F_1$ a $F_2$ del primer ciclo de cruzamientos.....	87
11	Poblaciones recombinantes ( $P_1$ ) derivadas de la introgresión de las líneas exóticas con un ciclo de cruzamientos en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	88
12	Segundo ciclo de cruzamientos para la introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	89
13	Avance generacional $F_1$ a $F_2$ del segundo ciclo de cruzamientos de las poblaciones NESSC7 y NE39R con las líneas exóticas.....	90
14	Medias de NESSC7 y NE39R, poblaciones originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano estimadas en familias de medios hermanos y autohermanos en las localidades de Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	96
15	Varianza aditiva del carácter tamaño de gluma y cobertura de grano y otras características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	104

16	Varianzas de dominancia del carácter tamaño de gluma y cobertura de grano y otras características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	106
17	Varianzas fenotípicas del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano y otras características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín N. L. y Río Bravo, Tamaullipas.....	108
18	Heredabilidad en sentido estrecho del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	110
19	Respuesta predicha a la selección de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano y otras características agronómicas.....	111
20	Segunda retrocruza ( $RC_2$ ) realizada para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	117
21	Segunda retrocruza realizada en plantas $F_3$ seleccionadas en grano maduro para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	118

## Índice de Figuras

Figuras	Título	Página
1	Principales países productores de sorgo para grano....	16
2	Distribución de bloques incompletos, las letras de la A a S corresponden a los genotipos experimentales, los controles son los testigos.....	47
3	Esquema seguido para la formación de las poblaciones NESSC7 (P <sub>1</sub> ), NE39R (P <sub>1</sub> ), NESSC7 (P <sub>2</sub> ) y NE39R (P <sub>2</sub> ) con uno y dos ciclos de introgresión con las líneas exóticas, respectivamente.....	92
4	Esquema de las retrocruzas realizadas en plantas F <sub>2</sub> y plantas F <sub>3</sub> para la formación de líneas isogénicas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	112

## Índice de Fotografías

Fotografía	Titulo	Página
1	Inflorescencias del sorgo. (A) panoja abierta, (B) ramificaciones y eje principal de la panoja, (C) panoja semiabierta, (D) y (E) ramificaciones de líneas exóticas y (F) ramificación de híbrido comercial.....	6
2	La gluma del sorgo. (A) gluma antes de antesis, (B) gluma al iniciar antesis, (C) y (D) glumas en antesis, (E) glumas largas que propician clesitogamia, (F) flor androestéril y (G) glumas durante el desarrollo del grano.....	8
3	Procedimiento seguido para realizar los cruzamientos. (A) identificación de la planta androestéril. (B) planta androestéril con floración completa. (C) introducción del polen de líneas exóticas (polinización), (D) panoja polinizada se cubre para evitar contaminación de polen extraño, (E) panoja trillada individualmente y (F) cada sobre corresponde a la semilla de una panoja cosechada.....	56
4	Cobertura de grano de sorgo. (1) 0 % de grano descubierto, (2) y (3) 25 % de grano descubierto, (4) 50 % de grano descubierto, (5) y (6) 75 % grano descubierto, (7) 100 % de grano descubierto.....	57

5	Longitud de la gluma de sorgo. (A) esteroscopio, (B) ejemplo de la longitud de la gluma.....	58
6	Procedimiento para emasculas plantas fértiles en las líneas élite para la formación de las líneas isogénicas. (A) emergencia de panoja tapada con bolsa de plástico, (B) eliminación de las anteras, (C) panojas sin anteras se tapan con bolsas de papel por un día, (D) panoja emasculada (sin anteras), (E) polinización, (F) panoja ya polinizada.....	77

## Índice de Cuadros del Apéndice

Cuadro	Título	Página
1 A	Parámetros de la Norma Mexicana NMX-FF-037-1994, establecida para regular la comercialización del sorgo para grano en México. ....	146
2 A	Producción de sorgo por regiones del período comprendido de enero del 2004 a enero del 2009.....	147
3 A	Principales países productores de sorgo del período comprendido de enero del 2004 a enero del 2009.....	148
4 A	Registro mensual de datos agroclimatológicos de la Facultad de Agronomía U.A.N.L.....	149
5 A	Surcos sembrados y autofecundaciones realizadas para avanzar de F <sub>1</sub> a F <sub>2</sub> del segundo ciclo de cruzamientos para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 y NE39R.....	150
6 A	Población recombinante NESSC7 (P <sub>2</sub> ) derivada de la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos cosechada en Río Bravo, Tamaulipas (Otoño 2007).....	151
7 A	Población recombinante NE39R (P <sub>2</sub> ) derivada de la introgresión del carácter gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos, cosechada en Río Bravo, Tamaulipas (Otoño 2007).....	152
8 A	Población recombinante NESSC7 (P <sub>2</sub> ) derivada de la introgresión del carácter gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos, cosechada en Marín, N. L. (Otoño 2007).....	153

9 A	Familias de medios hermanos de la población NESSC7 (P <sub>1</sub> ) con un ciclo de introgresión (Otoño 2007).....	154
10 A	Familias de autohermanos de la población NESSC7 (P <sub>1</sub> ) con un ciclo de introgresión (Otoño 2007).....	155
11 A	Familias de medios hermanos de la población NE39R (P <sub>1</sub> ) con un ciclo de introgresión (Otoño 2007).....	156
12 A	Familias de autohermanos de la población NE39R (P <sub>1</sub> ) con un ciclo de introgresión (ciclo agrícola Otoño 2007).....	157
13 A.	Familias de medios hermanos de la población original NESSC7 (P <sub>0</sub> ) (Otoño 2007).....	158
14 A	Familias de autohermanos de la población original NESSC7 (P <sub>0</sub> ) (Otoño 2007).....	159
15 A	Familias de medios hermanos de la población original NE39R (P <sub>0</sub> ) (Otoño 2007).....	160
16 A	Familias de auto hermanos de la población original NE39R (P <sub>0</sub> ) (Otoño 2007).....	161
17 A	Componentes de varianza de las familias de MH y AH de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales y con introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	162
18 A	Primeros cruzamientos y autofecundaciones (F <sub>1</sub> a F <sub>2</sub> ) realizadas para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano .....	163
19 A	Primer retrocruza (RC <sub>1</sub> ) realizadas en plantas F <sub>2</sub> y autofecundaciones de la RC <sub>1</sub> para obtener segregación, para la formación de líneas isogénicas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	165

20 A	Avance $F_2$ a $F_3$ de panojas seleccionadas con menor tamaño de gluma y mayor porcentaje de grano descubierto.....	167
21 A	Primeros retrocruzamientos realizados en plantas $F_3$ derivadas de la selección de panojas con gluma pequeña y mayor porcentaje de grano descubierto.....	168
22 A	Medias, varianzas genéticas, aditiva, de dominancia, ambiental y fenotípica, CVA, CVG, desviación estándar fenotípica, heredabilidad en sentido estrecho y respuesta predicha a la selección para tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas de la población NESSC7 original ( $P_0$ ) y con un ciclo de introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	169
22 A	Medias, varianzas genéticas, aditiva, de dominancia, ambiental y fenotípica, CVA, CVG, desviación estándar fenotípica heredabilidad en sentido estrecho y respuesta predicha a la selección para tamaño de gluma y cobertura de grano y características agronómicas de la población NE39R original ( $P_0$ ) y con un ciclo de introgresión ( $P_1$ ) en las localidades Marín N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.....	170

## Índice de Fotografías del Apéndice

Fotografía	Título	Página
1 A	Ejemplos de panojas de líneas exóticas utilizadas en la introgresión de tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones de sorgo <i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench y en la formación de líneas isogénicas.....	171
2 A	Ejemplos de panojas de líneas exóticas, utilizadas como materiales genéticos en este estudio.....	172
3 A	Ejemplos de panojas de líneas exóticas proporcionadas por el ICRISAT la India. (A) línea utilizada para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones de sorgo, (B), (C) y (D) ejemplos de panojas de líneas exóticas .....	173
4 A	Siembra en macetas de materiales genéticos para asegurar las plantas, en los casos en que se contaba con poca semilla.....	174
5 A	Preparación de semilla y siembra del experimento.....	175
6 A	Poblaciones formadas con un ciclo de introgresión que se utilizaron para formar las familias de medios hermanos y autohermanos.....	176
7 A	Lote de evaluación en campo de las familias de medios hermanos y autohermanos.....	177
8 A	Ejemplos de panojas de las familias de la NESSC7 (A) y (C) población original. (B) y (D) población con introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	178

9 A	Ejemplos de panojas de las familias de la NE39R (A) y (C) población original. (B) y (D) población con introgresión de carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.....	179
10 A	Ejemplos de retrocruzadas, del lado izquierdo se muestran la línea progenitor recurrente y de lado derecho la RC <sub>2</sub> .....	180
11 A	Ejemplos de las gluma y la cobertura de grano de líneas F <sub>1</sub> RC <sub>2</sub> .....	181
112 A	Ejemplos de la gluma cubriendo el grano de sorgo, las líneas MACIA y NAGA WHITE, son originarias de la Universidad de Nebraska, E.U.A.; SC 301 y SC 27914E son originarias de la Universidad de Texas A & M; IS 4648 es originaria del ICRISAT; IS 6700 panoja con glumas que encierran el grano, es originaria del ICRISAT, India.....	182

## RESUMEN BIBLIOGRÁFICO

Nombre: M. C. Leticia Alcalá Salinas  
Lugar de nacimiento: Xicoténcatl, Tamaulipas  
Fecha de nacimiento: 1º de enero de 1956

### Preparación Académica:

Doctorado: Ciencias Agrícolas con Orientación al Mejoramiento de Plantas Forrajeras.

Institución: Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.

Fecha en que se otorgó el grado: 23 de Junio del 2009

Maestría: Producción Agrícola

Institución; Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.

Fecha de egreso; 20 de octubre del 2004

Licenciatura: Ingeniero Agrónoma Fitotecnista

Institución: Facultad de Agronomía Cd. Mante de la U.A.T.

Fecha de egreso 27 de abril del 1981

### Experiencia Profesional

Dependencia: SAGARPA

Fecha de ingreso 1º. Octubre del 1980

Adscripción actual: Distrito de Desarrollo Rural # 157

Puesto actual: Supervisora de Programas y Proyectos

Antigüedad: 28 años

### Distinciones otorgadas

Dependencia SARH-FAO

Fecha 1986

Testimonio Por su participación en el curso sobre formulación y evaluación de proyectos de inversión agroindustrial

Dependencia	FIRA
Fecha	1988
Reconocimiento:	Por su valiosa participación en el curso sobre siembras bajo sistemas de labranza de conservación
Dependencia	Asociación Nacional de Labranza de Conservación
Fecha:	1992
Reconocimiento;	Por su valiosa participación en el Segundo Simposium Internacional sobre Labranza de Conservación
Dependencia	SAGARPA
Fecha:	1992
Reconocimiento	Por su desempeño sobresaliente demostrado en sus funciones encomendadas a su puesto
Dependencia	
Fecha	1997
Reconocimiento	Por su participación en la formación del Grupo de Intercambio Tecnológico "San Fernando".

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en el período de junio del 2005 al mes de abril del 2009, los trabajos de campo, gabinete y laboratorio se realizaron en la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. localizada en Marín, N. L. Parte de los trabajos se realizaron en el INIFAP campo experimental de Río Bravo, Tamaulipas y en la U.A.M.A.C. de la U.A.T. en Cd. Victoria Tamaulipas. Forma parte del proyecto de investigación SAGARPA-CONACYT “CONTROL DEL TAMAÑO DE LAS GLUMAS PARA UNA MAYOR EFICIENCIA Y CALIDAD EN LA COSECHA DEL GRANO DEL SORGO”. El objetivo general fue formar poblaciones mejoradas y líneas isogénicas élite de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano; además, estimar las varianzas genéticas, la heredabilidad y la ganancia genética predicha. Los materiales genéticos utilizados fueron dos poblaciones panmícticas y 27 líneas exóticas proporcionados por las Universidades de Nebraska y de Texas A & M, de los E.U.A. y el ICRISAT en la India, 21 líneas élite obtenidas del INIFAP Río Bravo, Tamaulipas, U.A.M.A.C. de la U.A.T. y F.A.U.A.N.L. En las poblaciones panmícticas se introdujo el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano de líneas exóticas mediante dos ciclos de introgresión; en cada ciclo se efectuaron el primer cruzamiento, autofecundación de la  $F_1$ , segunda cruza en plantas  $F_2$  androestériles, autofecundación y recombinación de plantas androestériles a libre apareamiento, esto permitió formar las dos poblaciones recombinantes ( $P_2$ ) base para hacer selección. La  $F_2$  del primer ciclo de introgresión se dejó a libre apareamiento y se obtuvieron dos poblaciones

recombinantes  $P_1$  que se utilizaron junto con las poblaciones originales para formar 240 familias de MH y 220 familias de AH en NEESSC7 ( $P_0$ ) y ( $P_1$ ); y 160 familias de MH y 180 familias de AH en NE39R ( $P_0$ ) y ( $P_1$ ). Se utilizó el diseño experimental bloques incompletos y el análisis estadístico diseños aumentados se realizó con el programa S.A.S. y con el VARCOM se estimaron los componentes de varianza genética de las familias, utilizados para estimar las varianzas genéticas, fenotípicas, heredabilidad ( $h^2$ ) y la respuesta predicha a la selección ( $R$ ) de tamaño de gluma, cobertura de grano, floración, altura de planta, excersión, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta. En la población NESSC7 ( $P_1$ ) el tamaño de gluma fue 4.05 mm en los MH y en los AH 4.34 mm, la longitud disminuyó 0.5 % y 10.4 %. El grano descubierto fue 66 % en los MH y 70 % en los AH, el porcentaje de GD aumentó el 18 % y 25 % respectivamente. En el tamaño de gluma de la  $P_1$  la varianza fenotípica fue 0.54 los MH y 0.67 para los AH, la varianza aditiva fue 0.26 y la varianza de dominancia 1.12, la  $h^2 = 0.72$ , la  $R = 0.11$ . Para grano descubierto la varianza fenotípica fue 0.64 para los MH y 0.82 para los AH, la varianza aditiva cero y la de dominancia 0.47, la heredabilidad en sentido estrecho 0.02. La  $R = 0.0$  en ambas familias de MH y AH. En la población NE39R ( $P_1$ ) los MH obtuvieron una longitud de la gluma de 4.02 mm y los AH 3.95 mm, el tamaño se redujo 2 % y 1.26 %. El grano descubierto fue 68 % en los MH y 70 % en los AH, se incrementó 11 % y 1.4 %; en los AH, la varianza fenotípica fue 0.27 en los MH y cero en los AH, la varianza aditiva 0.48 y la varianza de dominancia cero, la heredabilidad en sentido estrecho 0.47 y la  $R$  fue 0.08 en los MH y cero en los AH. Para grano descubierto la varianza fenotípica fue cero para los MH y

0.77 para los AH, la varianza aditiva fue cero y la de dominancia 0.47, la heredabilidad en sentido estrecho fue 0.47, la  $R = 0.08$ . Las líneas isogénicas élite se formaron mediante dos procedimientos, en uno la  $RC_1$  se realizó en plantas  $F_2$  y el otro la  $RC_1$  se realiza en planta  $F_3$ , las retrocruzas se realizaron comparando la similitud de la planta con la línea élite (progenitor recurrente) y la panoja que presentó el carácter de mejora de la línea exótica (progenitor donador). Se obtuvieron 32 líneas isogénicas derivadas de la  $RC_1$  en plantas  $F_2$  y 74 líneas isogénicas de la  $RC_1$  en plantas  $F_3$ , 7 líneas exóticas y 21 líneas élite.

## ABSTRACT

This research was conducted during the period between June 2005 to April 2009, at the Agricultural Experimental Station of FAUANL in Marín, N. L., INIFAP Río Bravo, Tamaulipas and U.A.M. Agronomía y Ciencias (UAMAC), U.A.T., Cd. Victoria, Tamaulipas. This project is part of the project SAGARPA-CONACYT “CONTROL DEL TAMAÑO DE LAS GLUMAS PARA UNA MAYOR EFICIENCIA Y CALIDAD EN LA COSECHA DEL GRANO DEL SORGO”. The Objective was the formation of a improved introgression-population and isogenic elite lines with small glums and uncover grain, and the estimation of genetic components of variance (additive and dominance), heritability in narrow sense, predicted genetic gain. To reach this objective we use two random mating populations, 27 exotic lines provided by the University Nebraska, Texas A & M and ICRISAT; and 21 elite lines from INIFAP Río Bravo, Tamaulipas, UAMAC and FAUANL. Exotic lines with small glums and uncovered were crossed into the populations in two introgression cycles using sterile  $F_2$  plants; after this two cycles, free recombination was allowed to create the new population. The population with one cycle of introgression was used to estimate the genetic components of variance, and predicted genetic gain of small glums and uncovered grain, days to flower, plant height, excersion, panicle length, grain yield per plant. The estimation of variances of in NESSC7 was using 120 half-sib families and 110 self-sib families. In NE39R 80 half-sib families and 90 self-sib families were used. The families where random ly assigned to an incompeted block of 10 families and 5 cheks using an Augment Design, the analysis were made using the S.A.S. and the VARCOM option. In NESSC7 the glum size

was 4.05 mm in half-sib families and 4.34 mm in self-sib families, decreased 0.5 % and 10.4 % in both families, respectively. The uncovered grain was 66 % in half-sib and 70 % in self-sib families, increasing 18 % and 25 % for both types of families, respectively, the phenotypic variance in  $P_1$  was 0.524 in half-sib families and 0.673 in self-sib families, the additive variance was 0.26 and the variance of dominance was 1.188, the heritability narrow sense was 0.49 and the predicted gain was 0.107 in half-sib families and 0.539 in self-sib families. For the uncovered grain, the phenotypic variance was 0.24 in half-sib families and 0.818 in self-sib families, additive variance was zero and dominance variance was 0.465. The heritability narrow sense was 0.018 and predicted genetic gain was 0.012 in half-sib families; it decreased 2 % and 1.26 %, respectively; for the uncovered grain the values were 68 % in half-sib families and 70 % in self-sib families; these were higher 11% and 14 %, respectively. The phenotypic variance was 0.264 in half-sib and 1.241 in self-sib families; the additive and dominance variances were zero, heritability narrow sense was 0.24. The predicted genetic gain was 0.41 in half-sib families and zero in self-sib families, for uncovered grain the phenotypic variance were 0.415 in half-sib families and 0.866 in self-sib families; the additive variance was zero and the dominance variance was 0.465, heritability narrow sense was 0.744 and the predicted was 0.107 in half-sib families and zero in self-sib families. The isogenic elite lines were developed at two procedures: (1)  $RC_1$  made in  $F_2$  plant and (2)  $RC_1$  in  $F_3$  plant; 31 isogenic elite lines of first procedure and 74 isogenic elite lines of second procedure used 7 exotic lines (donor progenitor) and 21 elite lines

(recurrent progenitor) were obtained. In both types lines where recovered the 75 % of recurrent parent.

## I. INTRODUCCIÓN

El sorgo es considerado como el cuarto cereal a nivel mundial por su producción y superficie cultivada (USDA-GRAIN, 2009), es una fuente importante para la producción de hidratos de carbono, proteínas y otros nutrientes básicos utilizados en la alimentación de la población humana (Sally *et al.*, 2007; Smith y Frederiksen, 2000). Es un cultivo muy antiguo, posiblemente se cultiva desde hace mas de 10,000 años (Dogget, 1970).

La producción mundial del sorgo es de alrededor de 63.8 millones de toneladas (USDA-ARS, 2009). En México, E. U. A. y otros países se utiliza para la alimentación del ganado bovino, porcino y aves; en otros países de África y Europa, así como también en la India, se utiliza para la elaboración de tortillas, atoles, pan y cerveza. También, se utiliza en la producción de bio-combustibles (USDA, 2007). Este cultivo se desarrolla en grandes extensiones de tierra cultivada, por lo que la cosecha se realiza en forma mecanizada. A pesar de los mecanismos de separación y limpieza del grano de las trilladoras, los granos cosechados contienen impurezas, como son los restos de gluma y de ramificaciones de las inflorescencias.

La industria de alimentos para el ganado en México, procesa anualmente alrededor de 11.0 millones de toneladas de sorgo, de las cuales 6.4 millones de toneladas se producen en México y 4.6 millones de

toneladas son importadas de los E. U. A. La producción nacional se comercializa a través de los centros de acopio; estas bodegas generalmente se localizan en lugares lejanos a los centros de industrialización del grano. Debido a esto, la cosecha se almacena y luego se transporta para su industrialización, como es el caso del estado de Tamaulipas, donde se encuentra el área de mayor producción del país y la cosecha se transporta hacia los estados de consumo, tales como Nuevo León, Michoacán, Jalisco y Guanajuato.

Las operaciones de comercialización para la recepción y almacenamiento del grano están reguladas por la Norma Mexicana NMX-FF-037-1994; en esta norma, los restos de las glumas se consideran como impurezas ó material diferente al grano y se establece un porcentaje de 1.5 % a 4.0 % como límite de su contenido en las cosechas para su recepción (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1994).

Para mejorar la eficiencia y la calidad de la cosecha del sorgo, se pueden desarrollar genotipos con gluma corta y menor cobertura de grano, mediante la introducción de este carácter a partir de líneas exóticas hacia poblaciones adaptadas o en líneas élite, con el propósito de formar poblaciones base para hacer selección y/o formar líneas isogénicas élite de sorgo para desarrollar híbridos.

## **I.1. Objetivo general**

Formar poblaciones mejoradas y líneas isogénicas élite de sorgo de *Sorghum bicolor* L. Moench con gluma corta y menor cobertura de grano y estimar sus varianzas genéticas, heredabilidad y predecir su respuesta a la selección en las poblaciones mejoradas.

## **I. 2. Objetivos específicos**

1. Formar dos poblaciones mejoradas de sorgo para grano con mayor frecuencia del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, para ser utilizadas como fuente de genes.
2. Estimar las varianzas genéticas, heredabilidad y la respuesta predicha a la selección del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano y otras características agronómicas en dos poblaciones de sorgo para grano mejoradas mediante la introgresión de líneas exóticas.
3. Formar líneas isogénicas élite con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano para el desarrollo de híbridos de sorgo para grano.

### I.3. Hipótesis

1. La media del tamaño de la gluma y de la cobertura del grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) se puede reducir a través de la introgresión utilizando líneas exóticas en poblaciones panmícticas.
2. Las varianzas genéticas estimadas en familias de medios hermanos y autohermanos, permiten estimar la heredabilidad y la respuesta predicha a la selección del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones mejoradas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench).

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **II.1. La gluma del sorgo**

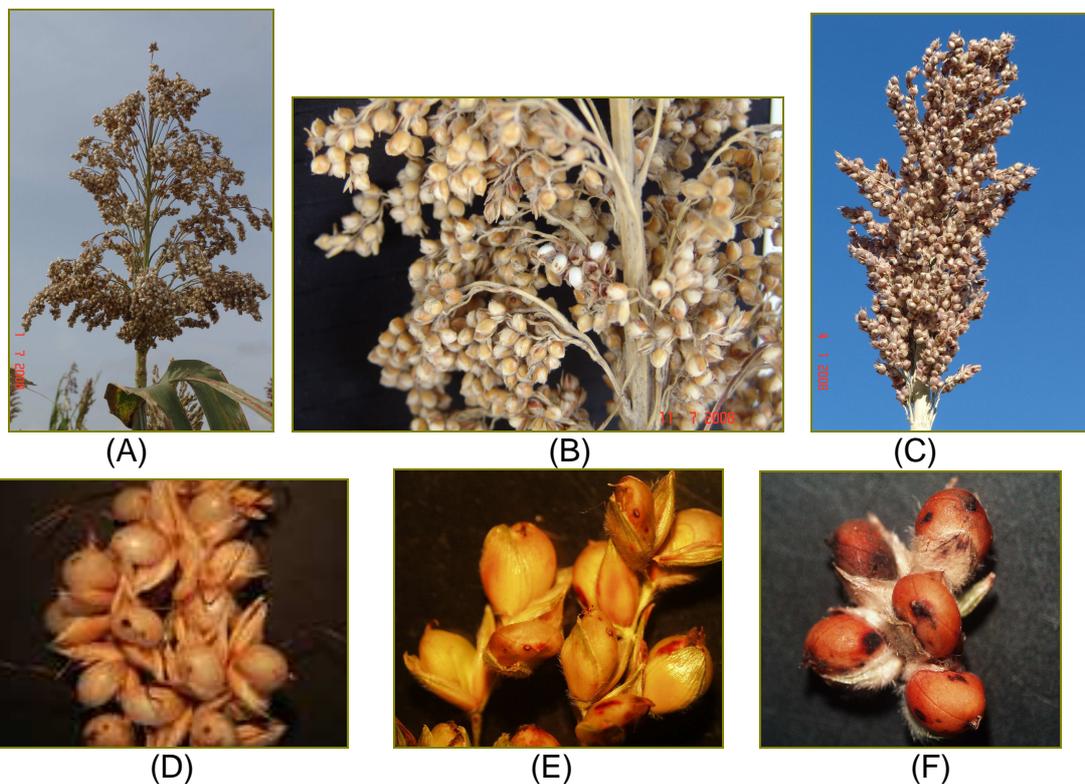
#### **II.1.1. La gluma, su estructura y función**

La gluma forma parte de la inflorescencia, por lo tanto su estructura y función está muy relacionada con la panícula; nombre más común en las gramíneas y específicamente en el sorgo se le conoce como panoja.

En el sorgo, la panoja esta formada por un eje principal del cual, se extienden pequeñas ramas laterales, verticiladas o individuales que se ramifican, en los extremos de éstas se localizan una o varias flores. Cada ramificación y el conjunto de flores se les denominan espiguillas y se consideran como unidades florales (Clayton y Renvoize, 1986). En la Fotografía 2 se muestran algunos tipos de ramificaciones de las inflorescencias.

Las flores o antecios son sésiles (sentadas) debido a que no tienen pedúnculo, están formadas por las lodíoculas, el ovario, los estigmas, los filamentos y las anteras. En la base de cada flor se encuentran las brácteas

y las glumas. Las brácteas (generalmente son dos) y el antecio forman la espícula, en la base de la espícula, sostenida al pedicelo floral se encuentran las glumas (Clayton y Renvoize, 1986) (Fotografía 1).



Fotografía 1. Inflorescencias del sorgo. (A) panoja abierta, (B) ramificaciones y eje principal de la panoja, (C) panoja semiabierta, (D) y (E) ramificaciones de líneas exóticas y (F) ramificación de híbrido comercial.

Las glumas son dos, alternadas, ovaladas lanceoladas o contraídas lateralmente, tienen una o varias nervaduras o pueden ser completamente lisas; pueden ser aristada, mútica, mucronada (punta corta ó aguda), bien diferenciada y termina abruptamente (Clayton y Renvoize, 1986).

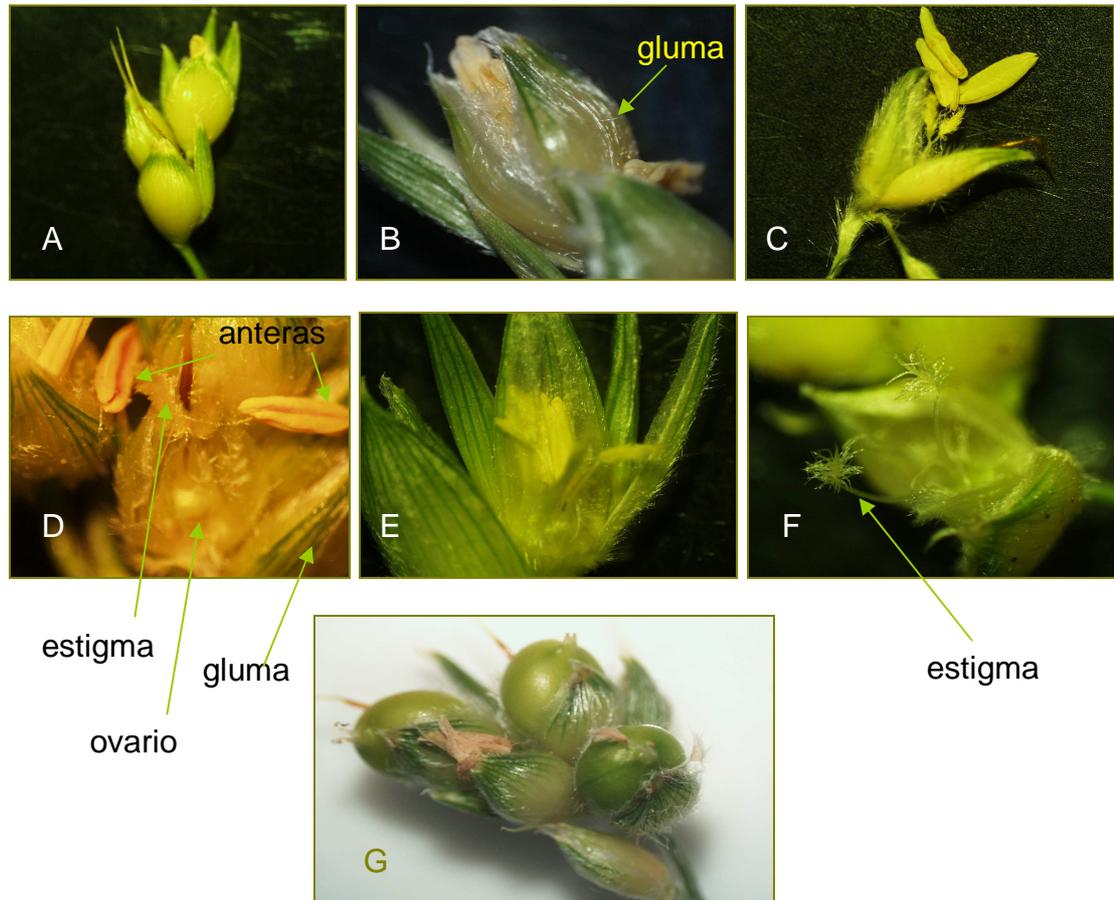
Las glumas, se consideran como hojas modificadas (muy pequeñas), su tejido presenta estructuras fotosintéticas similares a las estructuras

laminares, contienen estomas en el colénquima y un parénquima clorofiliano sub-epidérmico, por lo tanto posiblemente realiza funciones de fotosíntesis (Everety, 2000).

Los tallos y las inflorescencias en las gramíneas se consideran como estructuras no laminares que realizan funciones fotosintéticas, capturan CO<sub>2</sub> y proporcionan un porcentaje de asimilados que forman parte de las reservas del grano durante su desarrollo (Everety, 2000).

Las glumas envuelven los órganos florales, generalmente se encuentran cerradas antes de la floración. Al iniciar la antesis se abren y permiten la emergencia de los órganos florales; posteriormente se abren las anteras, se libera el polen y ocurre la fecundación, después de la floración las glumas se cierran nuevamente. En algunos genotipos permanecen cerradas, por lo tanto, ocurre la cleistogamia, en la Fotografía 2 se muestran las glumas en antesis y desarrollo de grano.

En el desarrollo del grano, las protuberancias de éste abren las glumas quedando cierto porcentaje del grano descubierto, lo que depende del tamaño de la gluma y de su ángulo de abertura. Se han realizado algunos estudios para determinar la variabilidad del tamaño de la gluma y el porcentaje del grano descubierto (ICRISAT, 1999) (Fotografía 2).



Fotografía 2. La gluma del sorgo. (A) gluma antes de antesis, (B) gluma al iniciar antesis, (C) y (D) gluma en antesis, (E) gluma largas que propician cleistogamia, (F) flor androestéril y (G) glumas durante el desarrollo del grano.

La longitud de la gluma y la panoja abierta se han considerado como mecanismos de resistencia al ataque de mohos del grano (Glueck *et al.*, 1977); sin embargo, existen otros mecanismos que dan resistencia al ataque de estos hongos, como son la estructura del pericarpio, los diferentes colores del endospermo (Jambunathan *et al.*, 1992; Menkir *et al.*, 1996; Audilakshmi *et al.*, 1999) y la cobertura del grano (Manuetus *et al.*, 1990); algunos compuestos de fenoles contenidos en la pigmentación de la gluma que protegen al grano del ataque de estos hongos (Manuetus *et al.*, 1988; Audilakshmi *et al.*, 1999). También, el contenido de apigeninidin, flavan-4-ols

y taninos que se encuentran presentes en la etapa de maduración temprana del grano, reducen la presencia de los mohos (Belum *et al.*, 2000).

Cuando se presentan condiciones ambientales de alta humedad relativa y alta temperatura, los mohos del grano de sorgo se introducen a través de heridas o aberturas naturales de los tejidos de las inflorescencias del sorgo. Debido a que las glumas presentan estomas y se abren en forma natural al inicio de la floración, es posible que estén asociadas al ataque de estos hongos (Belum *et al.*, 2000; Montes, 2005).

Las enfermedades mas comunes ocasionadas por el ataque de los mohos son: *Curvularia lunata*, *Fusarium thapsicum*, *Fusarium semitectum*, *Verticillium*, *Alternaria*, *Bipolares* y *Aspergillus* (Castor y Fredriksen, 1980; Prom *et al.*, 2002; Belum *et al.*, 2000; Prom, 2004; Montes, 2005). Estas enfermedades pueden originar problemas de germinación (Prom, 2004). Debido a que parasitan el endospermo del grano afectan el rendimiento, la calidad del grano y el valor comercial del sorgo.

### **II.1.2. La genética del tamaño de la gluma y su cobertura en el grano**

El tamaño de la gluma y la cobertura del grano se consideran como un carácter cuantitativo. Doggett (1970) identificó el gen *Sg* (gluma larga) que domina sobre *sg* (gluma corta o pequeña). Bello y Obiliana (1985)

determinaron (en base a un patrón de segregación 15:1 de gluma larga) que posiblemente dos genes están involucrados en el tamaño de la gluma. Khusnetdinova y El'konin (1989) reportan que dos o tres genes con influencia citoplasmática pueden estar involucrados en la regulación de este carácter. Sherts y Sephens (1996) realizaron una compilación de genes para caracteres de *Sorghum bicolor* L. Moench, mencionando los siguientes genes relacionados con la gluma:

- (A). *gep* = para color púrpura de gluma.
- (B). *gf* = longitud de gluma dominando larga sobre corta.
- (C). *Gr* = gluma color rojo (dominante)
- (D). *Gw1* = gluma arrugada (dominante)
- (E). *Gx* = gluma enrollada
- (F). *sg* = gluma corta (pequeña)

Algunos estudios señalan variabilidad para tamaño de la gluma y su cobertura en el grano de sorgo. House (1985) realizó la siguiente clasificación:

- (A). Grano completamente cubierto (0 % de grano descubierto).
- (B). 25 % de grano descubierto.
- (C). 50 % de grano descubierto.
- (D). 75 % de grano descubierto.
- (E). 100 % de grano descubierto.

El ICRISAT (1999) en la India determinó el tamaño de la gluma en 23,400 accesiones, encontrando en 9,400 accesiones una longitud de 2.4 mm a 2.8 mm, en 9,800 accesiones una longitud de 2.9 mm a 3.4 mm y en 4,200 accesiones una longitud de 3.5 mm a 3.9 mm. También, clasificó 31,025 accesiones, determinando los siguientes porcentajes de cobertura del grano:

- (A). 1,217 accesiones con grano completamente cubierto.
- (B). 11,414 accesiones con un 25 % de grano descubierto.
- (C). 13,395 accesiones con un 50 % de grano descubierto.
- (D). 3,655 accesiones con 75 % de grano descubierto.
- (E). 1,344 accesiones con un 100 de grano descubierto.

En E. U. A., el USDA-ARS (2003) reporta la siguiente clasificación para la cobertura de grano:

- (A). Grano completamente cubierto (0 % de grano descubierto).
- (B). 25 % de grano descubierto.
- (C). 50 % de grano descubierto.
- (D). 75 % de grano descubierto.
- (E). 100 % de grano descubierto.
- (F). Glumas mas largas que el grano.
- (G). Segregación para tamaño de gluma.

### **II.1.3. La gluma y la cosecha del sorgo**

El sorgo se siembra en grandes extensiones de tierra cultivada, principalmente en E. U. A., Argentina y México; por lo tanto, la cosecha se realiza en forma mecanizada utilizando la trilladora o combinada.

La gluma está relacionada con los mecanismos de cosecha del sorgo, debido a que forma parte de la panoja en el sorgo y la maquina cosechadora o trilladora corta la panoja desde su base. Por lo tanto es importante mencionar los mecanismos de operación de la trilladora.

La combinada o trilladora realiza diferentes mecanismos de operación para la recolección de granos de sorgo en el campo. Básicamente se realizan los procesos de: corte de las panojas, transporte del material cortado, desprendimiento del grano, separación de los granos de la paja o residuos de cosecha y limpieza del grano (Chaparro, 1997).

Las panojas se cortan directamente en el campo de producción por el cabezal (mecanismo de corte de la trilladora), el cual está formado por el molinete, barra de corte y la canoa. Posteriormente, el material cortado se transporta hacia el interior de la combinada por el caracol o sinfín; la panoja al mecanismo de trilla, el cual está formado por el cilindro y el cóncavo (Chaparro, 1997).

La trilla se produce debido a la fricción de las panojas al pasar entre las barras del cilindro y el cóncavo. Después existe un proceso de separación del grano de los pedazos de tallo, hojas, gluma y otros residuos de la cosecha. Por último, los granos limpios se depositan en el tanque de la trilladora. Posteriormente, la trilladora coloca los granos cosechados en los camiones para su transporte al centro de acopio o bodega (Chaparro, 1997).

Los mecanismos de limpieza del grano de la trilladora, separan las glumas del grano, pero en algunos genotipos, debido a que la gluma es larga, cubre el grano o se encuentra adherida al grano, algunos fragmentos de las glumas no logran atravesar los orificios del saca-pajas y quedan junto a los granos cosechados. Estos restos de glumas y otros residuos de la cosecha que se encuentran en los granos cosechados, se les denomina material diferente al grano (apreciación personal).

La producción nacional del sorgo se comercializa a través de los centros de acopio y almacenamiento del grano; estas bodegas generalmente se localizan en lugares lejanos a los centros de consumo, que son las industrias de alimentos balanceados. Debido a esto, la cosecha se almacena y luego se transporta hacia los estados donde se localizan los centros de consumo, un ejemplo de esta situación puede ser el Estado de Tamaulipas, donde se localiza el área de mayor producción del sorgo y la cosecha se transporta hacia los Estados Nuevo León, Michoacán, Jalisco o Guanajuato, donde se consume.

La recepción del grano en los centros de acopio y su transporte a los centros de consumo que es la Industria de Alimentos para el Ganado, está regulada por la Norma Mexicana NMX-FF-037-1994, titulada como PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS, ALIMENTOS PARA USO HUMANO-CEREALES-SORGO. ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA; expedida por la Dirección General de Normas, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, establecida para regular la comercialización del Sorgo en México.

La Norma Mexicana NMX-FF-037-1994, tiene como objetivo y campo de aplicación (punto uno) la especificación de las características que debe reunir el sorgo para grano en todas sus variedades para poder ser objeto de comercialización en el territorio nacional. El sorgo se define en la norma en el punto 3.1, como "...grano producido por la remoción o eliminación de las demás partes de la planta derivado de las gramíneas *Sorghum vulgare* en sus variedades e híbridos de estas, con el fin de ser utilizado como ingrediente en los alimentos para animales" (Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, 1994).

En el punto 3.4 de la norma se define el material diferente al grano, como las impurezas y material extraño o cualquier otro tipo de material que no siendo el grano motivo de esta norma, permanezcan en parte que es retenida de acuerdo a la criba de perforaciones circulares de 0.99 mm (2.5/64 de in). Los restos de gluma se consideran como impurezas ó material

diferente al grano y se establece un porcentaje de 1.5 % a 4.0 % de contenido en los granos cosechados, como limite para la recepción.

En el punto 4 de la norma se determinan los parámetros para la clasificación y designación del producto. El sorgo (grano) como objeto de comercialización, se clasifica en cuatro grados de calidad de acuerdo al Cuadro 1 del escrito de la norma (Cuadro 1 A).

#### **II.1.4. Producción y uso del sorgo**

El sorgo para grano ocupa el cuarto lugar en importancia de la producción de cereales a nivel mundial (FAO, 2006). La producción mundial del sorgo reportada a enero del 2009 es aproximadamente de 63.8 millones de toneladas, se ha incrementado en los últimos cinco años alrededor de 6.3 millones de toneladas (10.8 %).

La región con mayor producción es África Subsahariana, produce el 39.5 %, le sigue la región norte de América donde se produce el 28.53 % (USDA-GRAIN, 2009). En el Cuadro 2 A se muestran las regiones productoras de sorgo para grano.

Los principales países productores de sorgo para grano se muestran en la Figura 1 y el Cuadro 3 A (USDA-Grin, 2009); se observa que E.U.A.

aporta el 19 % de la producción Mundial mientras que México aporta el 10 %.

El sorgo es importante en los sistemas productivos que se encuentran en las zonas áridas y semiáridas tropicales, debido a que se adapta bien a las precipitaciones y la baja fertilidad de los suelos. Es una fuente importante de hidratos de carbono, proteínas y otros nutrientes (Sally *et al.*, 2007; Smith y Frederiksen, 2000). Se cultiva en 86 países; India, China, Sudán, Etiopía, Nigeria, Burkina, Malí, E. U. A., México y Centroamérica siembran el 75 % del área total (Rai *et al.*, 1999).

México ocupa el cuarto lugar en la producción mundial del sorgo para grano y en los últimos cinco años ha logrado incrementar la producción 310 mil toneladas (5.3 %) con respecto a la producción del 2004 (5.9 millones de toneladas) (USDA-GRAIN, 2009).

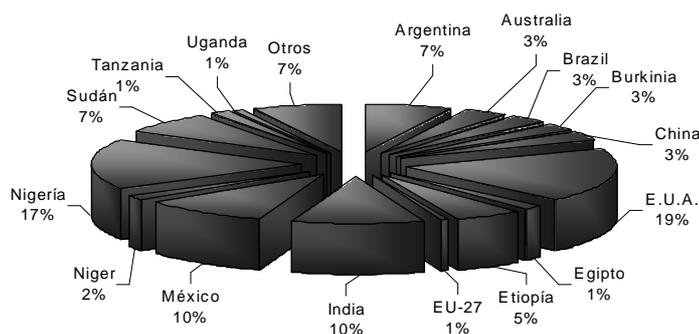


Figura 1. Principales países productores de sorgo para grano.  
Fuente: USDA-Grain. World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service. Office of Global Analysis.

En E. U. A., México, China y otros países el sorgo se industrializa para la producción de alimento para el ganado. En África y otros países de Asia,

el sorgo se utiliza para consumo humano, el grano se utilizan en diversos tipos de fermentados y en panes, se mezcla de 5 % a 20 % con la harina de trigo para elaborar el pan fermentado. También sus cañas y hojas se utilizan como forraje para el ganado y para elaborar miel y biocombustibles, para elaborar material de construcción y extracción de colorantes (ICRISAT, 1974; Rai *et al.*, 1999).

En México se industrializan alrededor de 8,100 millones de toneladas anuales (USDA-GRAIN, 2009) para producir alimentos balanceados para el ganado bovino, porcinos, aves y otros. La producción anual es de aproximadamente 6.2 millones de toneladas (76.5 %) y las importaciones de grano es de 1.9 millones de toneladas (23.5 %) proveniente de los E.U.A.

En México se siembran alrededor de 1'868,974 ha. Los estados con mayor superficie de siembra son Tamaulipas con un 39.4 % y Guanajuato con un 22.3 % (SAGARPA, 2008). La producción de los demás estados se pueden observar en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Superficie, producción y valor de la producción del cultivo de sorgo para grano en México.

Estados	Superficie (ha)	Producción (t)	$\bar{X}$ (t/ha)	Valor (\$/t)	Valor Producción (\$)
Tamaulipas	1'148, 152	2'525,934	2.2	1, 836.00	4,638'802,825.00
Nuevo León	32,933	83,365	2.5	1,825.00	152'179,984.00
Sinaloa	28,208	139,787	5.0	2,021.00	282'567,143.00
Sonora	30,606	69,554	2.3	2,039.00	141'786,481.00
Guanajuato	219,234	1'298,478	5.9	2,017.00	2,619'029,118.00
Michoacán	107,411	499,019	4.6	1,808.00	902'091,436.00
Jalisco	38,586	175,870	4.6	1,368.00	240'502,334.00
Nayarit	55,946	291,922	5.2	2,089.00	609'796,284.00
Otros	207,899	1'154,733	5.6	1,888.00	2,180'136,735.00
Total	1'868,974	6'238,663	4.2		11,766'892,339.00

Nota:  $\bar{X}$  = promedio del rendimiento de grano por ha.  
Fuente: SAGARPA (2008).

## **II.2. El mejoramiento del sorgo**

El fitomejoramiento es un conjunto de métodos y técnicas utilizadas para mejorar genéticamente los cultivos; desde el siglo XX contribuyó a incrementar la producción sobre todo de granos. Por ejemplo, la revolución verde en Asia, creó nuevas variedades de arroz y trigo; en E. U. A. ha mejorado genéticamente el maíz y trigo; en países en desarrollo ha mejorado los materiales genéticos de sorgo, yuca, plátano entre otros (FAO, 2006). Los trabajos de mejoramiento del sorgo, ayudan a resolver algunos problemas de la producción, principalmente mediante la formación de nuevas variedades o líneas con potencial de alto rendimiento y adaptadas a las condiciones agroecológicas específicas de las áreas dedicadas a la producción; para desarrollar cultivo resistentes a la sequía o al ataque de fitopatógenos.

### **II.2.1. Origen y domesticación del sorgo**

Se cree que el sorgo se cultiva desde hace 10,000 años; su domesticación posiblemente se inició en Etiopía y algunos países vecinos, en los 4,000 ó 3,000 años a. C. Fue llevado por comerciantes de África a la India, el Oriente Medio y al Lejano Oriente. En América Latina se introdujo durante los años 1,800 y 1,900 d. C. (Doggett *et al.*, 1970).

Posiblemente el sorgo fue un cultivo muy importante en el continente europeo durante los primeros siglos de la era Cristiana; en escritos del rey Plinio se menciona que fue llevado de la India a Roma; posiblemente se introdujo a China durante el tercer siglo después de Cristo (Martin, 1975). Sin embargo, algunas evidencias de restos antiguos sugieren que nuestros ancestros consumían sorgo durante los primeros años del siglo 8,000 antes de Cristo (Smith y Frederiksen, 2000; Dillon *et al.*, 2007).

Harlan y de Wet (1972) reportaron que los sorgos tipo silvestre, de los que se derivan los cultivados actuales, fueron domesticados en la India y después se introdujeron en África. Sheuring (1979) mencionó que las razas *Kafir* y *Durra* fueron adoptadas y domesticadas en la India y posteriormente se cultivo en asentamientos del río Nilo.

La domesticación del sorgo inicialmente originó panojas abiertas con semillas de tamaño mas grandes y no dehiscentes, se incrementó el número de ramificaciones de las panojas y se disminuyó la longitud del raquis; además, se aumentó el porcentaje de grano descubierto (protuberancia del grano fuera de la gluma). También se originaron diferentes alturas de planta y tipos de inflorescencia. Estos cambios en los factores productivos del sorgo originaron nuevas variedades con alto rendimiento ocasionando los diferentes usos de sorgo actuales, como por ejemplo, alimento para el hombre y para el ganado, forraje, fibras, materiales para construcción y bio-combustibles (Dillon *et al.*, 2007).

El alto rendimiento y la estabilidad de las variedades de sorgo se han desarrollado a través de diversos programas del mejoramiento en África, India, E. U. A. y China; se han seleccionado algunas características como, rendimiento, días a floración, insensibilidad al fotoperíodo, reducción de la altura de la planta, tolerancia a sequía y resistencia a plagas y enfermedades (Reddy *et al.*, citado por Dillon *et al.*, 2007).

La diversidad de los nuevos tipos de sorgo, variedades y razas han originado las actuales poblaciones. También, la selección disruptiva, el aislamiento geográfico y la recombinación de genes, han originado un equilibrio entre la selección artificial que se realiza para mejorar un carácter y la selección natural que busca conservar un carácter silvestre (Dogget, 1970).

La mayor diversidad de *Sorghum bicolor* (L.) Moench se encuentra en el área del África Subsahariana y algunas regiones del noreste de África. Los segundos centros de diversidad están en la India y en China y el tercer centro de diversidad se localiza en Australia, Sureste de Asia y África, donde se encuentran algunas especies nativas. Posiblemente la domesticación se originó en la región del Sub-Sahara de África y después se extendió a la India y China (Harlan y de Wet, 1972).

Algunos sorgo nativos como *caudatum* es más abundante en el este de Nigeria, oriente de Sudán y sur de África; *durra* domina en Etiopía y zonas áridas del continente y cultivos cercanos al Sahara; la raza *durra* se cultiva

en Arabia y Asia menor, algunos tipos de *durra* son cultivadas en India y Burma a lo largo del río Nilo (Harlan y de Wet, 1972).

El sorgo para grano (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) se formó por la selección que realizaron los agricultores durante varios años. La mayor diversidad de esta especie se puede encontrar en la colección mundial del sorgo del ICRISAT que cuenta con 36,724 accesiones, de las cuales 159 aproximadamente son especies silvestres (ICRISAT, 2008).

En el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) del Servicio de Investigación en Agricultura (ARS, por sus siglas en inglés), se encuentran 43,732 accesiones, de las cuales, la mayor parte corresponden a *Sorghum bicolor* spp. (43,308), *S. drummondii* (82), *S. verticillium* (58), *S.* híbridos (36), *S. alum* (30), 167 a *Sorghum* sp. (176) (USDA-GRIN, 2009).

En el Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe se encuentran registradas alrededor de 10,977 accesiones, de las cuales 3,990 accesiones se encuentran en el INIFAP en México; 5,884 accesiones son del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina; 1,099 líneas mejoradas *Sorghum* spp. están en el Banco Base Nacional de Germoplasma, Instituto de Recursos Biológicos del INTA y cuatro variedades mejoradas se encuentran en el Caribbean Agricultural Research Development Institute (CARDI) (IPGRI, 2000).

Las colecciones mundiales del sorgo son una componente importante en los programas del mejoramiento del sorgo que desarrollan las diversas instituciones. Las variedades cultivadas y los híbridos dependen de la diversidad de las fuentes de los materiales genéticos utilizados. La colección más grande del sorgo se encontraba en Nigeria y el oeste de África. Durante los años 1960's parte de la colección mundial del sorgo se envió a la India para formar parte de la Rockefeller Collection (Dillon *et al.*, 2007).

El germoplasma de sorgo se introdujo en los E.U.A. del oeste de África, en proyectos de colaboración con la National Agricultural Research Systems (NARS), ICRISAT e INTSORMIL, para utilizarla en los programas de resistencia a sequía. Como por ejemplo, el Sureño es resistente al ataque de los mohos del grano de sorgo; la SRN39 muestra resistencia a sequía, Malisor 84-7 presenta resistencia al ataque del carbón de la panoja y las líneas Macia y SC 3541 se formaron para alto rendimiento y adaptación (CSIR, 2007).

### **II.2.2. Descripción del sorgo**

La primera descripción la realizó Linnaeus (citado por ICBN, 2005) bajo el nombre de *Holcus Moench*, posteriormente se separó en el género *Holcus*. Son varios los autores que mencionan el origen y evolución del cultivo, entre ellos están: Snowden, de Wet y Huckabay, de Wet y Harlan, Harlan y Doggett (citados por Smith y Frederiksen, 2000).

El sorgo para grano pertenece al grupo de las Monocotiledóneas. Son plantas vasculares, son de ciclo anual y su desarrollo corresponde al de una gramínea. El cultivo del sorgo para grano fue derivado de plantas domesticadas de la subespecie *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *bicolor*, pertenece a la especie *Sorghum bicolor*, de acuerdo a la siguiente clasificación taxonómica (USDA-ARS, 2009):

Reino = plantas

Sub-reino = *Tracheobionta*

Super-división = *Spermatophyta*

División = *Magnoliophyta*

Clase = *Liliopsida*

Sub-clase = *Commelinidae*

Orden = *Poales*

Familia = *Poaceae*

Subfamilia = *Panicoideae*

Tribu = *Andropogonae*

Sub-tribu = *Sorghinae*

Género = *Sorghum* Moench

Especie = *Sorghum bicolor* (L.) Moench

Subespecie = *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp.  
*bicolor*

El género *Sorghum* Moench, nomenclatura aceptada por la International Code of Botanical Nomenclature (ICBN, por sus siglas en inglés) (USDA-ARS, 2009), se subdivide en cinco subgéneros:

- (A). *Eusorghum*
- (B). *Chaetosorghum*
- (C). *Heterosorghum*
- (D). *Parasorghum*
- (E). *Stiposorghum*

De acuerdo con la clasificación de USDA-ARS (2009) el género *Sorghum* Moench contiene cuatro especies:

- (A). *Sorghum alum* Parodi
- (B). *Sorghum bicolor* (L.) Moench, contiene tres subespecies:
  - (a) *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *arundinaceum* (Desv.) de Wet & Harlan (sorgo nativo).
  - (b) *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *bicolor* (sorgo para grano).
  - (c) *Sorghum bicolor* (L.) Moench ssp. *drummondii*. (Nees ex Steud.) de Wet & Harlan (zacate sudán).
- (C). *Sorghum halpense* (L.) Pers. (zacate Johnson).
- (D). *Sorghum propinquum* (Kunth) Hitchc (sorgo).

Doggett (1970) y Dahlberg (2000) señalaron que *S. bicolor* L. Moench fue derivada de *Sorghum Verticilliflorum* y *Sorghum drummondii* en África y *Sorghum halpense* y *Sorghum propinquum* en Asia. Harlan y de Wet (1972) identificaron cinco razas: *bicolor*, *kafir*, *caudatum*, *durran* y *guinea*. Sin embargo, *kafir* y *durra* han contribuido en mayor medida al mejoramiento del

sorgo; por ejemplo, la esterilidad masculina genético-citoplasmático que se utiliza en la producción de semilla híbrida F<sub>1</sub>, los estudios se basaron en el citoplasma de Milo de la raza *durra* y los genes no restauradores en la raza *kafir* (Martin, 1975).

### **II.3. La introgresión de germoplasma exótico en poblaciones mejoradas**

El germoplasma de especies exóticas puede ser razas antiguas, criollas, o germoplasma templado o subtropical, se puede utilizar sin hacer selección para adaptación. Son plantas no adaptadas a ciertos ambientes, forman parte de los recursos genéticos importantes para el mejoramiento de un cultivo, se utilizan como fuentes de genes para resistencia a factores bióticos y abióticos o de algún carácter agronómico que no fue considerado inicialmente en la mejora de un cultivo (Hallauer y Miranda, 1988).

La base genética de una población se puede ampliar mediante la introgresión; esta se refiere a la introducción de germoplasma exótico en materiales genéticos adaptados, la cual, incrementa la variabilidad de los caracteres cuantitativos (Menkir *et al.*, 1993; De Marchi y Biasutti, 1999). Se recomienda la introducción de germoplasma exótico a materiales genéticos adaptados, debido a que la introducción de genes de materiales adaptados a germoplasma exótico es más difícil y lleva más tiempo (Holland, 2004).

Para incorporar el germoplasma exótico en sorgo se pueden utilizar dos métodos, la retrocruza en poblaciones adaptadas y la retrocruza en líneas élite. En el primer caso, si se utiliza como progenitor recurrente la población adaptada se ofrece una amplia base genética de genotipos adaptados y la introgresión de genotipos adaptados permite obtener una población para hacer selección y desarrollar líneas puras adaptadas con el carácter obtenido por las retrocruzas del material exótico. En el segundo caso, si se incorpora el material exótico a líneas élite, las retrocruzas en líneas consanguíneas, permiten obtener menor segregación y menor variación genotípica que en una población (Menkir *et al.*, 1993).

Domagoj *et al.* (2003) evaluaron la retrocruzas en las generaciones  $F_1$  y  $F_2$  y los progenitores donante y recurrente en 18 cruzamientos de maíz forrajero. Determinaron la ganancia genética para hacer selección en base a precocidad; encontraron en la  $F_2$  mayor respuesta para introducir material exótico en poblaciones adaptadas

El germoplasma exótico se puede incorporar en diferentes proporciones; Michelini y Hallauer (1993) realizaron un estudio para determinar el mejor porcentaje de material exótico, utilizaron tres porcentajes del material exótico, 75 %, 50 % y 25 % en siete poblaciones de maíz; encontraron que el mejor rendimiento se registró con el 25 % de germoplasma exótico.

Cuando la media de la población adaptada es mayor que la media de la población exótica, la primer retrocruza ( $RC_1$ ) puede proporcionar una mejor base genética (dos Santos *et al.*, 2000).

Crossa y Gardner (1987) determinaron el potencial de germoplasma exótico para la retrogresión en *Zea mays*, utilizaron la  $F_1$  derivada de una cruce (50 %), familias  $S_1$  derivadas por autofecundación (100 %) y retrocruzas (75 %). La retrocruza resultó con maduración temprana y alto rendimiento, esto posiblemente se debe a que los genes para adaptación no se expresan en la cruce y que la introducción de germoplasma exótico originó un aumento de la variación genética, por lo tanto la cruce se puede utilizar para formar una población base para selección.

La introgresión de germoplasma proveniente de material exótico, contribuye a incrementar la variabilidad en una población para un carácter de herencia cuantitativa. Sin embargo, los valores de las características agronómicas son bajos en las poblaciones  $F_2$  (Bridges y Gardner, 1987).

Ron y Hallauer (1997) mencionaron que en maíz, la incorporación de material exótico puede obtener grandes ganancias genéticas a corto plazo, si quiere introducir germoplasma templado no adaptado a germoplasma tropical o semitropical adaptado.

#### **II.4. Formación de líneas isogénicas de sorgo con germoplasma exótico**

La línea isogénica se puede definir como la conversión de una línea élite (mejorada y adaptada) en otra línea igual pero con otro carácter que se desea incorporar para mejorarla (Márquez, 1988). La incorporación de genes provenientes de material exótico a material élite adaptado se le llama introgresión, se puede efectuar mediante el método de la retrocruza, es una forma eficiente de incorporar un carácter controlado por uno o dos genes (Lourenco y Parterniani, 2000).

El método de la retrocruza o backcross (término en inglés), ha sido utilizado para introducir diferentes dosis de germoplasma para incrementar la frecuencia de genes favorable. Crossa y Gardner (1987) propusieron este método para obtener una media de rendimiento más alto que la que se obtiene con la cruce simple en maíz. Este proceso presenta cierta dificultad debido a que es necesario conservar los alelos favorables de los progenitores élite, ya que son los que contribuyen a la adaptación y que se traduce en un buen rendimiento, junto con el alelo introducido del material exótico.

En una población semiexótica de maíz en apareamiento aleatorio, Gouesnard *et al.* (1996) encontraron que la población podía mantener las frecuencias de los alelo favorables esperadas, basadas en el método de

pedigree, después de dos generaciones de apareamiento aleatorio y una generación  $S_1$  de selección.

También, De Marchi y Biasutti (1999) estudiaron los diferentes porcentajes de material exótico (100 %, 50 %, 25 % y 0 %) incorporado en la  $F_1$  y  $F_2$  de poblaciones adaptadas de maíz y en retrocruzas de progenitores adaptados; encontraron que las retrocruzas fueron superiores a la  $F_2$  debido a que las poblaciones adaptadas tienen un alto porcentaje de alelos favorables para los caracteres que fueron evaluados.

El método de la retrocruza también se utiliza para formar líneas isogénicas de sorgo para incorporar un carácter de mejora. De acuerdo con Márquez (1985) y (Hallauer, 2007) se utiliza cuando se quiere incorporar a una variedad o línea ya adaptada un carácter deseable. Si el progenitor recurrente es homocigótico, como es el caso de las líneas élite, el carácter se recobra rápidamente como si fuera autofecundación, en este caso solo se realizan de dos a tres retrocruzas.

Cuando el carácter deseado es recesivo (el progenitor recurrente es dominante y el progenitor donador es recesivo) se debe de realizar una autofecundación después de cada retrocruza, para que segreguen la plantas homocigóticas recesivas que se van a cruzar con el progenitor recesivo. En la primera retrocruza se obtiene el 50 % del progenitor recurrente y en la segunda retrocruzas se obtiene un 75 % de progenitor recurrente (Márquez, 1988).

El esquema de retrocruzamientos se puede hacer en base a la estructura familiar. Si las plantas que se autofecundan después de cada retrocruza, se cosechan en forma individual y se siembran en el siguiente ciclo panoja por surco, se puede establecer una comparación para determinar la similitud entre la progenie, seleccionando las más parecidas al progenitor recurrente pero que presentan el carácter incorporado, para así continuar con la segunda retrocruza.

## **II.5. Estimaciones de varianzas genéticas**

Los programas de mejoramiento utilizan la variabilidad genética de una población para seleccionar genotipos que poseen el carácter deseado buscando incrementar el valor genético, productivo y económico de un cultivo. Por lo tanto, para iniciar los trabajos de mejora se estudia la variabilidad genética de la población (Lukhele y Obiliana, 1984).

El análisis estadístico de los datos para la caracterización morfológica, se utiliza para estudiar la variabilidad genética de los materiales utilizados para el mejoramiento de un cultivo (IPGRI, 2003).

Una población panmíctica en equilibrio se define como una población donde las frecuencias genotípicas, génicas y gaméticas permanecen constantes, siempre que la población se encuentra en apareamiento

aleatorio, si es grande y no ocurre mutación, migración o selección (Falconer, 1975; Molina, 1992; Hallauer, 2007).

### **II.5.1. Estudio de la variabilidad genética**

La variabilidad de una especie es el resultado de los procesos evolutivos de especiación. Los patrones de la diversidad genética que se encuentran en un cultivo se debe a la interacción de la mutación, migración, recombinación, selección natural o artificial y la deriva genética; además, también ha influido la forma reproductiva de la especie. Por lo general, en las especies alógamas se encuentra mayor variabilidad que en las autógamias. La localización geográfica también se considera como una fuente de variabilidad importante en las especies cultivadas que tienen mayor área de dispersión, generalmente se espera que un mayor rango de dispersión, geográfica se encuentra una mayor variabilidad. Sin embargo, en el proceso de las especies cultivadas, al efectuarse la selección artificial, algunas especies han conservado variabilidad y se ha originado nueva variabilidad con el fin de facilitar el manejo agronómico del cultivo para incrementar el rendimiento (IPGRI, 2003).

Los caracteres que describen el fenotipo de acuerdo con el Instituto Internacional de Recursos Genéticos de las Plantas (IPGRI, 2003),

generalmente describen la morfología y la arquitectura de una planta y se les conoce como descriptores morfológicos; estos pueden ser:

- (A). Caracteres Botánicos-taxonómicos. Caracteres morfológicos que identifican las especies y son comunes a todos los individuos de la especie. Presentan alta heredabilidad y baja variabilidad. En las especies cultivadas se puede encontrar diferentes grados de variabilidad en: el tipo y forma de la hoja, forma del fruto y la flor.
- (B). Caracteres Morfoagronómicos. Son caracteres morfológicos importantes de las especies cultivadas, pueden ser cualitativos y cuantitativos, son los caracteres botanixómicos de la especie mas los caracteres agronómicos, de mejoramiento del cultivo, mercadeo y de consumo.
- (C). Caracteres Evaluativos. Esta parte de la variación sólo se expresa como una respuesta a los estímulos ambientales abióticos y bióticos, generalmente estos caracteres son de tipo cualitativo.

La suma de todas las respuestas de los individuos de una población constituye su variabilidad genética.

Toda la variabilidad producida se almacena entre los individuos de una población; para estudiarla se puede agrupar en dos clases: la que se expresa en el fenotipo y se puede observar a simple vista, y la que no se

expresa fenotípicamente pero está en el genotipo, se encuentra en los procesos o productos internos de una planta. Por lo tanto, es importante diferenciar estas dos clases para determinar la porción de la variabilidad total que forma parte del análisis para la caracterización (IPGRI, 2003).

El objetivo de cualquier programa de mejoramiento es incrementar la frecuencia de los alelos favorables que determinan el carácter de mejora para los ambientes objetivo. La eficacia de los diferentes métodos del mejoramiento se debe a la varianza aditiva y a la correlación entre los caracteres de importancia económica para el desarrollo del cultivo (Hallahuer, 2007).

Los estudios sobre la variabilidad de una población de sorgo ó de cualquier otra especie, proporcionan información de la diversidad genética y morfológica de un carácter con fines de mejora. Estos estudios se realizan mediante el análisis de varianza, con la significancia de los cuadrados medios se determinan los componentes de la varianza genética de un carácter (Bello *et al.*, 2007).

La variabilidad genética de los caracteres, la correlación entre ellos y su importancia económica, se utilizan para determinar la variabilidad genética en las poblaciones base, que se utiliza como fuente de genes en los programas de fitomejoramiento. Esta información también se utiliza para determinar el índice de selección, el cual depende de las frecuencias génicas de la población en estudio (Eckebil *et al.*, 1977).

Bello *et al.* (2007) estudiaron la variabilidad genética en 30 poblaciones de sorgo bajo las condiciones de un ambiente, encontraron alta variabilidad para los caracteres altura de planta, días al 50 % de floración, número de nudos por planta, longitud de la panícula, número de hojas por planta y días al 95 % de maduración; indican que los valores altos de heredabilidad en sentido estrecho y en sentido amplio permiten realizar la selección.

La variabilidad genética se puede determinar a través de un análisis de varianza, a través de la esperanza de cuadrados medios de los genotipos se calcula la varianza de un carácter. La varianza en la expresión de un carácter indica la posibilidad de hacer selección (Bello *et al.*, 2007).

La varianza de un carácter, de acuerdo con Falconer (1975) es la cantidad de variación, los valores se expresan como desviaciones con respecto a la media de la población, la varianza es la media de estos valores al cuadrado. La varianza de un carácter es la varianza fenotípica ( $V_P$ ) y resulta de la suma de la varianza genotípica ( $V_G$ ), mas la varianza ambiental ( $V_e$ ) y la varianza debido a la interacción de G x E (genotipo x ambiente); por su parte, la varianza genotípica es el resultado de la suma de las varianzas aditiva ( $V_A$ ), varianza de dominancia ( $V_D$ ) y la varianza debida a epistásis ( $V_E$ ).

La varianza aditiva es la causa principal del parecido entre parientes, por lo tanto determina las propiedades genéticas observables en una población y la respuesta a la selección. Es la única componente que se

puede determinar directamente a partir de las mediciones de un carácter en una población (Molina, 1992).

Además de la varianzas genéticas, los valores promedio (medias) de un carácter, la heredabilidad, las correlaciones genéticas y las predicciones de ganancias genéticas, son factores que se consideran para obtener mejor eficiencia en los programas de mejoramiento del rendimiento u otros caracteres agronómicos. La magnitud de la expresión genética asociada a los caracteres agronómicos de importancia económica, se utilizan para predecir la respuesta a la selección y para diseñar el tipo de apareamiento en los programas de mejoramiento (Kenga *et al.*, 2006).

Mashark (2006) estudió la variación genotípica de dos poblaciones de sorgo (en la región Subsahariana), estimó componentes de varianza en familias  $S_i$ , para floración fueron de 3.119 y 2.178, para altura de planta fueron 0.012 y 0.014; para rendimiento de grano fueron 20.992 y 13.294 respectivamente en ambas poblaciones. Estimó una varianza de dominancia para floración de -0.003 y -0.111, para altura de planta de -0.002 y -0.001, para rendimiento de grano de 0.094 y 0.014 respectivamente en las dos poblaciones. Este autor reportó una heredabilidad en sentido amplio para floración de 0.91 y 0.90, para altura de planta de 0.87 y 0.88 y para rendimiento de grano de 0.60 y 0.67.

Los componentes de varianza son positivos por definición, cuando resultan valores negativos, al realizar una suma de componentes puede

surgir implicaciones, por lo tanto los valores negativos se consideran con valor de cero (Searle, 1971). Además, los valores negativos de los componentes de varianza que se utilizan para estimar las varianzas genéticas, pueden ser ocasionados por el uso inadecuado de modelos y técnicas experimentales (Hallauer y Miranda, 1988). Sin embargo, un estimador de las varianzas genéticas dependen de su naturaleza estadística (número, repeticiones, técnicas experimentales, otros), pero también depende de las propiedades inherentes de los materiales genéticos evaluados (Sahagún, 2001); pero también, pueden resultar componentes negativos debido a sobrestimaciones de la varianza ambiental y/o un número bajo de familia (Meneses *et al.*, 2002).

En relación a la heredabilidad, algunos autores estimaron diferentes porcentajes para algunos caracteres de sorgo en progenies  $S_1$ . Por ejemplo, en Jan-orn *et al.* (1976) reportaron valores de 0.95 para días a floración (DF), 0.91 para altura de planta (AP) y 0.71 para rendimiento de grano (RG); Ekebil *at al.* (1977) estimaron una heredabilidad de 0.88 para DF, 0.88 para AP y 0.74 para RG; Ross *et al.* (1981) estimaron una heredabilidad para rendimiento de grano de 0.57 y Knapp *et al.* encontraron valores de heredabilidad de 0.81 para DF, 0.73 para AP y 0.65 para RG (Knapp *et al.*; citados por Masahark, 2006).

Kenga *et al.* (2006) reporta en un estudio de sorgo, una heredabilidad en sentido estrecho para floración de 0.54, para altura de planta de 0.77 y para rendimiento de grano de 0.14; además, señala, que estas

características presentaron una correlación negativa con el rendimiento de grano, por lo que, la selección de floración temprana y reducción de altura de planta puede afectar el rendimiento de grano; sin embargo, reportan que la selección para longitud de panoja y el peso de grano, si puede incrementa la producción, debido a que estos factores presentaron una correlación positiva con el rendimiento de grano.

### **II.5.2. El análisis de varianza.**

El método análisis de varianza fue determinado por Fisher para medir la variación; es preciso, flexible y de fácil aplicación, se utiliza para interpretar resultados de los experimentos agrícolas y otros estudios biológicos (de la Loma, 1996).

Además de Fisher, Sewall y Haldane (citados por Hallauer, 2007) desarrollaron la teoría para el estudio de los caracteres cuantitativos y los procedimientos matemáticos y estadísticos para entender e interpretar esta teoría; introdujeron los términos: efecto medio de un alelo, promedio del efecto de sustitución de un alelo, covarianzas de las familias, varianza genética aditiva, diferencias debidas a las desviaciones, varianza no aditiva, coeficiente de consanguinidad, coeficiente de trayectoria y epistásis. Estos conceptos son básicos para el análisis de los caracteres cuantitativos, las

mediciones del fenotipo y la determinación del genotipo se realizan utilizando modelos estadísticos, análisis de regresión; análisis de varianza y otros.

El análisis de los caracteres cuantitativos se efectúa en base a modelos estadísticos, análisis de regresión de las mediciones del fenotipo para determinar el genotipo. Los trabajos desarrollados por los fitomejoradores utilizan estos procedimientos estadísticos para obtener mejores cultivos; algunos de los métodos utilizados son: selección masal, selección por pedigree y pruebas de progenie.

Mather (citado por Hallauer, 2007) inició los estudios de la varianza de genética de poblaciones a través de los componentes de varianza.

La heredabilidad es el componente genético de un carácter, estima la habilidad para transmitirse de una generación a otra. Lush definió la heredabilidad en sentido estrecho ( $h^2$ ) como la porción de la varianza aditiva con respecto a la varianza fenotípica y la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) como la porción de la varianza genética con respecto a la varianza fenotípica; las estimaciones de varianzas genéticas se puede hacer a través de las progenies, familias de medios hermanos, hermanos completos y de autohermanos ( $S_1$  y  $S_2$ ) (Hallauer, 2007).

Hallauer (2007), estudió la heredabilidad para rendimiento de grano en maíz; estimó una heredabilidad en familias de medios hermanos de 0.45 a 0.55; en familias de hermanos completos fue de 0.50 a 0.65; en familias de

autohermanos de 0.70 a 0.85 y en progenies  $S_2$  de familias de autohermanos de 0.80 a 0.92. Las esperanzas de los cuadrados medios de estos resultados establecen que la varianza aditiva es de 1/4 utilizando familias de medios hermanos maternos, en las familias de hermanos completos es de 1/2; en familias  $S_1$  equivale a toda la varianza aditiva y en familias de  $S_2$  es de 3/2 la varianza aditiva.

En las estimaciones de la heredabilidad influye el número de repeticiones y los diferentes ambientes de los experimentos, debido a las diferencias en el error experimental y la interacción genotipo x ambiente y los ciclos de selección. Para el caso de la heredabilidad en rendimiento de grano de maíz, estudios con una sola repetición y un ambiente, Hallahuer (2007) encontró valores de 0.10.

Bello *et al.* (2007) estimaron la variabilidad de los componentes de rendimiento de 30 genotipos, obtenidos de colectas en poblaciones de sorgo para grano (en Adamawa, Nigeria); para floración una varianza genética ( $\delta^2_G$ ) de 829.04 y una heredabilidad en sentido amplio de ( $H^2$ ) de 0.95; para altura de planta encontraron una  $\delta^2_G$  de 24862.8 y una  $H^2$  de 0.93; para longitud de panoja una  $\delta^2_G$  de 769.76 y una  $H^2$  de 0.96 y para peso de granos de la panoja la  $\delta^2_G$  fue de 829.04 y una  $H^2$  de 0.10, señalan que estos resultados indican que los genotipos estudiados mostraron que la expresión de estos caracteres se pueden utilizar en los programas de mejoramiento para realizar selección para alto rendimiento.

La variabilidad genética en poblaciones bajo apareamiento aleatorio, puede determinarse mediante familias de medios hermanos, familias de autohermanos y otro tipos de familias. Algunos estudios en sorgo utilizando familias de medios hermanos maternos reportaron una heredabilidad en sentido estrecho de los componentes del rendimiento siguientes: de 0.20 a 0.32 para número de semillas por panoja, 0.41 a 0.43 para peso de 100 semillas; para rendimiento de grano se reportan valores muy bajos, de 0.13 a 0.60. La heredabilidad en peso de 100 semillas sugiere la posibilidad de hacer mejoramiento para este carácter (Lothrop *et al.*, 1985).

En la Universidad de Nebraska, E.U.A, se estudió la población de sorgo en apareamiento aleatorio NP3R a través de 196 familias de medios hermanos y 196 familias de autohermanos con el fin de realizar selección recurrente, para ampliar la base genética de la población. Para el carácter rendimiento de grano observaron una tendencia de mayor varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ ) en familias de hermanos completos que la  $\sigma^2_A$  varianza de medios hermanos y esta a su vez es mayor que la  $\sigma^2_A$  de  $S_1$  ( $\sigma^2_A - HC > \sigma^2_A - MH > \sigma^2_A S_1$ ), las medias de las familias indican que la depresión por autofecundación y la heterosis son relevantes para este carácter. Además, los componentes de varianza de las familias  $S_1$  no son adecuados para estimar la varianza aditiva. Además, la heterogenidad de las familias de medios hermanos tienden a ser mas estables en mas ambientes que las familias  $S_1$  (Jan-orn *et al.*, 1976).

Jan-orn *et al.* (1976) reporta una heredabilidad en sorgo (en familias  $S_1$ ) para floración de 0.88, altura de planta de 0.71 y para el rendimiento de grano valores muy bajos 0.09. En las familias  $S_1$  fue mayor la respuesta predicha a la selección individual, también, encontró una mayor tendencia de valores mas altos de heredabilidad en días a floración y altura de planta, por lo que recomienda realizar selección masiva (Jan-orn *et al.*, 1976).

Los estudios sobre la herencia de los caracteres cuantitativos es una parte importante en los programas de mejora de un cultivo; el rendimiento, resistencia a enfermedades plagas o sequía u otro carácter que contribuye al rendimiento o que se relacionan entre si, generalmente son caracteres de selección múltiple (Hallauer, 2007).

La variabilidad genética que se genera en los cruzamientos es importante para lograr sostener a largo plazo el mejoramiento de un cultivo. El mejoramiento de plantas busca desarrollar cultivos bien adaptados a las condiciones del ambiente, que les permita expresar el mejor potencial de rendimiento; por lo tanto, es necesario conocer la herencia del carácter y su asociación con otras características agronómicas de importancia económica (Hallauer, 2007).

El cálculo de las varianzas genéticas y la heredabilidad de un carácter se utilizan para determinar la ganancia genética obtenida en una población mejorada con respecto a la población original. También se utilizan para predecir la respuesta a la selección. Estos cálculos son necesarios en los

programas de mejora genética, ya que ayudan a establecer los criterios de selección y los índices de selección (Márquez y Sahagún, 1994).

La varianza genética (heredable) en poblaciones en libre apareamiento, de acuerdo con Fisher (citado por Hallauer y Miranda, 1988) la integran: (1) la porción aditiva asociada con el efecto promedio de los genes; (2) una porción de dominancia debida a interacciones alélicas y (3) una porción debida a interacciones no alélicas o efectos epistáticos. Cockerham y Kempthorne (citados por Hallauer y Miranda, 1988), desarrollaron la teoría de la varianza genética dividiéndola en componentes de varianza;

Para realizar los cálculos de las varianzas genéticas se utiliza el análisis de varianzas. Los datos del ANOVA se equiparan con las esperanzas de los cuadrados medios para estimar las varianzas genéticas. La varianza genética de cada carácter se determina de acuerdo con Hallauer y Miranda (1988) y Clará *et al.* (2007) con la siguiente fórmula:

$$\sigma^2_G = \frac{CM_f - CM_e}{n r}$$

Donde:

$\sigma^2_G$  = varianza genética.

$CM_f$  = cuadrado medio de familias.

$M_e$  = cuadrado medio del error (ambiente).

$n$  = número de tratamientos o genotipos

$r$  = repeticiones.

La estimación de la varianza genética para determinar la composición genética de un individuo o de una población depende del tipo de progenie a evaluar. En el caso de familias de medios hermanos (half-sib en inglés), se consideran como familias originadas por la semilla que se produce en una planta androestéril que fue polinizada bajo apareamiento aleatorio (Sahagún, 2000). La varianza genética entre familias de MH ( $\sigma^2_{mh}$ ) en poblaciones en equilibrio Hardey-Weinberg equivale a 1/4 de la varianza aditiva ( $\sigma^2_A$ ), esto es igual a  $\delta^2_{mh} = 1/4 \delta^2_A$ ; asumiendo que la varianza epistática es cero, entonces la varianza aditiva es:  $\sigma^2_A = 4(\sigma^2_{mh})$ , donde la  $\sigma^2_{mh}$  es la varianza de las familia de medios hermanos (Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1988).

Si la progenie evaluada son familias de autohermanos, estas familias son consideradas como líneas  $S_1$  obtenidas por autofecundación de plantas  $S_0$ ; la varianza genética de las familias de AH ( $\sigma^2_{G^*}$ ) es diferente a la varianza genética bajo apareamiento aleatorio ( $\sigma^2_G$ ) y la  $\sigma^2_A$  es igual a la varianza aditiva de las familias de autohermanos ( $\sigma^2_{A^*}$ ) solo cuando  $p = q = 0.5$  o cuando la dominancia es cero ( $d = 0$ ), por lo tanto, la varianza de dominancia se obtiene de las siguiente manera (Márquez, 1985):

$$\delta^2_{G^*} - \sigma^2_{A^*} = 1/4 \sigma^2_D$$

$$\delta^2_{G^*} = \sigma^2_{A^*} + 1/4 \sigma^2_D$$

$$1/4 \sigma^2_D = \sigma^2_{AH} - \sigma^2_{A^*}$$

$$\sigma^2_D = 4 (\sigma^2_{AH} - \sigma^2_{A^*})$$

Donde:

$\sigma^2_{G^*}$  = varianza genética de las familia de autohermanos

$\sigma^2_{A^*}$  = varianza aditiva de las familias de autohermanos

$\sigma^2_D$  = varianza de dominancia estimada en familias de autohermanos

$\sigma^2_G$  = varianza genética bajo apareamiento aleatorio (MH)

$\sigma^2_A$  = varianza aditiva de bajo apareamiento aleatorio (MH)

En las líneas autofecundadas los componentes de varianza no se expresan como una función lineal debido a la endogamia, al menos que se consideren las frecuencias  $p = q = 1$  sin efectos de dominancia. Para el caso de un locus la covarianza de dos alelos es  $\sigma^2_{A1}$ , por lo tanto  $\sigma^2_{A1} = \sigma^2_A + \beta_1$  donde  $\beta_1$  es la desviación de la varianza aditiva debida principalmente a los efectos de dominancia. La desviación  $\beta_1 = 0$  para el caso  $p = q = 0.5$  ó un modelo completamente aditivo o de no dominancia, donde  $d = 0$  para todos los loci. Las familias originadas por autofecundación incrementan la varianza genética entre las líneas autofecundadas y se reduce la varianza dentro de las líneas autofecundadas al aumentar la endogamia (Hallauer y Miranda, 1988). En relación a la endogamia en el caso de líneas autofecundadas las propiedades genéticas de una población obtenida de una cruce de dos líneas altamente endogámicas, sus genes tienen una frecuencia de 0.5 en toda la población (Falconer, 1975).

De acuerdo con Hallauer y Miranda (1988) si la varianza aditiva de las familias de autohermanos es  $\sigma^2_{A'} = \sigma^2_A + \beta_1$ , considerando  $p = q = 0.5$  y no dominancia:

$$\sigma^2_{A'} + (1/4) \sigma^2_D = \sigma^2_A + \beta_1 + (1/4) \sigma^2_D$$

Donde:

$\sigma^2_{A'}$  = varianza aditiva de las familias de autohermanos.

$\sigma^2_D$  = varianza de dominancia estimada en familias de autohermanos

$\sigma^2_A$  = varianza aditiva bajo apareamiento aleatorio

$\beta_1$  = desviación de la varianza aditiva debida a principalmente a efectos de dominancia.

Una vez obtenida las varianzas aditiva y fenotípica se determina la heredabilidad en sentido estrecho; la fórmula recomendada por Hallauer y Miranda (1988) es:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_A}{\sigma^2_P}$$

Donde:

$h^2$  = heredabilidad en sentido estrecho.

$\sigma^2_A$  = varianza aditiva

$\sigma^2_P$  = varianza fenotípica

Un carácter con alta heredabilidad tiene un componente genético aditivo. La respuesta a la selección depende de la heredabilidad de un carácter en la generación en la que fueron seleccionados los progenitores. (Márquez, 1985).

La heredabilidad es una propiedad de la población, el carácter según el valor estimado se considera como (Márquez, 1985):

- (A) Alta heredabilidad cuando  $0.50 < h^2 < 1$
- (B) Heredabilidad media cuando  $0.25 < h^2 < 0.50$
- (C) Baja heredabilidad cuando  $0 < h^2 < 0.25$

La predicción de la respuesta a la selección solo es válida en principio. La respuesta a la selección está influida por la heredabilidad del carácter en la generación y corresponde a la generación de selección de los progenitores (Falconer, 1975).

La respuesta esperada a la selección en familias de medios hermanos, lo que cambia las frecuencias génicas efectivas de las familias y la respuesta predicha se puede estimar como (Hallauer y Miranda, 1988):

$$R = i \sqrt{1/4 \sigma_A^2} / \sigma_f$$

Donde:

$R$  = respuesta predicha

$i$  = índice de selección

$\sigma_A^2$  = varianza aditiva

$\sigma_{PMH}$  = desviación estándar fenotípica de MH.

### **II.5.2.1. El análisis estadístico diseños aumentados y bloques incompletos**

El método estadístico diseños aumentados o augmented designs es un diseño de bloques incompletos, se utiliza cuando se van a evaluar una cantidad grande de materiales genéticos y para sembrar solo se puede sembrar una repetición. Este diseño permite determinar la heterogeneidad ambiental utilizando repeticiones de los tratamientos testigos en los bloques. El análisis de los datos de los testigos o controles establece un sistema de ajuste para medir con mayor precisión los genotipos sin importar la forma del diseño, ya sea rectangular o cuadrada (Federer, 2005).

En el diseño experimental bloques incompletos, cada bloque no es una repetición y en cada uno de ellos se colocan los mismos testigos-controles, normalmente con materiales homogéneos. En cada bloque los genotipos y los controles se distribuyen en forma aleatoria en cada bloque. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la distribución en campo (Federer 2003).

<b>Bloque I</b>	<b>Bloque II</b>	<b>Bloque III</b>	<b>Bloque IV</b>	<b>Bloque V</b>
Testigo	E	J	Ñ	P
C	G	Testigo	M	Q
A	Testigo	I	O	S
D	F	L	N	Testigo
B	H	K	Testigo	R

Figura 2. Distribución de bloques incompletos, las letras de la A a S corresponden a los genotipos experimentales, los controles son los testigos.

Federer (1956) publicó por primera vez el método diseños aumentado, titulado augmented designs (or hoonuiaku). La publicación corresponde a un estudio que realizó sobre mejoramiento de caña de azúcar en Hawaii, donde utilizó cuatro variedades (A, B, C y D) como controles o testigos y los tratamientos correspondieron a nueve líneas autofecundadas (e, f, g, h, i, j, k, l y m); uno de los objetivos de este estudio fue la comparación de los miembros de los dos grupos de variedades y las líneas. El error experimental lo determinó con las variedades que se repitieron en los bloques. En cada bloque se colocaron las variedades en forma aleatoria y se aumentaron con un grupo líneas autofecundadas, también en forma aleatoria.

En un experimento, se evaluaron 1,560 líneas de trigo; se utilizó un diseño rectangular en mas de dos hectárea; el análisis estadístico permitió identificar tres variedades con mayor rendimiento (Besag y Kempeton, 1986).

Scout y Milliken (1993), establecen un modelo para el análisis estadístico utilizando el Statistical Analysis Systems (S.A.S.) siguiendo el procedimiento VARCOM, el modelo es el siguiente:  $Y_{ij} = \mu + b_i + C_i + X_i(C_i) + \Sigma_{ij}$ , donde:  $\mu$  = media de la familia;  $b_i$  = efecto del bloque;  $\sigma^2 = C_i + X_i(C_i)$  (varianza de las familias);  $C_i$  = efecto de los testigos;  $X_i(C_i)$  = efecto de las familias y  $\Sigma_{ij}$  = error experimental, con este modelo se obtienen los componentes de varianza de familias, bloques y el error experimental.

La precisión de este diseño experimental se determina por el error experimental, el cual se obtiene de las repeticiones y permite diferenciar estadísticamente los tratamientos o genotipos (Rojas, 2005). En diseños aumentados, el diseño de campo es de una sola repetición; sin embargo, el arreglo de las hileras, columnas y testigo-control ayudan a determinar la variación ambiental. Su análisis se puede desarrollar a través del SAS (Fereeder, 2005).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **III.1. Localización y materiales genéticos**

##### **III.1.1. Localización y clima**

El presente estudio se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizada en el municipio de Marín, N. L. Nuevo León, con las coordenadas geográficas: latitud norte  $25^{\circ} 52' 13.5''$  y  $100^{\circ} 02' 22.56''$  longitud oeste, con una altitud de 355 msnm y en el INIFAP Campo Experimental localizado en Río Bravo, Tamaulipas, ubicado entre las coordenadas  $25^{\circ} 57' 53''$  latitud norte y  $98^{\circ} 01' 6''$  latitud este, con una altura de 23 msnm.

De acuerdo con la Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas (SAGARPA-INIFAP-COFUPRO, 2008) en Marín, N. L., la precipitación anual acumulada es de 844.2 mm registrada en el 2008; con las temperaturas promedio anual (T) máxima de  $31.9^{\circ}$  C, mínima de  $17.39^{\circ}$  C y media de  $24.1^{\circ}$  C. La velocidad promedio anual del viento (VV) registrada fue de 4.13 km/h. La dirección promedio del viento (DVV) fue de

184.35 (suroeste) grados azimut. La humedad relativa promedio anual (HT) fue 75.51. La evapotranspiración de referencia (ET) fue de 1,305.4 mm (anual acumulada) y la evapotranspiración potencial (EP) fue de 1,245.25 (anual acumulado). Los registros mensuales se muestran en el Cuadro 4 A.

### **III.1.2. Materiales genéticos**

En este estudio se utilizaron los siguientes materiales genéticos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench):

- (A). Veintisiete líneas exóticas: seis líneas originarias de la Universidad de Nebraska, E. U. A.; siete líneas de la Universidad de Texas A & M, E. U. A. y catorce líneas del ICRISAT en la India.
  
- (B). Dos poblaciones (panmícticas) de sorgo proporcionadas por la Universidad de Nebraska, E. U. A., se denominaron como poblaciones originales.
  
- (C). Veinte líneas élite, proporcionadas por diversas instituciones que desarrollan programas de mejoramiento de sorgo: cinco líneas del INIFAP-SAGARPA Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas; dos líneas de la Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas y

doce líneas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Las líneas exóticas se utilizaron como fuente de genes del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano para la introgresión del carácter en las dos poblaciones adaptadas de sorgo. Para la formación de las líneas isogénicas, se utilizaron las mismas líneas exóticas como progenitor donador del carácter gluma corta y menor cobertura de grano. En las Fotografías 1 A, 2 A y 3 A se pueden observar algunos ejemplos de panojas de las líneas exóticas.

La población NESSC7 se seleccionó por presentar tamaño de semilla grande, mayor calidad del grano y menor contenido de taninos. La población NE39R se seleccionó por su tamaño de semilla grande; sin embargo, presenta menor calidad del grano debido a su alto contenido de taninos. Ambas poblaciones tenían incorporado el gen *ms<sub>3</sub>* que genera plantas androesteriles (hembras).

Las líneas élite se proporcionaron por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Universidad de Nuevo León y el INIFAP, que realizan programas de mejoramiento del sorgo en el noreste del país y cuentan con materiales genéticos que se desarrollaron mediante la selección por su adaptación a varios ambientes y su alto rendimiento de grano por planta.

La lista de materiales genéticos y su origen se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Materiales genéticos utilizados para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en dos poblaciones de sorgo adaptadas y la formación de líneas isogénicas élite de sorgo.

I N S T I U C I O N E S						
Tipo de Material Genético	Universidad de Nebraska, E.U.A.	Universidad de Texas A & M, E.U.A.	ICRISAT, India	INIFAP-SAGARPA Campo experimental Río Bravo, Tamaulipas, Tamaulipas	Unidad Académica Multidisciplinaria de Agronomía y Ciencias U.A.T.	Faculta de Agronomía U.A.N.L.
Líneas exóticas	NAGA-WHITE	SC 301	IS 4647	IS 10185		
	MACIA	SC 27914 E	IS 7600	IS 10772		
	N559R	88 BE 2668	IS 6758	IS 1167		
	N570R	SC 1337	IS 7438	IS 11758		
	N571R	SC 1339	IS 7581	IS 17818		
	IR204	SC 1341	IS 7728	IS 17895		
		SC 1342	IS 7859	IS 17899		
Poblaciones panmíticas	NESSC7					
	NE39R					
Líneas élite				TX 435	LEAC 152	2 L 17473
				TX 430	LEAC 351	5 L 10251
				LRB 204		10 L FA 163
				LRB 104		19 L 22830
				R 5 B		25 L 285-288
						FA 170 1014

## **II.2. Introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano de líneas exóticas en dos poblaciones mejoradas de sorgo**

La introgresión de líneas exóticas en poblaciones panmícticas de sorgo se realizó con el fin de formar dos poblaciones mejoradas con mayor frecuencia de genes para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para la introducción del carácter se realizaron dos ciclos de cruzamientos entre las plantas androestériles de las poblaciones NESSC7 y NE39R y las plantas fértiles de las líneas exóticas fuente del carácter. Además, se realizó avance generacional  $F_1$  a  $F_2$  en el primer ciclo de cruzamientos, con el fin de obtener mayor número de plantas androestériles y asegurar el segundo ciclo de cruzamientos. Después de realizarse este segundo ciclo de cruzamientos, se avanzaron las plantas a  $F_2$  con la finalidad de contar con un mayor número de plantas androestériles y asegurar la mayor recombinación de genes de las plantas adaptadas de las poblaciones y los genes de las líneas exóticas. Los trabajos se desarrollaron durante seis ciclos agrícolas.

Las actividades realizadas en cada ciclo agrícola, con el propósito de lograr la introgresión de genes deseables de las líneas exóticas con uno y dos ciclos de cruzamientos y obtener así las poblaciones recombinantes con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Actividades realizadas en cada ciclo agrícola para formar las poblaciones mejoradas NESSC7 y NE39R con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Ciclo agrícola	Actividad
1 Otoño 2005	Caracterización de las líneas exóticas para tamaño y cobertura de grano.  Primer ciclo de cruzamientos.  Incremento de semilla de las poblaciones originales.
2 Primavera 2006	Avance generacional F <sub>1</sub> a F <sub>2</sub> del primer ciclo de cruzamientos.
3 Otoño 2006	Segundo ciclo de cruzamientos.  Apareamiento aleatorio de la primera introgresión <sup>1</sup>
4 Primavera 2007	Avance generacional F <sub>1</sub> a F <sub>2</sub> de la segunda introgresión
5 Otoño 2007	Recombinación de genes de la segunda introgresión <sup>2</sup>

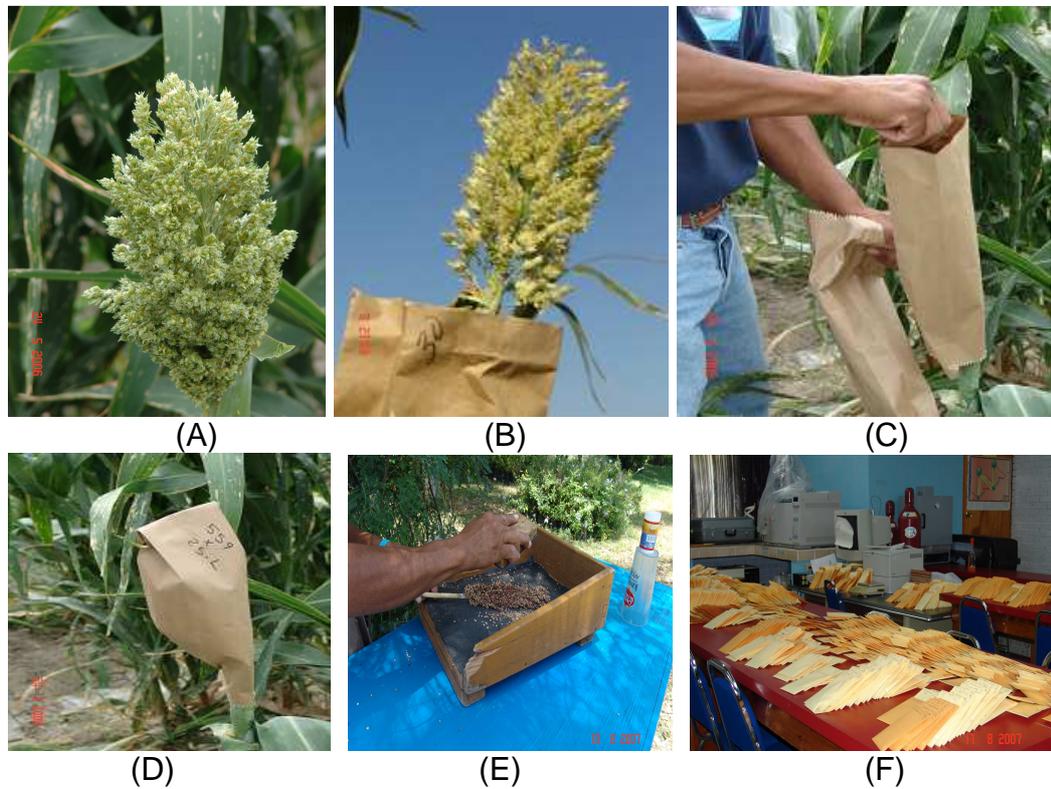
<sup>1</sup> Población recombinante con un ciclo de introgresión; <sup>2</sup> población recombinante con dos ciclos de introgresión.  
Nota: En este cuadro no se incluyó el sexto ciclo agrícola Primavera 2008 que corresponde a la evaluación en campo de las familias, el cual se muestra en el Cuadro 4.

1º. Ciclo agrícola.- Los trabajos de campo se desarrollaron durante los meses de junio a diciembre, correspondientes al ciclo agrícola Otoño 2005. Se realizó el primer ciclo de cruzamiento; cada una de las catorce líneas exóticas seleccionadas se cruzaron con 10 plantas androestériles en cada población (NESSC7 y NE39R). De las líneas exóticas se utilizaron todas las líneas de las Universidades de Nebraska y de Texas A & M de los E.U.A., del ICRISAT solo se utilizó la línea IS 4647, debido a que las demás líneas mostraron fotosensibilidad, impidiendo la sincronía entre la floración masculina y femenina.

Para realizar el primer ciclo de cruzamientos se sembraron tres lotes, uno de 100 surcos de cinco metros de largo de la población NESSC7, el segundo fue de 80 surcos de cinco metros de largo de la población NE39R y el tercer bloque fue de 70 surcos de cinco metros de largo; en este último bloque se sembraron cinco surcos de cada línea exótica. Al iniciar la floración, en los surcos de ambas poblaciones se identificaron las plantas androestériles, se eliminó la parte superior y se taparon con bolsas de papel asegurándose de que no se contaminaran con polen no deseado. Posteriormente se revisaron para observar si la floración estaba completa en toda la panoja y se polinizaron con polen previamente recolectado en forma individual en las panojas de cada línea exótica; las bolsas se identificaron con el tipo de cruzamiento y se dejaron tapadas; se efectuaron diez cruzamientos por cada línea exótica. La cosecha y trilla se realizó en forma individual y la semilla de cada panoja se colocó en un sobre y se identificó como F<sub>1</sub>, el nombre del cruzamiento, la localidad de siembra y ciclo agrícola (por ejemplo, NESSC7 x MACIA F<sub>1</sub> / Marín, N. L. Otoño 2005). El procedimiento seguido para realizar los cruzamientos se muestra en la Fotografía 3.

En este ciclo se realizó un incremento de semilla de las líneas exóticas; para esto, en los surcos de las líneas exóticas al iniciar la floración se taparon panojas con bolsas de papel para que se autofecundaran. Cada panoja se cosechó por separado y se guardó la semilla en sobres individuales previamente identificados. Algunos materiales del ICRISAT se

sembraron en macetas y luego se trasplantaron para asegurar la planta, esto fue debido a la poca semilla disponible (Fotografía 4 A).

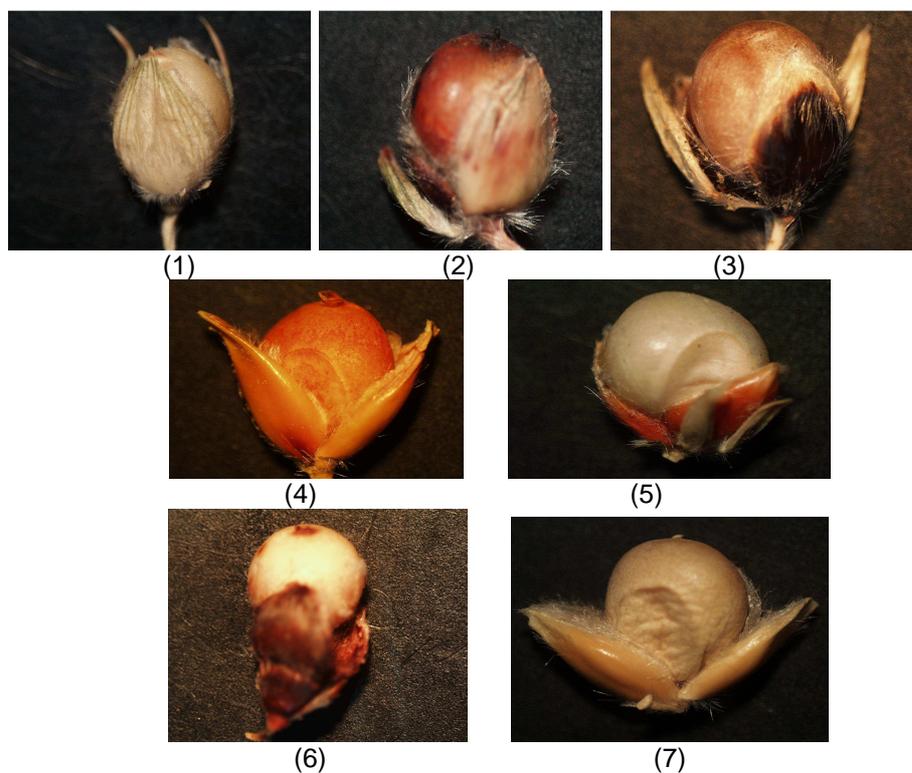


Fotografía 3. Procedimiento seguido para realizar los cruzamientos. (A) identificación de la planta androestéril. (B) planta androestéril con floración completa. (C) introducción del polen de líneas exóticas (polinización), (D) panoja polinizada cubierta para evitar contaminación de polen extraño, (E) panoja trillada individualmente y (F) cada sobre corresponde a la semilla de una panoja cosechada.

Además, antes de realizar la trilla de las panojas de la líneas exóticas, se tomaron muestras de ramificaciones de tres panojas para medir la gluma y determinar el porcentaje de grano descubierto con el fin de caracterizar las líneas exóticas y seleccionar las que presentaron menor tamaño de gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto. Para medir la gluma se seleccionaron nueve granos con gluma de la muestra tomada de cada línea exótica; antes de separar el grano de la gluma, se observó en el

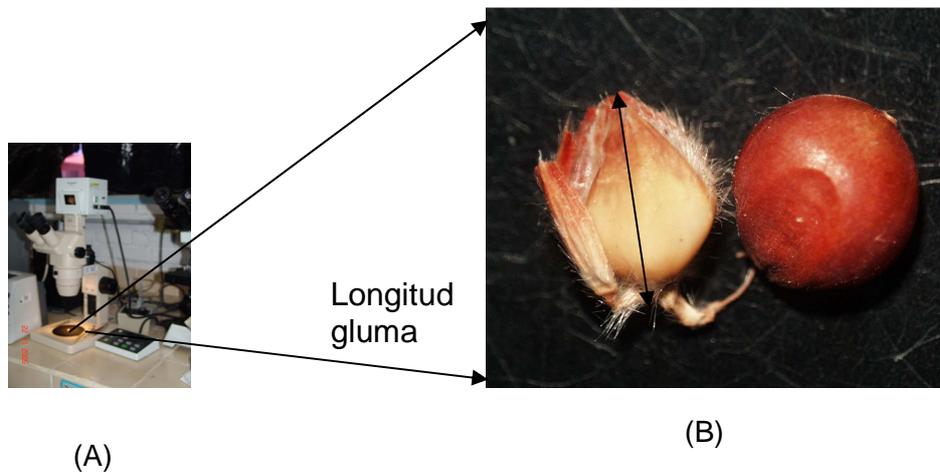
estereoscopia y se determinó la cobertura de grano como el porcentaje de grano descubierto (% GD), de acuerdo a la clasificación de House (1985), ICRISAT (1999) y USDA (2003). Con los valores estimados de las muestras se determinó un promedio de porcentaje de grano descubierto en cada línea. En la Fotografía 4 se muestra un ejemplo de la cobertura del grano y la clasificación utilizada es la siguiente:

- (A). 0 % de grano descubierto (grano cubierto).
- (B). 25 % de grano descubierto.
- (C). 50 % de grano descubierto.
- (D). 75 % de grano descubierto.
- (E). 100 % de grano descubierto.



Fotografía 4. Cobertura de grano de sorgo. (1) 0 % de grano descubierto, (2) y (3) 25 % de grano descubierto, (4) 50 % de grano descubierto, (5) y (6) 75 % de grano descubierto, (7) 100 % de grano descubierto.

Una vez determinado el porcentaje del grano descubierto, se separó la gluma del grano y se midió su longitud con el micrómetro ocular colocado en el lente del esteroscopio, los valores se anotaron en milímetros y se obtuvo un promedio del tamaño de la gluma en cada línea. El esteroscopio y un ejemplo de la longitud de la gluma se muestran en la Fotografía 5.



Fotografía 5. Longitud de la gluma del sorgo. (A) esteroscopio, (B) ejemplo de la longitud de la gluma.

En este ciclo agrícola también se realizó un incremento de semilla de la población original. Para esto, cada población se sembró en un lote aislado, se sembraron veinte surcos de cuarenta metros de largo; al iniciar la floración se identificaron con listones rojos las plantas androestériles y se dejaron a libre polinización. Se cosecharon las panojas por separado y se guardaron en sobres individuales, formando posteriormente un compuesto balanceado correspondiente a la semilla de cada población original.

2º. Ciclo agrícola. Los trabajos se desarrollaron durante los meses de enero a junio del 2006, correspondientes al ciclo agrícola Primavera 2006. Se realizó el avance generacional de F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> del primer ciclo de cruzamientos realizados entre las plantas androestériles de las dos poblaciones (NESSC7 y NE39R) con las líneas exóticas, esto con el fin de obtener un mayor porcentaje de plantas androestériles y para asegurar el segundo ciclo de cruzamientos.

La siembra se realizó panoja por surco; para esto, de cada sobre se tomaron tres gramos de semilla; la siembra se realizó con sembradora experimental. En la Fotografía 5 A se muestran los materiales en sobres y las bolsas de semilla de cada surco para la siembra y la sembradora experimental utilizada.

Se utilizaron cuatro surcos de cinco metros de largo de cada cruzamiento, considerando que fueron siete líneas exóticas las utilizadas, se sembraron 28 surcos de cinco metros de cada población, lo que dio un total de 56 surcos en el lote de siembra de las dos poblaciones.

Al iniciar la floración, se taparon con bolsas diez panojas de cada tipo de cruzamiento para asegurar la cantidad de semilla necesaria para realizar los trabajos programados. La cosecha y trilla se efectuó en cada panoja por separado y la semilla se guardó en sobres individuales identificados como semilla F<sub>2</sub> del tipo de cruzamiento correspondiente.

3º Ciclo agrícola. Este corresponde al ciclo agrícola Otoño 2006. Se realizó el segundo ciclo de cruzamientos entre plantas androestériles F<sub>2</sub> del primer ciclo de cruzamientos y las líneas exóticas con tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para este estudio solo se hace referencia a los siete tipos de cruzamientos entre las plantas androestériles de las poblaciones NESSC7 y NE39R con las líneas exóticas que presentaron menor tamaño de gluma y mayor porcentaje de grano descubierto, estos tipos de cruzamientos se muestran en el Cuadro 4.

La recombinación de genes para obtener la población recombinante P<sub>1</sub> se incluye en el párrafo correspondiente a la formación de las familias.

Cuadro 4. Tipos de cruzamientos realizados en la población original y la F<sub>2</sub> de las poblaciones NESSC7 y NE39R con las líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Población ♀ (plantas androestériles)		♂ Línea exótica (plantas fértiles)
Plantas F <sub>2</sub> de las poblaciones NESSC7 y NE39R	X	NAGA-WHITE
	X	MACIA
	X	SC 301
	X	SC 27914 E
	X	88E 2668
	X	SC 1337
	X	IS4647

Para realizar el segundo ciclo de cruzamientos se sembraron 16 surcos de cada tipo de cruzamientos, de la población NESSC7 se sembraron 112

surcos y lo mismo para la población NE39R, en total se sembró 224 surcos de cinco metros de largo distribuidos en dos bloques. Además, se sembró otro bloque con las siete líneas exóticas utilizando diez surcos de cada línea, en total fueron 70 surcos de cinco metros de largo.

Al iniciar la floración se identificaron las plantas androestériles y se taparon con bolsas de papel; posteriormente, al completarse la floración de la panoja, se recolectó polen en las plantas de los surcos de las líneas exóticas y se polinizaron las plantas androestériles identificadas en los surcos  $F_2$  del primer ciclo de cruzamiento. La cosecha y trilla se efectuó en forma manual cada panoja por separado y la semilla se guardó en sobres individuales, identificados como  $F_1$  / 2º ciclo de cruzamientos, el tipo de cruzamiento, lugar y ciclo agrícola.

4º Ciclo agrícola. Se desarrolló en los meses correspondientes al ciclo agrícola Primavera 2007. Se realizó el avance generacional del segundo ciclo de cruzamientos realizados entre las poblaciones NESSC7 y NE39R con las líneas exóticas fuente del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para esto se sembraron 335 surcos de la población NESSC7 y se realizaron 282 autofecundaciones y de la población NE39R se sembraron 229 surcos y se realizaron 199 autofecundaciones. Las panojas se cosecharon y trillaron por separado y se guardaron en sobres individuales. Posteriormente se formó un compuesto balanceado. Los datos por tipo de cruzamiento de cada línea exótica en ambas poblaciones se muestra en el Cuadro 5 A.

5º Ciclo agrícola. Los trabajos se desarrollaron durante los meses correspondientes al ciclo agrícola Otoño 2007. Se realizó la recombinación de genes de plantas F<sub>2</sub> derivadas del segundo ciclo de cruzamientos entre las poblaciones NESSC7 y NE39R y las líneas exóticas que presentaron tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Cada población se sembró por separado en un lote aislado y al iniciar la floración se identificaron las plantas androestériles con listones rojos y se dejaron a libre polinización. El libre apareamiento de las plantas androestériles permitió la recombinación de los genes de la población adaptada y los genes introducidos de las líneas exóticas para obtener una mayor frecuencia de genotipos con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para lo cual las dos poblaciones se sembraron en dos localidades, en Marín, N. L. en el Campo Experimental de la FAUANL y en Río Bravo Tamaulipas en el Campo Experimental del INIFAP.

La cosecha y trilla se realizó en cada una de las panojas de las plantas androestériles de las dos poblaciones, la semilla se guardó en sobres en forma individual y posteriormente se utilizó para elaborar un compuesto balanceado que se denominó como semilla de las poblaciones recombinantes mejoradas con dos ciclos de cruzamiento, corresponden a la NESSC7 (P<sub>1</sub>) mejorada y NE39R (P<sub>1</sub>) mejorada, ambas se formaron como poblaciones base para hacer selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

### **III.3. Estimación de varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma corta, menor cobertura de grano y variables agronómicas.**

Con el fin de estimar la varianza genéticas, heredabilidad en sentido estrecho y la respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, se estimaron las varianzas aditiva y de dominancia del carácter en dos poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y poblaciones mejoradas ( $P_1$ ) (con un ciclo de introgresión) en dos localidades: Marín, N. L y Río Bravo, Tamaulipas. Las estimaciones de la varianza aditiva se hicieron a través de familias de medios hermanos (MH) y la varianza de dominancia a través de familias de autohermanos (AH), en dos localidades: Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas. Las estimaciones de la varianza aditiva se hicieron a través de familias de medios hermanos (MH), mientras que para las estimaciones de la varianza de dominancia se realizó a través de familias de autohermanos (AH) y sumando las dos se obtuvo la varianza genética del carácter; además, se estimaron las varianzas fenotípica y ambiental, los coeficientes de variación aditiva (CVA) y de variación genéticas (CVG). La formación de las familias se hizo en el ciclo agrícola Otoño 2007 (quinto ciclo agrícola) y en el Primavera 2008 (sexto ciclo agrícola) las familias se evaluaron en campo.

Debido a que las poblaciones originales utilizadas en este estudio (NESSC7 y NE39R), son materiales genéticos adaptados y desarrollados para alto rendimiento de grano por planta, también se estimaron las varianzas genéticas y heredabilidad de los caracteres agronómicos:

floración, altura de planta, excersión, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta.

### III.3.1. Formación de familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R

Las familias de MH y AH se formaron en poblaciones con un ciclo de introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para formar estas poblaciones, se dejó a libre apareamiento las plantas  $F_2$  derivadas de la autofecundación de la  $F_1$  de los primeros cruzamientos. En el Cuadro 5 se describe el procedimiento seguido para la formación de la población con un ciclo de introgresión, las familias de medios hermanos y las familias de autohermanos.

Cuadro 5. Ciclos agrícolas realizados para formar las familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R, originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ )

Ciclo Agrícola	Actividad
3*	Otoño 2006* Apareamiento aleatorio de la primera introgresión ( $P_1$ ).  Compuesto balanceado de semillas de plantas $F_2$ .
5*	Otoño 2007* Formación de las familias de MH y AH en la población $P_0$ y $P_1$ .
6	Primavera 2008 Evaluación de las familias MH y AH de la $P_0$ y $P_1$ en dos localidades.

\* Corresponden a los ciclos escolares y agrícolas descritos en el Cuadro 3.

Ciclo agrícola Otoño 2006. Se sembraron las  $F_2$  obtenidas por autofecundación para realizar la recombinación de genes en lotes aislados, cada población se sembró en 20 surcos de 40 metros de largo. Se dejó a libre apareamiento y las plantas hembras fueron identificadas con listón rojo. Solo se cosechó las panojas marcadas, trillando cada panoja por separado. Con la semilla de cada panoja se formó un compuesto balanceado.

Ciclo agrícola Otoño 2007. Se formaron las familias de medios hermanos (MH) y de autohermanos (AH) de la población con introgresión ( $P_1$ ) y poblaciones originales ( $P_0$ ) de las poblaciones NESSC7 y NE39R. Para formar los dos tipos de familias (MH y AH) en el caso de las poblaciones mejoradas se utilizó la semilla del compuesto balanceado. Se sembraron 46 surcos de cinco metros de largo de cada población. En total se sembraron 184 surcos, 46 correspondieron a cada una de las cuatro poblaciones, dos mejoradas y dos originales.

Para formar las familias de MH, al iniciar la floración se identificaron plantas androestériles y se taparon con bolsas de papel, eliminando previamente la parte superior de la panoja; posteriormente se revisaron y las panojas que mostraron completa floración femenina se polinizaron con una mezcla de polen recolectado en diez panojas fértiles de la misma población, donde se encontraba la planta androestéril y se dejaron tapadas para evitar la entrada de polen no deseado.

En el Cuadro 6 A se muestran las dos poblaciones mejoradas ( $P_1$ ) con introgresión de líneas exóticas

Cada panoja se cosechó y trilló en forma manual y por separado, la semilla se guardó en sobres individuales, cada panoja correspondió a una familia de MH.

Para formar las familias de autohermanos (AH) se identificaron plantas fértiles, se les cortó la parte superior y se taparon con bolsas de papel para asegurar la autofecundación. La cosecha y trilla de cada panoja se efectuó en forma manual y por separado, la semilla se guardó en sobres individuales, cada uno correspondió a una familia de autohermanos.

### **III.3.2. Evaluación de las familias de MH y AH**

En el ciclo agrícola Primavera 2008 se evaluaron las familias de MH y AH de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales y mejoradas con un ciclo de cruzamientos.

Las familias se sembraron en campo bajo el diseño experimental de bloques incompletos en dos localidades: en el campo experimental de la FAUANL localizado en Marín, N. L., Nuevo León y en el INIFAP campo experimental ubicado en Río Bravo, Tamaulipas. En Marín se sembró el 11 de marzo y en Río Bravo se sembró el 7 de marzo. El análisis estadístico se realizó bajo el diseño estadístico de bloques aumentados (augmented designs) determinado por Federer (1956 y 1961); de acuerdo con el modelo estadístico utilizado por Scott y Milliken (1993); Rojas, (2005). En la

Fotografía 7 A se muestran el lote experimental de las familias y en las Fotografías 8 A y 9 A se muestran ejemplos de panojas de las familias.

De la población mejorada  $P_1$  NESSC7 se sembraron 120 familias de MH en 12 bloques y cinco testigos por bloque incompleto; como testigos se utilizaron los híbridos Genex 53, Garst 551, D47, PIONEER 82663 y NK 255. En cada bloque formado por 15 surcos de cinco metros de largo, se colocaron cinco testigos y diez familias de MH distribuidas en forma aleatoria. Para la población original NESSC7 ( $P_0$ ) se efectuó un procedimiento similar.

Para la población mejorada  $P_1$  NESSC7 se sembraron 110 familias de AH en 11 bloques y cinco testigos por bloques incompletos (utilizando los mismos cinco híbridos); cada bloque estuvo formado por 15 surcos de cinco metros de largo, se colocaron distribuidos al azar cinco testigos y diez familias de AH. Para la población original NESSC7 ( $P_0$ ) se utilizó un procedimiento similar.

Para la población mejorada NE39R ( $P_1$ ) se sembraron 80 familias de MH y cinco testigos en ocho bloques. Cada bloque estuvo formado de diez familias de MH y cinco testigos distribuidos en forma aleatoria. Para las familias de MH de la NE39R ( $P_0$ ) se siguió el mismo procedimiento.

Para la población mejorada NE39R ( $P_1$ ) se sembraron 90 familias de AH y cinco testigos; en cada uno de los bloques se colocaron diez familias de

AH y cinco testigos. Un procedimiento similar se utilizó para distribuir las familias de AH de la población original NE39R ( $P_0$ ).

### **III.3.2.1. Procedimiento para estimar las variables en la población**

Cada surco de cinco metros correspondió a una familia y se consideró como la unidad experimental. Las mediciones de las variables se realizaron en la etapa de grano maduro con excepción de floración. Para la medición de las variables se utilizó el siguiente procedimiento:

- (A). Floración. Se contaron los días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas estuvieran en floración en cada surco o familia.
- (B). Altura de planta. Se midió la longitud en centímetros, desde la base del suelo hasta el ápice de la panoja, se midieron cinco plantas y se determinó el promedio por familia.
- (C). Excursión. Se midió en centímetros desde la lígula de la hoja bandera hasta la base de la panoja en cinco plantas y se estimó un promedio en cada familia.
- (D). Longitud de la panoja. Se consideró el largo de la panoja en centímetros, se midió desde su base hasta el ápice, se obtuvo un promedio por familia.

(E). Rendimiento de grano por planta. Se cortaron cinco panojas de plantas en competencia completa, se trillaron y se determinó el peso promedio en gramos ajustados al 17 % de humedad en cada familia.

(F). Para las variables tamaño de gluma corta y menor cobertura del grano, se utilizó el siguiente procedimiento.

En cada una de las cinco panojas que se cortaron para determinar el rendimiento, se tomó una muestra de tres ramificaciones; de cada ramificación se tomó un grano por panoja, en total se midieron 15 granos con gluma por cada familia. Antes de medir la gluma se observaron los 15 granos en el esteroscopio y se determinó el porcentaje de grano descubierto (% GD) en base a la clasificación realizada por el ICRISAT (1999), que se mencionó anteriormente.

Posteriormente, al ir determinado la cobertura de los tres granos de cada panoja, se separó la gluma y se midió su longitud con el micrómetro ocular colocado en uno de los lentes del esteroscopio. Para el análisis estadístico, se determinó en cada familia un valor promedio del tamaño de la gluma en milímetros y la cobertura del grano se estimó como el porcentaje de grano descubierto.

### III.3.3. Análisis estadístico

Para el análisis de varianza se utilizó el método de diseños aumentados. El análisis estadístico se realizó con el programa computarizado Statistical Analysis System (SAS) con base en el modelo recomendado por Federer (2003) y Scout y Milliken (1993):

$$Y_{ij} = \mu + b_i + C_i + X_i(C_i) + \Sigma_{ij} \quad [ 1 ]$$

De este modelo se deriva el siguiente, donde los dos efectos  $C_i$  y  $X_i(C_i)$  se pueden expresar como  $\delta^2$ :

$$Y_{ij} = \mu + b_i + \delta^2 + \Sigma_{ij} \quad [ 2 ]$$

Donde:

$\mu$  = media de la familia

$b_i$  = efecto del bloque

$\delta^2 = C_i + X_i(C_i)$  (varianza de las familias)

$C_i$  = efecto de los testigos

$X_i(C_i)$  = efecto de las familias.

$\Sigma_{ij}$  = error experimental

De acuerdo con el modelo, el ANOVA considera como fuente de variación los efectos de los testigos, de las familias, bloque y el error experimental. Para cada fuente de variación se determinó el componte de varianza correspondiente a través del SAS, utilizando el programa estadístico VARCOM. En el Cuadro 6 se muestran las esperanzas de los

cuadrados medios determinados con los componentes de varianza, de acuerdo con Federer (2003); Scout y Milliken (1993).

Cuadro 6. Componentes de varianza y esperanzas de cuadrados medios del diseño de Bloques Aumentados (Federer, 2003; Scout y Milliken, 1993).

Fuente de Variación	Componente de Varianza VARCOMP	Esperanzas de Cuadrados Medios
Testigos	$C_i$	$\delta_e^2 + 0.05 \delta_b^2 + 3 \delta_{X(C)}^2 + 4.7 \delta_c^2$
Familias	$X(C_i)$	$\delta_e^2 + 0.70 \delta_b^2 + 35 \delta_{X(C)}^2$
Bloque	Bloque	$\delta_e^2 + 4.27 \delta_b^2$
Error	Error	$\delta_e^2$

$\delta_b^2$  = Varianza de bloques

$\sigma_{X(C)}^2$  = Varianzas de las familias (MH ó AH).

$\sigma_c^2$  = Varianza de los testigos

$\delta_e^2$  = Varianza de error

### III.3.4. Estimación de las varianzas genética y fenotípica y heredabilidad.

Con los componentes de varianza de las familias de medios hermanos (MH) y de autohermanos (AH) se determinó las varianzas genéticas y fenotípicas. De acuerdo con Falconer (1975), la varianza genotípica y la varianza fenotípica se determinan con las siguientes fórmulas:

#### Varianza Genotípica:

$$V_G = V_A + V_D + V_E$$

$V_G$  = varianza genotípica

$V_A$  = varianza aditiva

$V_D$  = varianza de dominancia

$V_E$  = varianza de epistasis

Con la varianza de las familias de medios hermanos se estimó la varianza aditiva y la varianza de las familias de autohermanos (AH) se utilizó para calcular la varianza de dominancia, de acuerdo con Hallauer y Miranda (1988) y Márquez (1985) las fórmulas son:

Varianza aditiva:

$$4\sigma_f^2 = \sigma_A^2$$

Donde:

$\sigma_f^2$  = Varianza de las familias de MH

$\sigma_A^2$  = Varianza aditiva

Varianza de dominancia:

$$\sigma_D^2 = 4 (\sigma_{A^*}^2 - \sigma_{AH}^2)$$

Donde:

$\sigma_D^2$  = Varianza de dominancia

$\sigma_{A^*}^2$  = Varianza aditiva estimada en familias de MH

Las varianzas se estimaron para el caso de cero epistásis y para la varianza de dominancia se consideró las frecuencias de  $p = q = 0.5$  de acuerdo con Márquez (1985).

La varianza fenotípica ( $\sigma_F^2$ ) se determinó con la varianza aditiva ( $\sigma_A^2$ ) y la varianza de dominancia ( $\sigma_D^2$ ) y la varianza ambiental ( $\sigma_e^2$ ):

$$\sigma_F^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_e^2$$

La varianza ambiental corresponde a la varianza del error experimental:  $\delta^2_e =$  error experimental.

Con la varianza aditiva y la varianza fenotípica se calculó la heredabilidad en sentido estrecho ( $h^2$ ), de acuerdo con Hallauer y Miranda (1988):

Heredabilidad en sentido estrecho :

$$h^2 = \frac{\delta^2_A}{\delta^2_F}$$

$h^2$  = Heredabilidad en sentido estrecho

$\delta^2_A$  = Varianza aditiva

$\delta^2_F$  = Varianza fenotípica.

La predicción de la respuesta a la selección se hizo utilizando familias de MH con las fórmulas presentadas por Márquez (1985).

$$R = i \ 1/4 \ \sigma^2_A / \ \sigma_p$$

R = respuesta predicha a la selección

$i$  = intensidad de selección (a una presión de selección seleccionada)

$\sigma^2_A$  = varianza aditiva

$\sigma_p$  = desviación estándar fenotípica de MH

Para determinó los coeficientes de variación aditiva (CVA) y genética (CVG), para interpretar la varianza aditiva y la varianza genética de forma mas precisa, se utilizaron las siguientes fórmulas (Kenapp *et al.* 1987; Moreno *et al.*, 2002; Bello *et al.*, 2007):

$$CVA = \sqrt{\delta^2_A / \bar{X}} \times 100 \quad \text{y} \quad CVG = \sqrt{\delta^2_G / \bar{X}} \times 100$$

Donde:

CVA = coeficiente de variación aditiva

$\sqrt{\sigma^2_A}$  = desviación estándar aditiva

$\bar{X}$  = media del carácter.

CVG = coeficiente de variación genética

$\sqrt{\sigma^2_A}$  = desviación estándar genética

Con esta fórmula se estimó el coeficiente de variación genética, sustituyendo la varianza aditiva por el valor de la varianza genética.

### **III. 4. Formación de líneas isogénicas élite con tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano**

Para formar las líneas isogénicas élite de sorgo con tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, se introdujo el carácter de las catorce líneas exóticas a las veinte líneas élite adaptadas y con alto rendimiento de grano por planta. Se utilizó el método de la retrocruzas descrito por Márquez (1985), se consideró el progenitor recurrente como dominante y el progenitor donador como recesivo. Se formaron dos tipos de líneas isogénicas, en una se realizó la primer retrocruza o RC<sub>1</sub> en plantas F<sub>2</sub> obtenidas por autofecundación de la F<sub>1</sub> derivada de la cruce de las líneas élite como progenitor hembra y las líneas exóticas como progenitor macho. En el otro tipo de líneas isogénicas, la primer retrocruzas se realizó en plantas F<sub>3</sub> obtenidas de panojas que fueron seleccionadas en las plantas F<sub>2</sub>

cosechadas, por presentar gluma corta y menor cobertura de grano. En ambos tipo de líneas se realizaron dos retrocruzas, utilizando las líneas élite como progenitor recurrente y las líneas exóticas como progenitor donador. Las líneas exóticas y las líneas élite utilizadas para la formación de las líneas isogénicas se muestran en el Cuadro 2 (donde se muestran la lista de materiales genéticos de este estudio).

Para formar las líneas isogénicas élite con el tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano a través de los dos tipos de retrocruzamientos se utilizaron seis ciclos agrícolas, en el Cuadro 7 se mencionan las actividades realizadas en cada ciclo.

Cuadro 7. Actividades realizadas para la formación de líneas isogénicas élite de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Núm	Ciclo Agrícola	Primero tipo de retrocruza	Segundo tipo de retrocruza
1	Otoño 2005	Primer ciclo de cruzamientos	Primer ciclo de cruzamientos.
2	Primavera 2006	Avance de $F_1$ a $F_2$	Avance de $F_1$ a $F_2$
3	Otoño 2006	Primer retrocruzas en plantas $F_2$ .	Avance de $F_2$ a $F_3$
4	Primavera 2007	Avance de $F_1$ a $F_2$ de la $RC_1$ en plantas $F_2$	Primer retrocruza en plantas $F_3$
5	Otoño 2007	Segunda retrocruzas $RC_2$	Avance de $F_1$ a $F_2$ de la $RC_1$ en plantas $F_3$
6	Primavera 2008	Similitud entre progenie y progenitor recurrente, en plantas $F_2$ $RC_2$	Segunda retrocruzas en plantas $F_3$

1º Ciclo agrícola. Se desarrolló durante los meses de julio a diciembre del 2005, correspondientes al ciclo agrícola Otoño 2005. Se realizaron los primeros cruzamientos entre plantas élite, que se emascularon para ser utilizadas como hembras y cruzarlas con las plantas fértiles de las líneas exóticas. Para esto se sembró un bloque de 100 surcos de cinco metros de largo donde se colocaron las veinte líneas élite, cada una en cinco surcos de cinco metros de largo; además se sembró un lote de 42 surcos de cinco metros de largo, donde se colocaron las catorce líneas exóticas, de las cuales se sembraron tres surcos de cada una de ellas.

Para los cruzamientos se procedió a emascular plantas de las líneas élite. Para realizar la emasculación, en los surcos correspondientes a cada línea élite, al presentarse la hoja bandera e iniciar la emergencia de la panoja, se colocaron bolsas de plástico, la acción del calor y de la humedad del interior son factores para eliminar el polen de la flores. Cuando la panoja presentó floración completa, se quitó la bolsa de plástico sacudiendo con cuidado para quitar las anteras de la panoja; se eliminaron las ramificaciones que aún no florecían y se taparon con bolsas de papel. Al día siguiente, se sacudieron nuevamente las panojas cuidando de no dejar polen, se le colocó una bolsa nueva y se polinizaron con el polen previamente recolectado en forma individual en cada una de las líneas exóticas.

La cosecha y trilla se realizó en cada panoja por separado y la semilla se colocó en sobres individuales. El procedimiento para la emasculación se muestra en la Fotografía 6.



Fotografía 6. Procedimiento para emasculación de plantas fértiles en las líneas elite para la formación de las líneas isogénicas. (A) emergencia de panoja tapada con bolsa de plástico. (B) eliminación de las anteras. (C) panojas sin anteras se tapan con bolsas de papel por un día. (D) panoja emasculada (sin anteras). (E) polinización, (F) panoja ya polinizada.

2º ciclo agrícola. Los trabajos se desarrollaron durante los meses del período de enero a junio del 2006, correspondientes al ciclo agrícola Primavera 2006. Se autofecundaron diez plantas  $F_1$  derivadas de los primeros cruzamientos entre las líneas elite con las líneas exóticas con el fin de obtener la  $F_2$  segregante. En este ciclo se sembraron tres bloques de 100 surcos de cinco metros de largo cada uno; en ellos se colocaron dos surcos de cada tipo de cruza realizadas entre las 20 líneas elite y las siete líneas que fueron seleccionadas por mostrar menor tamaño de gluma y mayor porcentaje de grano descubierto.

Para realizar las autofecundaciones y obtener plantas  $F_2$ , al iniciar la floración se taparon con bolsa de papel las panojas de quince plantas en los surcos de cada tipo de cruzamiento. Las panojas se cosecharon en forma individual. La semilla de cada panoja se guardó en un sobre en forma individual, se identificó como semilla  $F_2$  y el tipo de cruzamiento.

3º ciclo agrícola. Se desarrollo en los meses del ciclo Otoño 2006. Se realizó la primer retrocruza en plantas  $F_2$  de las cruza entre las líneas élite y las líneas exóticas utilizando como progenitor recurrente la línea élite. Además, se realizaron autofecundaciones para obtener la  $F_3$ . Para esto se sembraron diez bloques de 100 surcos de cinco metros cada uno, donde se colocaron en dos surcos las  $F_2$  derivada de los diferentes tipos de cruzamientos.

Para realizar las retrocruzas, al iniciar la floración se seleccionaron plantas parecidas al progenitor recurrente y al emerger las panojas, se taparon con bolsas de plástico y se emascularon siguiendo el mismo procedimiento señalado anteriormente, se polinizaron con el polen recolectado en forma individual en cada una de las líneas élite (progenitor recurrente). La cosecha y trilla se realizó manualmente en cada una de las panojas, la semilla se guardó en sobres individuales y se identificaron como semilla de  $F_1$  RC<sub>1</sub> y el tipo de cruzamiento, lugar y ciclo.

Además de las retrocruzas, al inicio de la floración se taparon cinco panojas de plantas parecidas al progenitor recurrente para que se

autofecundaran. Después de la cosecha, se seleccionaron las panojas con menor tamaño de gluma y mayor porcentaje del grano descubierto, la semilla se guardó en sobres individuales y se identificó como semilla  $F_3$  de la primera cruce entre la línea élite y la línea exótica.

4º ciclo agrícola. Los trabajos se desarrollaron durante el ciclo agrícola Primavera 2007. Se realizaron autofecundaciones de las plantas  $F_1$  de la primera retrocruza ( $F_1 RC_1$ ) para obtener la  $F_2$  segregante. También, se realizó la primera retrocruzas en plantas  $F_3$  derivadas de la primera cruce de las líneas élite con las líneas exóticas.

Para realizar las autofecundaciones se sembraron 10 bloques de 100 surcos de cinco metros de largo con las diferentes tipos de Retrocruzas; de cada una se colocaron dos surcos, al inicio de la floración se taparon las panojas de cuatro plantas que se seleccionaron por su parecido con el progenitor recurrente.

Se sembró un bloque de 50 surcos donde se colocó la semilla  $F_1$  de la primer retrocruza ( $F_1 RC_1$ ) realizada en plantas  $F_2$  derivadas de la primera cruce; en forma intercalada se colocó el progenitor recurrente para facilitar la comparación entre la  $F_2$  y el progenitor recurrente. Al iniciar la floración se taparon las panojas de plantas que se seleccionaron por ser parecidas al progenitor recurrente. Las panojas se cosecharon y se trillaron por separado, la semilla se guardó en sobres y se identificó como semilla  $F_2$  de la primera retrocruza ( $F_2 RC_1$ ).

5º ciclo agrícola. Los trabajos se establecieron en el período del ciclo agrícola Otoño 2007. Se realizó la segunda retrocruza en plantas  $F_2$  derivadas de la primera retrocruza y de la  $F_2$  del primer cruzamiento. También se autofecundaron las plantas  $F_1$  derivadas de la primera retrocruza en plantas  $F_3$ .

Para la segunda retrocruza de la plantas  $F_2$  se sembró un bloque de 50 surcos de cinco metros de largo; en 26 surcos se colocaron los diferentes tipos de  $RC_1$  y las líneas progenitoras recurrentes se sembraron en dos surcos con el fin de facilitar la recolección del polen. Al iniciar la floración en los surcos de la  $RC_1$  se seleccionaron tres plantas en base a su similitud con el progenitor recurrente, se taparon las panojas al ir emergiendo estas para emascularlas y seguir el mismo procedimiento descrito anteriormente. Se polinizaron con el polen de las plantas del progenitor recurrente (líneas élite); la cosecha y trilla se realizó en forma individual y la semilla se guardó en sobres y se identificó como semilla  $F_1 RC_2$ .

Para realizar las autofecundaciones se sembraron tres bloques de 100 surcos de cinco metros de largo cada uno. Los diferentes tipos de cruzamientos se colocaron panoja por surco. Los progenitores correspondientes se colocaron en forma intercalada para poder comparar la similitud de la progenie y el progenitor recurrente. Al iniciar la floración se seleccionaron las plantas mas parecidas a la línea élite correspondiente y se taparon con bolsas de papel para que se autofecundaran.

Se colocó la  $F_3$  de los tipos de cruzamientos, panoja por surco, y se colocó en forma intercalada el progenitor recurrente correspondiente a cada tipo de cruce. Al iniciar la floración, en los surcos de la  $F_3$  de cada cruzamiento se emascularon tres plantas siguiendo el procedimiento indicado y se polinizaron con el polen de la línea élite progenitora (recurrente). Las panojas se cosecharon en forma separada y la semilla se guardó en sobres individuales, se identificó  $F_1$  de la primera retrocruza ( $F_1$  RC<sub>1</sub> plantas  $F_3$ ).

6°. Ciclo Agrícola. Corresponde al ciclo agrícola Primavera 2008. Se observó similitud entre la RC<sub>2</sub>  $F_2$  y el progenitor recurrente, para esto se sembró un surco de la RC<sub>2</sub>  $F_2$  y enseguida el progenitor recurrente, se escogieron las plantas similares a la línea élite y las panojas con gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto. Además, se realizó la RC<sub>2</sub> de las plantas  $F_3$  derivadas de panojas seleccionadas con menor tamaño de gluma y mayor porcentaje de grano descubierto, el procedimiento utilizado para efectuar la retrocruza en plantas emasculadas fue el indicado anteriormente.

## IV. RESULTADOS

### IV. 1 Introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura del grano de líneas exóticas en dos poblaciones mejoradas de sorgo para grano

Mediante la introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano las poblaciones NESSC7 (mejorada para tamaño de semilla grande, mayor calidad de grano y menor contenido de taninos) y NE39R (mejorada para tamaño de semilla grande, menor calidad y mayor contenido de taninos), se obtuvieron dos poblaciones recombinantes con un ciclo de introgresión NESSC7 ( $P_1$ ) y NE39R ( $P_1$ ) y dos poblaciones recombinantes con dos ciclos de de introgresión NESSC7 ( $P_2$ ) y NE39R ( $P_2$ ). En la Fotografía 6 A se muestran las poblaciones en campo formadas con un ciclo de introgresión, que se utilizaron para formar las familias de AH y MH.

Las poblaciones con un ciclo de introgresión fueron utilizadas como materiales genéticos para estimar las varianzas genéticas (aditiva y de dominancia), la heredabilidad (en sentido estrecho) y la repuesta predicha a la selección para tamaño de gluma corta, cobertura de grano y características agronómicas; las poblaciones con dos ciclos de introgresión

corresponden a las dos poblaciones mejoradas NESSC7 (P<sub>2</sub>) y NE39R (P<sub>2</sub>) que se pueden utilizar para hacer selección para obtener genotipos con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

#### **IV.1.1. Caracterización de las líneas exóticas e incremento de semilla de los materiales genéticos**

En el ciclo Otoño 2005, de las seis líneas exóticas que se caracterizaron para el tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano de la Universidad de Nebraska, se encontró una media del tamaño de la gluma de 4.4 mm y un 42 % GD, las líneas que presentaron menor longitud fueron MACIA (4.1 mm y 75 % GD) y NAGA-WHITE (4.2 mm y 75 % GD), también se seleccionó la línea N559R debido a que presentó un tamaño de gluma de 4.4 mm y 75 % de GD (Cuadro 8).

De las siete líneas obtenidas en la Universidad de Texas A & M se observó un promedio de 4.5 mm del tamaño de la gluma y un 61 % de GD; las líneas que mostraron el menor tamaño y mayor porcentaje de GD fueron: 88 BE2668 (3.7 mm y 75 % de GD) y SC 301 (4.3 mm y 100 % GD) respectivamente; sin embargo, algunas líneas que presentaron un tamaño de gluma mayor que el valor promedio fueron seleccionadas debido a que presentaron mayor porcentaje de grano descubierto, estas líneas fueron: SC 27914E (4.8 mm y 50 % GD) y SC 1337 (4.9 mm y 75 % de GD) (Cuadro 8). De las 14 líneas proporcionadas por el ICRISAT solamente la línea IS 4647

Cuadro 8. Tamaño de la gluma, cobertura de grano y producción de semilla obtenida de las líneas exóticas utilizadas para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones y líneas élite de sorgo para grano.

Material genético		Producción semilla (g)	Tamaño de gluma (mm)	Cobertura del grano (% GD)
Tipo	Nombre			
<u>Universidad de Nebraska A &amp; M, E.U.A.</u>				
Poblaciones	NESSC7	1,129.0		
	NE39R	39.0		
Subtotal		1,168.0		
Líneas	NAGA WHITE	517.7	4.2	75
Exóticas	MACIA	1,042.5	4.1	75
	N559R	802.1	4.4	75
	IR204	84.2	4.9	0
	N570R	17.7	4.2	25
	N571R	492.9	4.8	0
Subtotal		2,957.1	4.4*	42*
<u>Universidad de Texas A &amp; M, E.U.A.</u>				
Líneas	SC 301	173.8	4.3	100
Exóticas	SC27914E	168.6	4.8	50
	88BE2668	574.2	3.7	75
	SC1337	227.7	4.9	75
	SC1339	225.7	4.8	0
	SC1341	221.8	4.6	25
	SC1342	325.6	4.1	50
Subtotal		1,917.4	4.5*	54*
<u>ICRISAT, India</u>				
Línea exótica	IS 4647	124.98	3.6	61
Total		6,167.48		

% GD = porcentaje de grano descubierto. \* Se refiere al promedio de las líneas exóticas  
 Nota: solo se midió la gluma y cobertura del grano en las líneas exóticas.

presentó tamaño de gluma pequeña (3.6 mm) y mayor porcentaje de grano descubierto (50 % GD).

Con la finalidad de contar con semilla suficiente de estos genotipos se incrementó la semilla en este mismo ciclo Otoño 2005; se cosecharon 1,129 g de la población NESSC7 y 390.0 g de la población NE39R. De las líneas exóticas se obtuvieron 4,999.48 g en total; la mayor cantidad de gramos cosechados se obtuvieron de las líneas MACIA (1,042.5 g) y N559R (802.1 g), mientras que la menor cantidad fue 17.7 g cosechados en la línea N570R.

El tamaño de la gluma, la cobertura del grano de todos los materiales genéticos evaluados, la producción de semilla cosechada de cada línea y de las poblaciones recombinantes utilizados en el estudio se muestran en el Cuadro 8.

#### **IV.1.2. Primeros cruzamientos para formar las poblaciones $P_1$ y $P_2$ mejoradas mediante la introgresión**

Para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura del grano, en el ciclo Otoño 2005, se realizaron 183 cruzamientos en la población NESSC7 entre las plantas androestériles de la población y 12 líneas exóticas. Se obtuvo una producción de semilla de 3,316.1 g. El mayor número de cruzamientos y gramos cosechados se observó en las

cruzas con las líneas NAGA-WHITE (25 cruzas con 575.9 g), 88 BE2668 (38 cruzas con 439.2 g) e IS 4647 (28 cruzas con 609.9 g); el menor número de cruzamientos se mostró con las líneas MACIA (5 cruzas con 40.0 gramos) y SC 27914E (7 cruzas con 182.7 g). En la población NE39R se realizaron 140 cruzamientos entre las plantas androestériles con 12 líneas exóticas para obtener una producción de 2,878.3 g (Cuadro 9).

Cuadro 9. Primeros cruzamientos para la introgresión de germoplasma exótico con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 y NE39 R.

Líneas exóticas*	NESSC7		NE39R	
	Cruzamientos realizados	Producción de semilla (g)	Cruzamientos realizados	Producción de semilla (g)
NAGA-WHITE	25	575.9	20	277.0
MACIA	5	40.0	22	300.7
N 559 R	11	193.6	14	303.6
N 571 R	9	124.85	8	192.7
IR 204	9	238.1	6	102.8
SC 301	9	158.91	7	118.0
88 BE2668	38	439.2	4	114.4
SC 27914 E	7	182.7	3	19.3
SC 1341	12	220.5	10	390.0
SC 1339	5	108.3	4	41.2
SC 1337	14	274.9	7	50.5
IS 4647	28	609.9	14	429.4
Total	183	3,316.1	140	2,878.3

\* Los cruzamientos solo se efectuaron con las doce líneas exóticas que fueron seleccionadas por menor tamaño de gluma y/o menor cobertura de grano.

#### IV.1.3. Avance generacional F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> del primer ciclo de cruzamientos

Para realizar el avance generacional F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> y obtener plantas androestériles necesarias para la recombinación, en el ciclo Primavera 2006 se realizaron autofecundaciones en 456 plantas, obteniendo una producción

de semilla de 8,892.2 g. Estas autofecundaciones estuvieron divididas de la siguiente manera: en la población NESSC7 se realizaron 218 autofecundaciones con una producción de 4,915.5 g de semilla; en la población NE39R se realizaron 175 autofecundaciones y se obtuvo una producción total de semilla de 3,976.7 g (Cuadro 10).

Cuadro 10. Autofecundaciones y producción de semilla obtenida en el avance generacional  $F_1$  a  $F_2$  del primer ciclo de cruzamientos.

Líneas Exóticas	NESSC7		NE39R	
	Autofecundaciones realizadas	Producción (g)	Autofecundaciones realizadas	Producción (g)
MACIA	17	173.6	9	217.5
NAGA-WHITE	57	1,180.2	46	883.1
N559R	17	451.9	10	469.8
IR204	34	639.2	6	102.8
SC 301	36	824.4	25	711.6
88 BE2668	13	114.6	41	554.5
SC 27914E	72	1,107.9	3	44.18
SC 1337	29	383.3	14	280.9
IS 4647	6	40.7	21	712.3
Total	281	4,915.5	175	3,976.7

#### IV.1.4. Recombinación de genes en las poblaciones $P_1$ con un ciclo de cruzamientos

La semilla  $F_2$  obtenida mediante la autofecundación de las plantas  $F_1$  derivadas del primer ciclo de cruzamiento se utilizó para la siembra de dos lotes aislados en Marín, N. L. en el ciclo Otoño 2006, esto con el propósito de obtener la población recombinante derivada del cruzamiento de líneas con

gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto con las poblaciones originales. La siembra se hizo formando un compuesto balanceado con la semilla  $F_2$  de cada tipo de cruzamiento. Para la formación de poblaciones recombinantes ( $P_1$ ) se hizo identificando las plantas androestériles antes de la floración y dejándolas a libre apareamiento. En el Cuadro 11 se muestran el número de panojas cosechadas y la producción de semilla tanto para la población NESSC7 como para la población NE39R.

Cuadro 11. Poblaciones recombinantes ( $P_1$ ) derivadas de la introgresión de las líneas exóticas con un ciclo de cruzamientos en las poblaciones NESSC7 y NE39R.

Población	Panojas cosechadas	Producción de semilla* (g)
NESSC7	90	1,914.5
NE39R	105	2,019.9
Total	195	3,934.4

\* Esta semilla se utilizó para formar las familias de medios hermanos y autohermanos, para estimar las varianzas genéticas, heredabilidad y la respuesta predicha a la selección.

#### IV.1.5. Segundo ciclo de cruzamientos.

En el ciclo agrícola otoño 2006 se realizó el segundo ciclo de cruzamientos con la finalidad de incrementar la frecuencia del carácter gluma corta y menor cobertura de grano. Para esto, se utilizaron las plantas  $F_2$  androestériles derivadas de las autofecundaciones realizadas en la generación  $F_1$  de los primeros cruzamientos. Las plantas androestériles de

las familias  $F_2$  se utilizaron como hembras mientras que las mismas líneas exóticas mencionadas anteriormente se utilizaron como machos. En total se realizaron 281 cruzamientos y se obtuvo una producción de semilla de 4,166.5 g. En las familias  $F_2$  derivadas de la población NESSC7 se realizaron 127 cruzamientos y se cosechó un total de 1,966.2 g; el mayor número de cruzamientos se obtuvo con las líneas SC 27914, IR204, NAGA-WHITE e IS 4647 (Cuadro 12).

En las familias  $F_2$  de la población NE39R se realizaron 154 cruzamientos y se obtuvo una producción total de 2,200.3 g. Las líneas exóticas que presentaron el mayor número de cruzamientos fue con las líneas: NAGA-WHITE, 88 BE2668 e IS 4647 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Segundo ciclo de cruzamientos para la introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 y NE39R.

Líneas Exóticas	Población NESSC7		Población NE39R	
	Cruzamientos realizados	Producción (g)	Cruzamientos realizados	Producción (g)
MACIA	6	50.3	19	108.4
NAGA-WHITE	17	372.5	29	347.9
N 559 R	5	59.2	18	136.1
IR 204	20	197.4	14	408.2
SC 301	8	61.8	9	48.6
88 BE 2668	12	161.1	27	306.4
SC 27914 E	30	241.8	5	32.4
SC 1337	14	85.7	14	137.2
IS 4647	15	736.4	22	675.1
Total	127	1,966.2	154	2,200.3

#### IV.1.6. Avance generacional F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> de los segundos cruzamientos en las poblaciones NESSC7 y NE39R.

En el ciclo Primavera 2007 se realizó el avance generacional F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> de las plantas derivadas de la segunda ronda de cruzamientos realizados sobre familias F<sub>2</sub> derivadas de las poblaciones NESSC7 y NE39R. Para esto se efectuó un total de 326 autofecundaciones y se obtuvo una producción total de 6,637.9 g.

En las plantas F<sub>1</sub> obtenidas de esta segunda ronda de cruzamientos en la población NESSC7, se realizaron 174 autofecundaciones y se obtuvo una producción total de 2,794.9 g. El mayor número de plantas autofecundadas se obtuvo con los cruzamientos de las líneas exóticas MACIA, NAGA-WHITE, SC 27914E e IR204. En la población NE39R se realizaron 152 autofecundaciones y se obtuvo una producción de semilla de 3,843.0 g. El mayor número de autofecundaciones se obtuvieron con las líneas exóticas MACIA, 88 BE2668, IR204, SC 27914E (Cuadro 13).

Cuadro 13. Avance generacional F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> del segundo ciclo de cruzamientos de las poblaciones NESSC7 y NE39 R con las líneas exóticas.

Líneas Exóticas	NESSC7		NE39R	
	Autofecundaciones realizadas	Producción (g)	Autofecundaciones realizadas	Producción (g)
MACIA	22	335.3	21	603.9
NAGA-WHITE	22	429.3	45	883.1
N559R	20	347.9	9	293.3
IR 204	29	338.9	17	715.7
SC 301	13	280.0	11	388.7
88 BE2660	21	461.1	16	211.1
SC 27914 E	22	107.9	16	421.8
SC 1337	17	421.6	14	302.8
IS 4647	8	72.9	3	22.6
Total	174	2,794.9	152	3,843.0

#### **IV.1.7. Poblaciones recombinantes con dos ciclos de cruzamientos**

En el ciclo otoño 2007 se realizó la recombinación genética entre plantas  $F_2$  derivadas del segundo ciclo de cruzamientos. Para esto se dejó a libre apareamiento las plantas androestériles de las familias  $F_2$  de las cuales se hizo un compuesto balanceado para su siembra la cual se realizó en lotes aislados en el INIFAP Río Bravo, Tamaulipas. En la población NESSC7 se cosecharon 192 panojas con una producción total de 4,873.3 g (Cuadro 6 A). En la población NE39R se cosecharon 98 panojas y se obtuvo una producción de semilla de 1,292.8 g (Cuadro 7 A). En Marín, N. L. solo se cosechó la población NE39R, de donde se obtuvieron 34 panojas y una producción de semilla de 329.3 g (Cuadro 8 A). El lote de siembra correspondiente a la población NESSC7 presentó daños por ganado bovino, por lo que no fue posible obtener producción.

Para la siembra de la población NESSC7 se hizo un compuesto balanceado de semilla, formado por 4.0 g de cada tipo de cruza realizadas con las líneas exóticas SC 301, 88BE 2668, NAGA-WHITE, MACIA, SC 1337, N559R e IS 4647; en total se formó un compuesto balanceado de semilla de 280 g. En la población NE39R se utilizaron los cruzamientos realizados con las líneas exóticas SC 301, SC 27914E, 88 BE2668, NAGA-WHITE, MACIA, SC 1337 y N559R, de los cuales se tomaron 80 g de cada tipo de crusa para formar un compuesto balanceado de semilla de 490.0 g.

En la Figura 3 se presenta en forma esquemática el procedimiento seguido para obtener las poblaciones recombinantes con un ciclo de

introgresión NESSC7 (P<sub>1</sub>), NE39R (P<sub>1</sub>) y con dos ciclos de introgresión NESSC7 (P<sub>2</sub>), NE39R (P<sub>2</sub>).

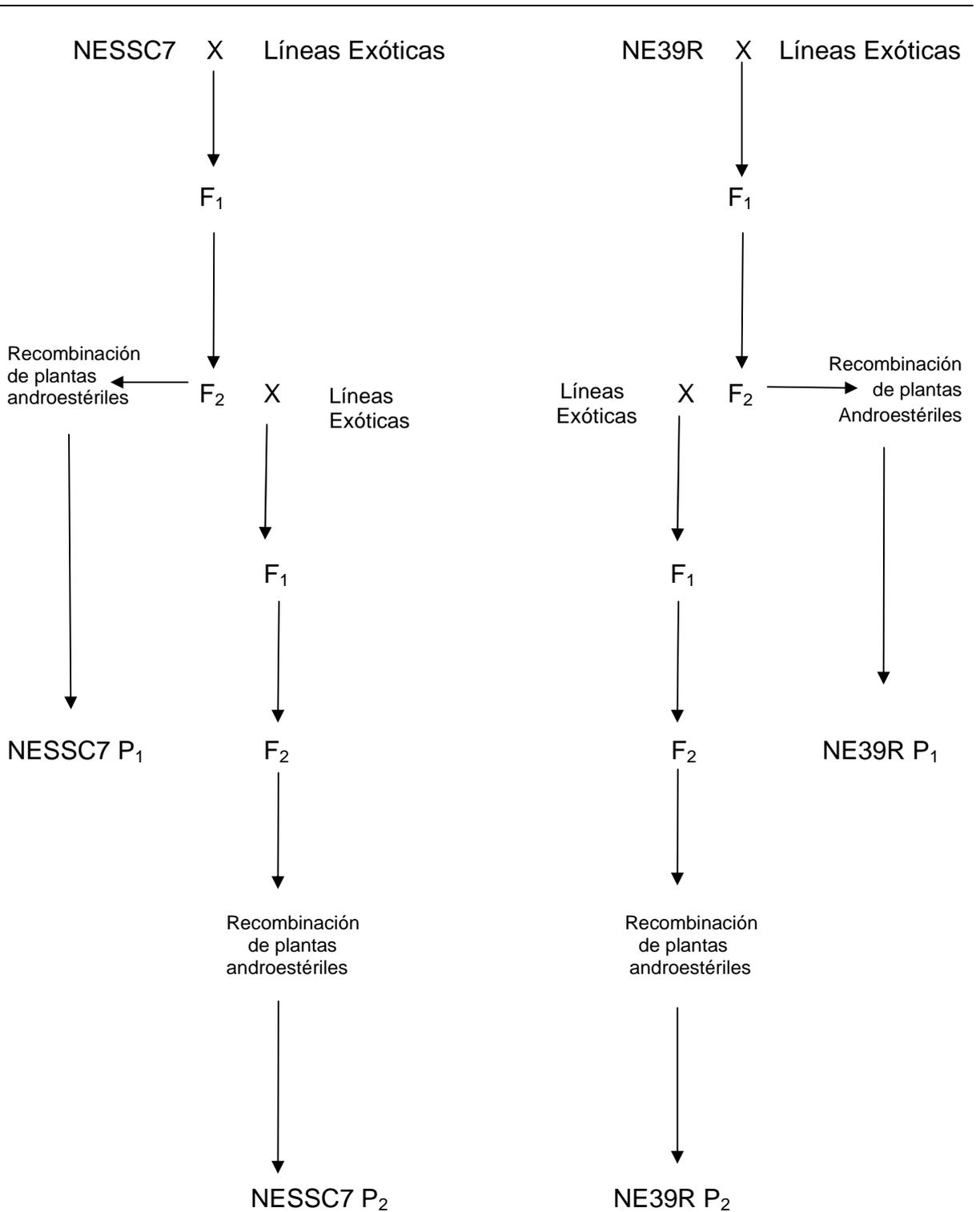


Figura 3. Esquema seguido para la formación de las poblaciones NESSC7 (P<sub>1</sub>), NE39R (P<sub>1</sub>), NESSC7 (P<sub>2</sub>) y NE39R (P<sub>2</sub>) con uno y dos ciclos de introgresión con las líneas exóticas, respectivamente.

## **IV.2. Varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas en familias de medios hermanos y autohermanos**

### **IV.2.1 Formación de las familias de MH y AH**

En el ciclo Otoño 2007 se formaron las familias de medios hermanos (MH: plantas androestériles en libre apareamiento) y de autohermanos (AH: plantas fértiles autofecundadas) de las poblaciones NESSC7 ( $P_1$ ) y NE39R ( $P_1$ ) formadas con un ciclo de cruzamientos con las líneas exóticas. De la población NESSC7 ( $P_1$ ) se obtuvieron 157 familias de MH con una producción de semilla total de 1,918.2 g y 150 familias de AH con una producción de 3,446.3 g. En la población NE39R ( $P_1$ ) se obtuvieron 139 familias de MH con una producción total de 1,788.7 g y 175 familias de AH con una producción total de 3,244.6 g.

Además se obtuvieron familias de MH y AH de las poblaciones originales. En la población NESSC7 ( $P_0$ ) se obtuvieron 171 familias de MH con una producción total de semilla de 3,308.6 g y 120 familias de AH con una producción total de 2,885.5 g. En la población NE39R ( $P_0$ ) se obtuvieron 104 familias MH con una producción total de 1,744.5 g y 109 familias de AH con una producción total de 2,800.2 g.

Las familias de MH y de AH de las poblaciones derivadas de un ciclo de cruzamientos de las poblaciones NESSC7 ( $P_1$ ) y NE39R ( $P_1$ ) se describen en los Cuadros 9 A, 10 A, 11 A y 12 A. Las familias de medios hermanos y

autohermanos de las poblaciones originales NESSC7 ( $P_0$ ) y NE39R ( $P_0$ ) se muestran en los Cuadros 13 A, 14 A, 15 A y 16 A.

#### **IV.2.2. Evaluación en campo de las familias de medios hermanos y autohermanos en las poblaciones NESSC7 y NE39R**

En el ciclo Primavera 2008 se evaluaron 120 familias de MH de la población NESSC7 ( $P_1$ ) y 80 familias de la población NE39R ( $P_1$ ). Una cantidad similar de las familias corresponden a las poblaciones originales NESSC7 ( $P_0$ ) y NE39R ( $P_0$ ). Asimismo, se evaluaron 110 familias de AH correspondientes a la población NESSC7 ( $P_1$ ) y 90 familias de AH de la población NE39R ( $P_1$ ), la misma cantidad de familias se utilizó para las poblaciones originales NESSC7 ( $P_0$ ) y NE39R ( $P_0$ ).

#### **IV.2.3. Análisis estadístico de las poblaciones NESSC7 y NE39R**

##### **IV.2.3.1. Medias de las familias de MH y AH en las poblaciones NESSC7 y NE39R.**

Las estimaciones de las medias de las variables tamaño de la gluma (mm), cobertura del grano (% GD), días a floración (días), altura de planta (cm), excursión (cm), longitud de panoja (cm) y rendimiento de grano (g) de las familias de MH y de AH de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales

(P<sub>0</sub>) y con un ciclo de introgresión (P<sub>1</sub>) de gluma corta y menor cobertura de grano en las localidades Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas se muestran en el Cuadro 14.

En este cuadro se muestran los valores estimados de las medias de las siete características y se pueden comparar la diferencia en las medias estimadas para el tamaño de gluma, cobertura de grano y demás características agronómicas de las poblaciones con introgresión NESSC7 (P<sub>1</sub>) y NE39R (P<sub>1</sub>) con respecto a las medias estimadas de las poblaciones originales NESSC7 (P<sub>0</sub>) y NE39R (P<sub>0</sub>) (en las dos localidades), originadas por la cruce con las líneas exóticas en las poblaciones.

El carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, registró un tamaño mas pequeño de la gluma y un mayor porcentaje de grano descubierto en los dos tipos de familias (MH y AH) de las dos poblaciones con introgresión NESSC7 (P<sub>1</sub>) y NE39R (P<sub>1</sub>) en las dos localidades Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas, con respecto a las poblaciones originales correspondientes, NESSC7 (P<sub>0</sub>) y NE39R (P<sub>0</sub>).

Para la población NESSC7 (P<sub>1</sub>) se estimó en las familias de MH un tamaño de la gluma 3.99 mm a 4.08 mm y una cobertura de grano de 63 % GD a 69 % GD; en las familias de autohermanos el tamaño de la gluma fue 3.79 mm a 3.99 mm y la cobertura de grano fue de 66 % GD a 73 % GD.

Cuadro 14. Medias de NESSC7 y N39R, poblaciones originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) de gluma corta y menor cobertura de grano estimadas en familias de medios hermanos y autohermanos en las localidades de Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.

Características	unidades	Localidad Marín, N. L.								Localidad Río Bravo, Tamaulipas							
		NESSC7				NE39R				NESSC7				NE39R			
		Medios hermanos		Autohermanos		Medios hermanos		Autohermanos		Medios hermanos		Autohermanos		Medios hermanos		Autohermanos	
Tipo de población	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	
Tipo de familias																	
Número de familias		120	120	110	110	80	80	90	90	120	120	110	110	80	80	90	90
Tamaño de gluma	mm	4.09	4.08	4.56	3.99	4.08	3.96	3.99	3.91	4.02	3.99	4.12	3.79	3.96	3.93	3.92	3.89
Cobertura grano	% GD	57	63	57	73	56	65	69	70	56	69	54	66	65	70	68	70
Floración	días	72	72	72	71	71	71	72	71	72	71	71	72	72	71	72	72
Altura de planta	cm	115	118	115	116	110	111	117	120	114	115	121	114	110	132	110	110
Excursión	cm	5	8	7	6	5	6	7	7	6	6	6	5	6	5	6	6
Longitud de panoja	cm	26	26	27	26	26	26	26	26	28	28	28	28	27	28	27	27
Rendimiento de grano por planta	g/planta	35	33	31	31	33	32	33	34	35	35	35	34	35	35	35	35

En la población NE39R ( $P_1$ ) se estimó un tamaño de gluma en las familias de MH de 3.93 mm a 3.96 mm y una cobertura de grano de 65 % GD a 70 % GD y en las familias de AH el tamaño de la gluma fue también de un 70 % GD.

Con respecto a las poblaciones originales, en la población NESSC7 ( $P_0$ ) el tamaño de la gluma en las familias de MH fue de 4.02 mm a 4.09 mm y la cobertura de grano fue 56 % GD a 57 % GD; en las familias de AH el tamaño de la gluma fue de 4.12 mm a 4.56 mm y la cobertura de grano fue de 54 % GD a 57 % de GD.

En la población NE39R ( $P_0$ ) se estimó un tamaño de gluma en las familias de MH de 3.96 mm a 4.02 mm y una cobertura de grano de 56 % GD a 65 % GD; en las familias de AH el tamaño de la gluma fue de 3.96 mm a 3.99 mm y la cobertura de grano fue de 65 % GD a 70 % de GD.

En las poblaciones con introgresión el tamaño de la gluma mas corto fue de 3.79 mm se obtuvo en las familias de AH de la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo). En las familias de MH el tamaño mas corto fue 3.89 mm se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ) (localidad Marín).

El mayor porcentaje de grano descubierto fue de 73 % GD se obtuvo en las familias de AH de la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo). En las familias de MH el mayor porcentaje de grano descubierto fue 70 % GD se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ).

El tamaño mas corto de la gluma y el mayor porcentaje de grano descubierto se obtuvo con las familias de AH de la población NESSC7 ( $P_1$ ); en las familias de MH se obtuvo en la obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ).

En las poblaciones originales el menor tamaño de la gluma fue 3.99 mm se obtuvo en las familias de AH de la población NE39R ( $P_0$ ) y en las familias de MH el menor tamaño de la gluma fue 3.96 mm se obtuvo en la población NE39R ( $P_0$ ).

El mayor porcentaje de grano descubierto en las poblaciones originales fue 70 % GD se obtuvo en las familias de AH de la población NE39R ( $P_0$ ) y en las familias de MH el mayor porcentaje de grano descubierto fue 65 % GD se obtuvo en la población NE39R ( $P_0$ ).

En relación a las variables agronómicas se observó poco cambio en las Poblaciones mejoradas ( $P_1$ ) Con un ciclo de introgresión con respecto a la población original.

En relación a rendimiento de grano por planta en las poblaciones con introgresión en las familias de MH fue de 32.0 g a 35.0 g y en las familias de AH fue de 31.0 g a 35.0 g. El mayor rendimiento de grano por planta fue se obtuvo en las familias de AH de la población NE39R ( $P_1$ ).

En las poblaciones originales en las familias de MH el mayor rendimiento de grano por planta fue 35.0 g se obtuvo en las dos poblaciones

originales. En las familias de AH de las poblaciones originales el mayor rendimiento de grano por planta fue 35.0 g se obtuvo en la población NE39R.

En relación a las demás variables agronómicas, en la población NESSC7 ( $P_1$ ), para floración se estimó una media de 71 a 72 días, para altura de planta de 114 a 116 cm, excursión de 5 a 6 cm, longitud de panoja de 26 a 28 cm. En la población NE39R ( $P_1$ ) se estimó una media para floración de 71 a 72 días, altura de planta de 111 a 132 cm, excursión de 5 a 7 cm, longitud de panoja de 26 a 28 cm.

Las demás variables agronómicas registraron valores estimados en la población NESSC7 ( $P_0$ ), para floración de 71 a 72 días, altura de planta de 110 a 121 cm, excursión de 5 a 6 cm, longitud de panoja de 26 a 28 cm y rendimiento de grano por planta de 31.0 a 35.0 g. En la NE39R ( $P_0$ ) se estimó una media para floración de 71 a 72 días, altura de planta de 110 a 116 cm, excursión de 5 a 6 cm, longitud de panoja de 26 a 27 cm y rendimiento de grano por planta de 31.0 a 35.0 g.

#### **IV. 2.3.2. Componentes de varianza de las familias de MH y AH**

Los componentes de varianza utilizados como estimadores de la varianza genética de las familias de MH y de AH para las dos poblaciones en las dos localidades, generados en cada uno de los ANOVA realizados

(mediante el procedimiento VARCOM del S.A.S.), corresponden a las varianzas de las familias, varianzas de bloques y varianza ambiental. Los valores estimados de estos componentes de varianza, presentaron valores positivos y negativos, tanto en las poblaciones originales NESSC7 y NE39R así como en las poblaciones con un ciclo de introgresión. Los datos de los componentes se muestran en el Cuadro 17 A.

Los componentes de varianza de las familias corresponden a las estimaciones de la varianza genética de cada tipo de familia, varianza de familias de MH ( $\delta^2_{MH}$ ) y varianza de familias de AH ( $\delta^2_{AH}$ ), cuando el valor estimado del componente de varianza correspondiente a la varianza genética de la familia resultó negativo, las estimaciones de las varianzas genéticas también resultaron con un valor negativo, en estos casos se considero un valor de cero.

En la población NESSC7 ( $P_1$ ) se obtuvieron estimaciones de la varianza genética de las familias de MH para las características: tamaño de gluma, cobertura de grano, floración y altura de planta, obtuvieron valores mas altos que los valores estimados en la población original; también, se obtuvieron varianza genética en las familias de AH para las características tamaño de gluma y rendimiento de grano, también obtuvieron un valor mas alto que en la población original.

En la población NE39R ( $P_1$ ) se obtuvieron estimaciones de varianza genética de las familias de MH en las características agronómicas, excepto

cobertura de grano, con valores mas altos en todas las características, floración, altura de planta y rendimiento de grano por planta (con respecto a la población original), además, se obtuvieron estimaciones de varianza genética en las familias de AH para todas las características excepto tamaño de gluma, con valores mas altos en las características altura de planta, excersión, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta (con respecto a la población original).

#### **IV.2.3.3 Varianza aditiva**

Con los componentes de varianza de las familias de MH, utilizando la fórmula  $\delta^2_A = 4 (\delta^2_{MH})$  (Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1988), se obtuvo las estimaciones de la varianza aditiva ( $\delta^2_A$ ) del carácter tamaño de la gluma y cobertura de grano realizadas en las dos poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y mejoradas mediante la introgresión de líneas exóticas, la poblaciones mejoradas ( $P_1$ ) mostraron mayor varianza aditiva que la población original.

La varianza aditiva ( $\delta^2_A$ ) para el tamaño de gluma en la población NESSC7 ( $P_1$ ) fue de 0.05 a 0.26, para cobertura de grano fue de 0.01 a 0.02; en la población NE39R ( $P_1$ ) la  $\delta^2_A$  del tamaño de gluma fue de 0.0 a 2.48 y para cobertura de grano fue 0.0.

En relación a las poblaciones originales, se obtuvo una varianza aditiva del tamaño de gluma en la población NESSC7 ( $P_0$ ) 0.0 a 0.17 y para cobertura de grano la varianza aditiva fue 0.0 a 0.01; en la población NE39R ( $P_0$ ) la  $\delta^2_A$  del tamaño de gluma fue 0.0 a 0.10 y para cobertura de grano fue de 0.0 a 0.01.

La varianza aditiva del tamaño de gluma de la población NESSC7( $P_1$ ) en la localidad de Marín fue de 0.05 y la cobertura de grano obtuvo una varianza aditiva de 0.01, mientras que en la NESSC7 ( $P_0$ ) se obtuvo una varianza aditiva para tamaño de gluma fue 0.0 y para cobertura de grano fue 0.0. En la misma localidad, la población NE39R ( $P_1$ ) obtuvo una varianza aditiva de tamaño de gluma de 0.003 y para cobertura de grano fue 0.0, mientras que la población NE39R ( $P_0$ ) la varianza aditiva para tamaño de gluma fue de 0.01.

La mayor varianza aditiva del carácter tamaño fue 2.48 se obtuvo la NE39R ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas), para la cobertura de grano en esta población la varianza aditiva fue 0.0.

Para cobertura de grano el valor mas alto de varianza aditiva fue de 0.02 se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo). La varianza aditiva para tamaño de gluma fue de 0.26, estos valores fueron más altos que los obtenidos en la población original.

En relación a la población NESSC7 ( $P_0$ ) en la localidad Río Bravo se obtuvo una varianza aditiva del tamaño de gluma de 0.17 y para cobertura de grano de 0.0; en la población NE39R ( $P_0$ ) la varianza aditiva para tamaño de gluma fue 0.10 y para cobertura de grano fue 0.0.

El coeficiente de variación aditiva (CVA) en la NESSC7 ( $P_1$ ) para el tamaño de gluma fue de 5.48 a 12.78 y para cobertura de grano fue de 0.06 a 0.23.; mientras que en la NESSC7 ( $P_0$ ) el CVA para tamaño de gluma fue de 0.0 a 10.35; para cobertura de grano fue 0.0.

El coeficiente de variación aditiva en la NE39R ( $P_1$ ) para el tamaño de gluma fue de 1.38 a 40.07 y para cobertura de grano fue 0.0, mientras que en la NE39R ( $P_0$ ) el CVA para tamaño de gluma fue 0.0 A 7.99 y para cobertura de grano fue de 0.0 a 0.18.

Las dos poblaciones mejoradas mediante la introgresión obtuvieron mayor varianza aditiva que la población original correspondiente; además, la varianza aditiva del tamaño de gluma obtuvo valores mas altos que la varianza aditiva de cobertura de grano.

En relación a la varianza aditiva de las características agronómicas estimada en las dos poblaciones con introgresión, la mayor varianza aditiva obtenida en la población NESSC7 ( $P_1$ ) se obtuvo mayor varianza aditiva para floración y altura de planta.

En la población NE39R ( $P_1$ ) se obtuvo mayor varianza aditiva para floración, altura de planta, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta (Cuadro 15).

En relación a las estimaciones de varianza aditiva de las variables agronómicas realizadas en la NE39R ( $P_1$ ) (localidad Marín) obtuvo menor varianza aditiva que la NE39R ( $P_0$ ); sin embargo, en la localidad de Río Bravo la población NE39R ( $P_1$ ) se obtuvo mayor varianza para floración (95.99) y altura de planta (410.24), mientras que en la población NE39R ( $P_0$ ) obtuvo mayor varianza aditiva para longitud de panoja (25.34).

Las varianzas aditivas del tamaño de gluma, cobertura de grano y de las características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R (con introgresión y originales) se muestran en el Cuadro 15 y los CVA se muestran en el Cuadro 22 A.

Cuadro 15. Varianzas aditivas de tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ), en las localidades Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.

Característica	Localidad de Marín, N. L.				Localidad de Río Bravo, Tamaulipas			
	NESSC7		NE39R		NESSC7		NE39R	
	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
Tipo de población								
Tamaño de gluma	0.0	0.05	0.0	0.003*	0.17	0.26	0.10	2.48
Grano descubierto	0.0	0.01	0.0	0.1	0.0	0.02	0.0	0.0
Floración	2.52	0.0	0.0	25.81	54.61	113.77	38.50	95.99
Altura de planta	180.31	885.39	0.0	0.0	140.09	0.0	118.78	410.24
Excerción	11.10	0.0	1.02	0.0	0.34	0.0	0.0	0.0
Longitud de panoja	7.04	1.39	0.0	0.22	0.0	0.0	25.34	0.0
Rendimiento	509.30	5.30	0.0	3.43	0.0	0.0	0.0	0.0

$P_0$  = población original;  $P_1$  = población con introgresión; \* en estos casos se dejó esta cifra para observar que si hay varianza aditiva.

#### **IV.2.3.4. Varianza de dominancia**

La varianza de dominancia para el tamaño de gluma en la población NESSC7 ( $P_1$ ) fue 0.0 y para cobertura de grano también fue 0.0; en la población NE39R el tamaño de gluma y la cobertura de grano fue 0.0.

En relación a las poblaciones originales se estimó una varianza de dominancia en la NESSC7 ( $P_1$ ) para el tamaño de gluma de 0.0 y para cobertura de grano fue de 0.01 a 0.21.

En las estimaciones de la varianza de dominancia de las características agronómicas, las poblaciones con introgresión obtuvieron mayor varianza de dominancia; la población NESSC7 ( $P_1$ ) obtuvo mayor varianza de dominancia para altura de planta y rendimiento de grano por panoja; en longitud de panoja se obtuvo una varianza de dominancia de 83.37 y en rendimiento de grano por planta se estimó una varianza de dominancia de 60.10.

La población NE39R ( $P_1$ ) registró mayor varianza de dominancia para las características floración, excersión y longitud de panoja; en floración se estimó una varianza de dominancia de 394.22; para excersión se estimó una varianza de dominancia de 4.77 y para longitud de panoja la varianza de dominancia fue 3.28.

Con excepción de altura de planta, las otras cuatro características obtuvieron mayor varianza de dominancia que varianza aditiva.

Los datos de la varianza de dominancia del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas se muestran en el Cuadro16.

Cuadro 16. Varianzas de dominancia del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y otras características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R poblaciones originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) estimadas en dos localidades (Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas).

Características	Localidad Río Bravo,							
	Localidad Marín, N. L.				Tamaulipas			
	NESSC7		NE39R		NESSC7		NE39R	
Tipo de población	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
Long gluma	0.0	0.0	0.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
cobertura grano	0.01	0.2	0.0	0.0 <sup>1</sup>	0.21	0.0	0.0	0.0
floración	12.54	0.0	0.0	68.38	0.0	0.0	0.0	394.22
altura planta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.37	0.0	0.0
excursión	0.0	0.0	0.0	0.0	0.86	1.22	0.0	4.77
long panoja	0.0	0.0	0.0	0.0	23.79	0.0	0.0	3.28
rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.1	30.13	0.0

$P_0$  = población original;  $P_1$  = población con introgresión. <sup>1</sup> se dejó esta cifra para observar que si hay varianza de dominancia y se obtuvo un coeficiente de variabilidad genética de 0.08 que indica que si hay varianza genética. Las estimaciones se realizaron en el Ciclo Agrícola 2007-08.

#### IV.2.5. Varianzas fenotípicas

Las estimaciones de las varianzas fenotípicas se obtuvieron de las sumas de la varianza aditiva, varianza de dominancia y la varianza

ambiental, para este estudio se consideró ausencia de epistásis. La varianza ambiental corresponde al error experimental y al componente de varianza de bloques.

La mayor varianza fenotípica del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano estimada en las poblaciones con introgresión se registró en la población NE39R ( $P_1$ ), se estimó una varianza fenotípica para tamaño de gluma de 2.86 de cual 2.48 es varianza aditiva y 0.38 es varianza ambiental, la varianza de dominancia fue cero, en esta población se registró la mayor varianza aditiva de tamaño de gluma de las poblaciones mejoradas por introgresión de líneas exóticas. En esta población para cobertura de grano se estimó una varianza fenotípica de 0.07, la cual se estimó como varianza ambiental debido a que la varianza genética fue 0.0.

En relación a la población que obtuvo la mayor varianza aditiva para cobertura de grano, es la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas), se estimó una varianza fenotípica para tamaño de gluma de 0.38, de la cual 0.26 es varianza aditiva y 0.12 es varianza ambiental. En esta población la varianza fenotípica para tamaño de gluma fue 0.38, de la cual 0.26 es varianza aditiva y 0.12 es varianza ambiental.

La varianza fenotípica de las variables agronómicas fue estimadas en las poblaciones con introgresión fueron mayores que las poblaciones originales para altura de planta y floración en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (Río Bravo, Tamaulipas) y en la NE39R ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas).

La varianza fenotípica estimada en las poblaciones originales generalmente fue mayor la varianza fenotípica para las características, excersión, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta.

Las varianzas fenotípicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales y con introgresión se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Varianzas fenotípicas del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R de las poblaciones originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) en localidades de Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas.

Característica	Localidad de Marín, N. L.				Localidad de Río Bravo, Tamaulipas			
	NESSC7		NE39R		NESSC7		NE39R	
	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
Tipo de población								
Tamaño de gluma	0.17	0.23	0.33	0.23	10.89	0.38	0.22	2.86
Grano descubierto	0.06	0.86	0.05	0.08	0.10	0.08	0.06	0.07
Floración	47.09	41.51	37.36	134.94	84.10	11.32	79.54	515.37
Altura de planta	2038.62	1441.95	743.11	523.17	859.79	1087.37	617.90	1473.46
Excerción	60.70	39.64	46.01	33.99	25.46	15.93	32.77	20.96
Longitud de panoja	34.58	19.66	11.95	13.90	14.89	9.91	32.79	20.72
Rendimiento	628.53	127.96	117.47	78.27	132.27	167.91	183.44	152.66

$P_0$  = población original;  $P_1$  = población con introgresión. Las estimaciones se realizaron en el Ciclo Agrícola Otoño-Invierno 2007-08.

#### IV. 3. Heredabilidad en sentido estrecho

La heredabilidad en sentido estrecho ( $h^2$ ) del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, fue mayor para el tamaño de gluma en las dos poblaciones mejoradas con introgresión de la localidad de Río Bravo, Tamaulipas que en las poblaciones originales correspondientes, además, fue

mayor que la heredabilidad en sentido estrecho de tamaño de gluma que de cobertura de grano. La mayor heredabilidad de cobertura de grano se obtuvo en las poblaciones con introgresión. Los valores de  $h^2$  se muestran en el Cuadro 18).

La mayor heredabilidad en sentido estrecho para tamaño de gluma fue de 0.87, se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ) y de 0.62, se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) ambas poblaciones de la localidad Río Bravo Tamaulipas.

La mayor heredabilidad en sentido estrecho para cobertura de grano fue 0.25, se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas) y de 0.002 se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas).

En relación a las poblaciones originales la mayor heredabilidad para tamaño de gluma fue 0.46, se obtuvo en la población NE39R ( $P_0$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas) y de 0.02 se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas). Para cobertura de grano la mayor heredabilidad en sentido estrecho en las poblaciones originales fue 0.21 se obtuvo en la población NE39R ( $P_0$ ) (localidad Marín, N. L.) y en la población NESSC7 ( $P_0$ ) fue 0.0 (en ambas localidades).

En relación a las características agronómicas la mayor heredabilidad registrada en las poblaciones con introgresión con respecto a la población

original correspondiente, la población NESSC7 ( $P_1$ ) fue para floración y en la población NE39R ( $P_1$ ) fue para floración, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta.

Cuadro 18. Heredabilidad en sentido estrecho del carácter tamaño de gluma, cobertura de grano y características agronómicas de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) estimadas en dos localidades (Marín, N. L. y Río Bravo, Tamaulipas).

Características	Localidad Río Bravo,							
	Localidad Marín, N. L.				Tamaulipas			
	NESSC7		NE39R		NESSC7		NE39R	
Tipo de población	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
Número de familias	120	80	120	80	120	80	120	80
Tamaño de gluma	0.0	0.22	0.0	0.01	0.2	0.69	0.46	0.87
Grano descubierto	0.0	0.002	0.21	0.0	0.0	0.25	0.0	0.0
Floracion	0.05	0.0	0.0	0.19	0.65	1.02	0.48	0.19
Altura de planta	0.09	0.61	0.0	0.0	0.16	0.0	0.19	0.28
Excerción	0.18	0.0	0.2	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0
Longitud de panoja	0.20	0.07	0.0	0.02	0.0	0.0	0.77	0.0
Rendimiento	0.81	0.04	0.0	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0

$P_0$  = población original;  $P_1$  = población con introgresión. Las estimaciones se realizaron en el ciclo agrícola Otoño-Invierno 2007-08.

#### IV.4. Respuesta predicha a la selección

Las poblaciones con introgresión de la localidad de Río Bravo, Tamaulipas obtuvieron la mayor respuesta predicha a selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano que las poblaciones originales correspondientes, además, la respuesta predicha a la selección fue mayor para tamaño de gluma que para cobertura de grano.

La mayor respuesta predicha para reducir el tamaño de gluma fue 0.55 mm se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas) y de 0.16 mm se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas). Para reducir la cobertura del grano la mayor respuesta predicha fue 3 % GD se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas).

En las poblaciones originales la mayor respuesta predicha para reducir el tamaño de la gluma fue 0.08 mm se obtuvo en la población NE39R ( $P_0$ ) y de 0.01 mm en la población NESSC7 ( $P_0$ ) ambas en la localidad de Río Bravo, Tamaulipas). Para reducir la cobertura del grano la mayor respuesta predicha a la selección fue 15 % se obtuvo en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo, Tamaulipas). Las estimaciones de la respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano se muestran en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Respuesta predicha a la selección de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales ( $P_0$ ) y con introgresión ( $P_1$ ) del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano y otras características agronómicas.

Característica	Localidad Marín, N. L.				Localidad Río Bravo, Tamaulipas			
	NESSC7		NE39R		NESSC7		NE39R	
Tipo de población	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$	$P_0$	$P_1$
Tamaño de gluma	0.0	0.4	0.0	0.002	0.01	0.16	0.08	0.55
Cobertura de grano	0.0	0.001	0.005	0.0	0.0	0.03	0.15	0.0
Floración	0.0	0.0	0.2	0.83	0.0	3.41	0.0	1.59
Altura de planta	0.2	8.74	0.0	0.0	0.70	0.0	0.58	4.01
Excerción	8.68	0.0	0.0	0.0	10.41	0.0	7.78	0.0
Longitud de panoja	0.71	0.12	1.31	0.02	0.03	0.0	0.0	0.0
Rendimiento	0.11	4.45	0.0	0.15	0.0	0.0	0.70	0.0

$P_0$  = población original;  $P_1$  = población con introgresión. se dejó esta cifra con le fin de observat la magnitud de las varianza genética.

#### IV.5. Formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura del grano.

En la Figura 4 se muestra un esquema de las dos formas de retrocruza utilizadas en la formación de las líneas isogénicas élite con gluma pequeña y/o cobertura de grano, con el fin de ejemplificar el procedimiento seguido.

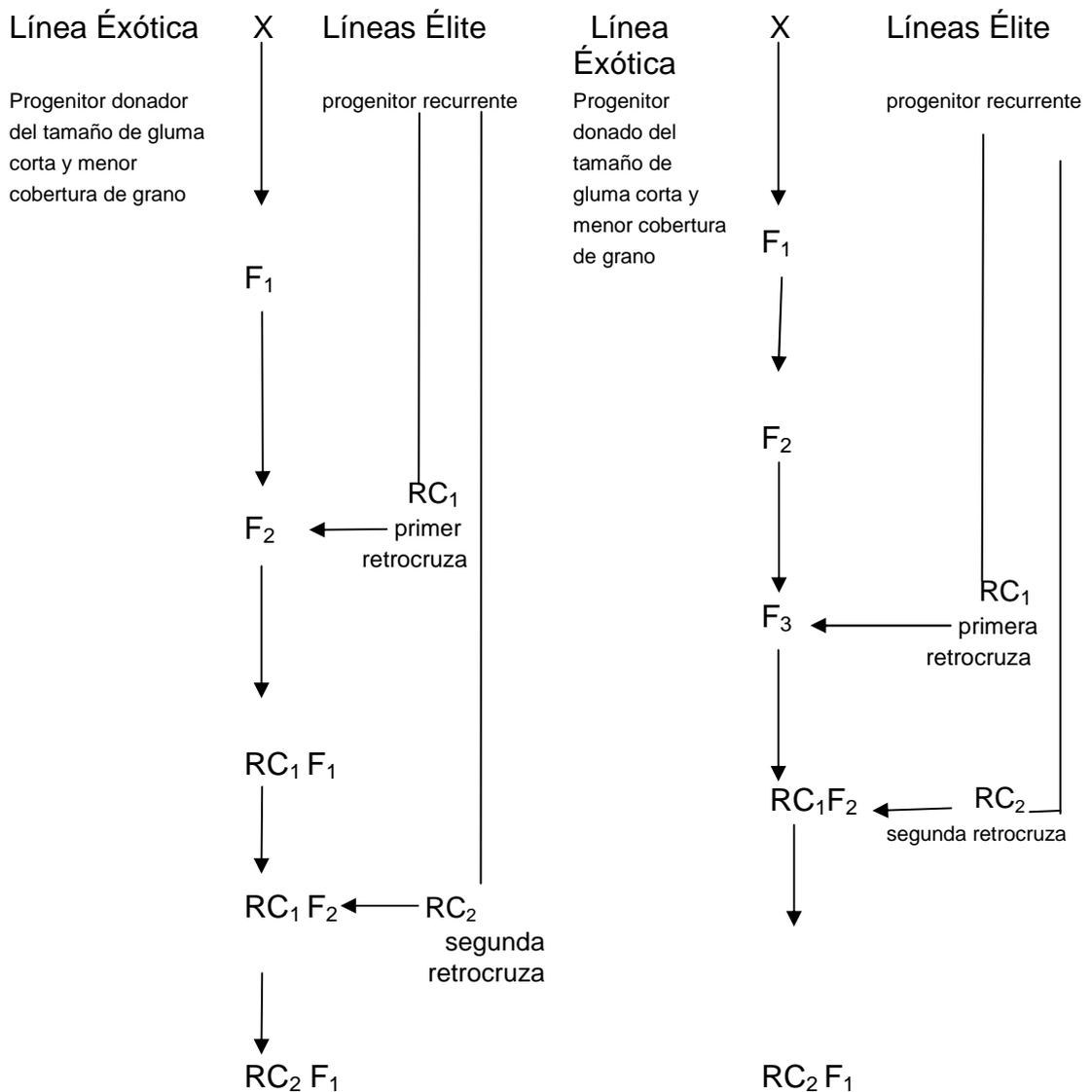


Figura 4. Esquema de las retrocruza realizadas en plantas **F<sub>2</sub>** y plantas **F<sub>3</sub>** para la formación de líneas isogénicas con gluma corta y menor cobertura de grano.

#### **IV.5.1. Primer ciclo de cruzamientos y avance F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub>**

Del total de los cruzamientos realizados se obtuvo una producción total de semilla de 2,239.6 g. Las líneas exóticas donadoras del carácter fueron: MACIA, NAGA-WHITE, N559R, N571R, IR 204, SC 301, SC 27914 E, SC 1341, SC 1337, SC 1342 e IS 4647 y las líneas élite utilizadas como progenitor femenino fueron: 25 L, 19 L, 2 L, 5 L, 285-288, 10251, FA 170, FA 163, 17473, 1014, 22830, 10251, LRB 216, LRB 27, LRB-25, LRB 104, LRB 204, R 5 B, TX 435, TX 430, LEAC 351 y LEAC 152. El mayor número de cruzamientos realizados y la mayor producción de semilla se obtuvo con la cruce 25 L x 88BE2668 (22 cruces con 105.4 g), TX 430 x IS4647 (18 cruces con 74.2 g) y TX 435 x SC 301 (16 cruces con 206.3 g).

Dado que el gen que se quiere incorporar es recesivo, en el siguiente ciclo Otoño-Invierno 2005-06 se efectuaron 440 autofecundaciones en las plantas F<sub>1</sub> derivadas del primer cruzamiento, con el propósito de avanzar de F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> y obtener la generación segregante; en este ciclo se obtuvo una producción total de 5,990.1 g de semilla. El mayor número de autofecundaciones realizadas se mostró en la cruce TX 435 x SC 27914E (19 autofecundaciones con 388.7 g), TX 435 x SC 301 (18 autofecundaciones con 376.2 g) TX 430 x MACIA (16 autofecundaciones con 296.0 g) y TX 430 x NAGA WHITE (15 autofecundaciones con 407.9 g). El número de cruces realizadas y las líneas exóticas utilizadas, así como también, las autofecundaciones efectuadas en cada tipo de cruzamiento se muestran en el Cuadro 18 A.

## **IV.5.2. Primera retrocruza**

### **IV.5.2.1. Primer retrocruza en plantas F<sub>2</sub>**

La primer retrocruza se realizó en el ciclo Otoño 2006, se realizó emasculación en dos plantas F<sub>2</sub> obtenidas por autofecundación de cada tipo de cruzamiento realizados con las líneas exóticas (progenitor donador) y las líneas élite (progenitor recurrente). En total se realizaron 373 retrocruza con una producción total de 4,137.0 g. En las retrocruza se utilizaron como progenitor donador las líneas SC 301, NAGA-WHITE, MACIA, 88BE2668, SC 27914E, SC 1337, N559R, IR204 e IS 4647. Las línea utilizadas como progenitor recurrente fueron, 25 L, 19 L, 2 L, 285-288, 10251, FA 170, 17473, 1014, 22830, LRB 216, LRB 25, LRB 104, LRB 204, R 5 B, TX 435, TX430, LEAC 351, LEAC 152. El mayor número de retrocruza se realizó para [19 L x SC 301] x 19 L (29 retrocruza con 512.2 g), [R 5 B x MACIA] x R 5 B (29 retrocruza con 176.6 g) y [R 5 B x NAGA WHITE] x R 5 B (27 retrocruza con 159.3 g). Donde solo se obtuvo una retrocruza fue con [1014 x MACIA] x 1014 (0.5 g), [LRB 25 x MACIA] x LRB 25 (3.3 g), [LRB 25 x 88 BE 2668] x LRB 25 (4.5 g), [25 L x SC 301] x 25 L (2.0 g), [LEAC 351 x SC 301] x LEAC 351 (25.8 g) y [LEAC 152 x SC 301] x LEAC 152 (2.9 g).

En el siguiente ciclo Otoño-Invierno 2006-07, la semilla F<sub>1</sub> (de la RC<sub>1</sub>) se avanzó a RC<sub>1</sub> F<sub>2</sub> con el propósito de obtener la generación segregante e

identificar plantas deseables. Se obtuvieron 88 autofecundaciones con una producción de 764.0 g. El mayor número de autofecundaciones se realizó en plantas  $F_1$  de las retrocruza [19 L x SC 27914E] x 19 L (5 autofecundaciones con 38.0 g), [19L x SC 301] x SC 301 (4 autofecundaciones con 36.3 g), [LRB 25 x SC 27914] x LRB 25 (4 autofecundaciones con 28.5 g), [TX 430 x NAGA WHITE] x TX 430 (4 autofecundaciones con 34.7 g), [25 L x 88 BE 2668] x 25 L (4 autofecundaciones con 44.3 g) y [17473 x 88 BE 2668] x 17473 (4 autofecundaciones con 39.2 g). El menor número de autofecundaciones fue uno lo presentó [LRB 216 x IS 4647] x LRB 216 (4.4 g), [LRB 216 x MACIA] x LRB 216 (5.5 g), [LRB 216 x 88BE2668] x LRB 216 (3.8 g), [LRB 204 x SC 301] x LRB 204 (18.0 g), [TX 435 x N559R] x TX 435 (12.1 g), [25 L x SC 301] x 25 L (6.9 g) y [LEAC 351 x SC 301] x LEAC 351 (4.5 g).

Las  $RC_1$  realizadas en plantas  $F_2$  y autofecundaciones correspondientes para avanzar de  $RC_1 F_1$  a  $RC_1 F_2$  se muestran en el Cuadro 19 A.

#### **IV.5.2.2. Primera retrocruza en plantas $F_3$**

Para hacer la primer retrocruza en las plantas  $F_3$ , en el ciclo Otoño-Invierno 2006-07 se obtuvieron 310 panojas de plantas  $F_2$  que fueron autofecundadas al seleccionarse por su similitud al progenitor recurrente (en etapa de grano maduro), y presentar tamaño pequeño de la gluma y mayor porcentaje de grano descubierto, en estas se obtuvo una producción de

3,912.0 g. El mayor número de autofecundaciones y panojas seleccionadas se registró en plantas  $F_2$  de la cruza: 2 L x MACIA (25 panojas con 495.6 g), la cruza 19 L x SC 27914 E (28 panojas con 512.2 g) y TX 435 x SC 27914 E (19 panoja con 94.0 g). El menor número de autofecundaciones (1 panoja) se encontró en las cruza 25 L x 88 BE 2669 (9.7 g) y 25 L x N 559 R (11.4 g) (Cuadro 20 A).

La primera retrocruza ( $RC_1$ ) en plantas  $F_3$  se efectuó en el ciclo Otoño 2007; como progenitor recurrente se utilizaron las líneas élite y como progenitor donador las líneas exóticas. Se obtuvieron 152 panojas con semilla de la  $RC_1$ ; se obtuvo una producción total de semilla de 823.1 g. El mayor número de retrocruza se obtuvo con: [LRB 204 x SC 301] X LRB 204 (19 panojas con 77.92 g), el menor número de retrocruza se observó con [LRB 216 x MACIA] x LRB 216 (1  $RC_1$  con 6.4 g) y [ LRB 216 x IS 4647] x LRB 216 (1  $RC_1$  con 6.68 g) y [25 L x IS 4647] x 25 L (1  $RC_1$  con 6.9 g). Los datos se muestran en el Cuadro 21 A .

### **IV.5.3. Segunda retrocruza**

#### **IV.5.3.1. Segunda retrocruza en plantas $F_2$**

Se realizaron 32  $RC_2$  y se cosecharon 220.3 g de semilla; el mayor número de  $RC_2$  fue para [(19 L x SC 27914E) x 19 L] (9  $RC_2$  con 28.9 g), el menor número de  $RC_2$  fue uno y se observó en las cruza [(LRB 25 x SC 27914E) x 25] (25.7 g) y [(LRB 204 x NAGA WHITE) X LRB 204] (3.3 g).

En el Cuadro 20 se pueden observar las RC<sub>2</sub> realizadas según la línea élite y la línea exótica utilizada y la cantidad de semilla cosechada.

Cuadro 20. Segunda retrocruza (RC<sub>2</sub>) realizada para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Tipo de retrocruza (RC <sub>2</sub> )	Panojas cosechadas	Producción (g)
[(LRB 25 x SC 27914E x LRB 25) x LRB 25]	1	25.7
[(LRB 25 x SC 267914E x LRB 25) x LRB 25]	5	1.3
[(LRB 25 x SC27914E x LRB25) x LRB 25]	1	32.2
[(LRB 25 x SC 27914 E x LRB 25) x LRB 25]	1	10.0
[(LRB 216 x MACIA x LRB 216) x LRB 216]	2	5.5
[(R 5 B x MACIA x R 5 B) x R 5 B]	6	56.8
[(LRB 104 x SC 301 x LRB 104) x LRB 104]	2	3.2
[(LRB 204 x SC 301 x LRB 204) x LRB 204]	2	33.6
[(LRB 204 x NAGA WHITE x LRB 204) x LRB 204]	1	3.3
[(19 L x SC 27914 E x 19 L) x 19 L]	9	28.9
[(1014 x SC 27914 E x 1014) x 19 L]	2	2.7
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>220.3</b>

#### IV.5.3.2. Segunda retrocruza en plantas F<sub>3</sub>.

Las segundas retrocruza (RC<sub>2</sub>) en plantas F<sub>3</sub> derivadas de la selección de panojas para gluma pequeña y grano descubierto se efectuó en el ciclo Otoño-Invierno 2007-08; se obtuvieron 74 panojas, cada una corresponde a una RC<sub>2</sub>, con una producción total de 336.71 g. El mayor número de RC<sub>2</sub> en F<sub>3</sub> se registró con [(TX 436 x N559R) X RX 435)] (8 retrocruza con 63.2 g), [(19 L x SC 27914E) x 19 L)] (6 retrocruza con 18.0 g) y [(R 5 B x N559R)] (6 retrocruza con 26.8 g), mientras que el menor número se mostró en [(19 L

x MACIA) x 19 L] (2 retrocruza con 3.7 g), [(tx 435 x SC 27914E)x TX 435)] (retrocruza con 26.9 g)], [(FA 170 x SC 301)] (2 retrocruza con 7.74 g) y [(17473 x SC 27914E) x 17473)] (2 retrocruza con 3.6 g). Los datos se muestran en el Cuadro 21. En la Fotografía 10 A se pueden observar algunos ejemplos de la RC<sub>2</sub>.

Cuadro 21. Segunda retrocruza realizada en plantas F<sub>3</sub> seleccionadas en grano maduro para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Tipo de retrocruza			Segunda retrocruza		
Progenitor recurrente		Progenitor donador	Progenitor recurrente	Panojas	g
LRB 104	x	SC 301	x LRB 104	3	9.0
LRB 204	x	SC 301	x LRB 204	3	13.0
R5B	x	N559R	x R5B	6	26.8
R5B	x	MACIA	x R5B	5	23.6
LRB 216	x	88BE2668	x LRB 216	3	9.6
LRB 216	x	MACIA	x LRB 216	4	4.5
FA 163	x	88BE2668	x FA 163	3	11.5
5L	x	88BE2668	x 5L	6	33.6
19L	x	MACIA	x 19L	2	3.7
19L	x	SC 27914E	x 19L	6	18.0
FA 170	x	SC 301	x FA 170	2	7.74
TX 435	x	SC 27914E	x TX 435	2	26.9
TX 435	x	SC 1337	x TX 435	3	9.5
TX 435	x	N559R	x TX 435	8	63.2
TX 430	x	MACIA	x TX 430	3	10.2
FA 170	x	SC 301	x FA 170	2	7.74
1014	x	88BE2668	x 1014	3	15.0
1014	x	SC 27914E	x 1014	5	25.4
17473	x	SC 27914E	x 17473	2	8.87
285 288	x	88BE2668	x 285 288	2	3.6
LEAC 152	x	IS 4647	x LEAC 152	3	13.0
Total				74	336.7

En forma general, para la formación de las líneas isogénicas de sorgo con el carácter gluma corta y mayor porcentaje de de grano descubierto, se obtuvieron líneas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, con un 75 % de recuperación del progenitor recurrente (línea élite) derivadas de dos procedimientos.

(A). Se obtuvieron 26 líneas obtenidas de dos retrocruza donde la primer Retrocruza se efectuó en plantas  $F_2$  seleccionadas antes de la floración, la  $F_2$  fue obtenida mediante autofecundación de la  $F_1$  derivada de los primeros cruzamientos realizados entre las líneas élite (plantas emasculadas) como progenitor recurrente y las líneas exóticas como progenitor donador del carácter gluma pequeña y grano descubierto.

(B). Se obtuvieron 27 líneas obtenidas de dos retrocruza, donde la primera retrocruza se realizó en las plantas  $F_3$ , derivadas de la selección de panojas  $F_2$  que presentaron menor tamaño de la gluma y mayor porcentaje de grano descubierto. La  $F_2$  y la  $F_3$  se obtuvieron por autofecundación de la  $F_1$  derivada del primer cruzamiento descrito en el punto anterior.

En la Fotografía 12 A. se muestran algunos ejemplos de las glumas de las líneas derivadas de la segunda retrocruza.

## V. DISCUSIÓN

### V.1. Formación de poblaciones mejoradas con el carácter gluma corta y menor cobertura de grano

Se decidió la formación de poblaciones mejoradas o recombinantes con el gen de androesterilidad porque es más sencilla la introducción de caracteres deseables provenientes de materiales exóticos y porque una vez introducido el carácter en esta población, la misma androesterilidad permite la recombinación y formación de nuevas combinaciones para ser más efectivo un proceso de selección. Al respecto, Hallauer y Miranda (1988) señalan la efectividad del uso de germoplasma exótico como fuente de genes para introducir un carácter agronómico que no fue considerado en materiales genéticos que ya han sido mejorados.

En este caso se formaron en total cuatro poblaciones derivadas de las poblaciones NESSC7 y NE39R, dos de ellas corresponden a un ciclo de introgresión NESSC7 ( $P_1$ ) y NE39R ( $P_1$ ) y las otras dos corresponden a dos ciclos de introgresión NESSC7 ( $P_2$ ) y NE39R ( $P_2$ ). En la  $P_1$  el tamaño de la gluma disminuyó su longitud con respecto a tamaño de la gluma de la  $P_0$ . Al respecto Menkir *et al.* (1993) señalaron que en el caso de sorgo la introducción de germoplasma exótico en materiales genéticos adaptados incrementa la variabilidad de caracteres cuantitativos y que si se utiliza la

población adaptada como progenitor recurrente se puede obtener una amplia base genética de genotipos adaptados.

En el caso de maíz Michelini y Hallauer (1993) señalaron que utilizando un 25 % de germoplasma exótico se puede obtener mejores resultados; también, dos Santos *et al.* (2000) reportaron que los mejores resultados para incorporar genes exóticos en poblaciones de maíz criollo ocurre en la segunda y tercera retrocruza (incorporación de 6.25 % y 12.6 % de germoplasma exóticos respectivamente).

En relación al tamaño de la gluma, la mayor reducción del tamaño se pudo obtener utilizando familias de autohermanos de la población NESSC7 ( $P_1$ ), con una reducción estimada del 10.4 %. Esto posiblemente se debe a que con este tipo de familias se presenta una mayor endogamia debido al proceso de autofecundación que favorece una mayor frecuencia del genotipos *sg sg* (gluma corta).

Para el caso del carácter cobertura del grano, el porcentaje de grano descubierto se incrementó en las poblaciones con introgresión con respecto a las poblaciones originales, la situación fue similar a lo ocurrido con el tamaño de la gluma, ya que el mayor porcentaje de grano descubierto (menor cobertura de grano) se mostró en las familias de AH de la población con introgresión NESSC7 ( $P_1$ ), en esta población el porcentaje de grano descubierto aumentó un 20%. La misma tendencia se observó en la NE39R

(P<sub>1</sub>) el porcentaje de grano descubierto en las familias de AH aumentó un 3 %.

Para el tamaño de la gluma y cobertura del grano no se pudo encontrar otro término de comparación en la revisión de la literatura; sin embargo, Crossa y Gardner (1987) incrementaron la variabilidad genética de poblaciones de maíz, introduciendo maduración temprana y alto rendimiento de germoplasma exótico para formar una población base para hacer selección para rendimiento de grano. Hollan (2004) logró incrementar el diámetro del tallo 3.92 % y la producción de mazorca un 4.40 % introduciendo material exótico en maíz.

Los rangos del tamaño de la gluma (mm) y cobertura del grano (% GD) de las familias de MH y AH de las dos poblaciones con introgresión, concuerdan con el tamaño de la gluma de las líneas exóticas utilizadas como fuentes del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano; también coinciden con los rangos de las glumas de menor tamaño y con los rangos de mayor porcentaje de grano descubierto, estimados por el ICRISAT (1999).

En el Cuadro 14 se muestra la efectividad del proceso seguido, en los cambios obtenidos de las medias de las poblaciones mejoradas con respecto a las poblaciones originales, en las características introducidas en ambas poblaciones con introgresión NESSC7 (P<sub>1</sub>) y NE39R (P<sub>1</sub>).

Los resultados encontrados tanto para la disminución del tamaño de la gluma y el incremento del porcentaje de grano descubierto demuestran la efectividad del proceso de introgresión utilizando líneas exóticas en poblaciones recombinantes. Estas poblaciones mejoradas quedan disponibles para hacer un proceso de selección que pudiera generar variedades con mejores características para la cosecha de grano, disminuyendo pérdidas de grano durante este proceso.

Para las variables agronómicas: floración, altura de planta, excursión, longitud de panoja y rendimiento de grano por planta, las poblaciones con introgresión presentaron medias muy similares a las medias de las poblaciones originales, tanto en las familias de medios hermanos como en las familias de autohermanos en ambas poblaciones. Estos resultados eran de esperarse, ya que estas características no fueron consideradas en los materiales exóticos utilizados en el proceso de introgresión.

#### **V.2. Varianzas genéticas y fenotípicas, heredabilidad en sentido estrecho y respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en dos poblaciones con introgresión de líneas exóticas.**

En el carácter tamaño de gluma y cobertura de grano, la magnitud de la varianza aditiva en las poblaciones mejoradas y originales fueron diferentes en todos los casos, debido a que los materiales genéticos utilizados para estimar el carácter son diferentes y los ambientes donde se evaluaron también son diferentes; sin embargo, los cambios en el gradiente

de las varianzas aditiva de las diferentes poblaciones estuvieron dirigidos hacia obtener mayor varianza aditiva que varianza de dominancia y a obtener la mayor varianza aditiva en las poblaciones con introgresión que en las poblaciones originales. La varianza aditiva en estas dos características (tamaño de gluma y cobertura de grano) fueron de diferente magnitud y la mayor varianza aditiva se obtuvo en el tamaño de gluma.

Lo anterior coincide con Bridges y Gardnes (1987) quienes lograron incrementar la variabilidad genética en una población de maíz. Ron y Hallauer (1997) mediante la incorporación de material exótico logaron introducir germoplasma templado no adaptado a germoplasma tropical o semitropical adaptado para ampliar la fuente de genes para resistencia a plagas y enfermedades. Jan-orn *et al.* (1976) reportaron una mayor varianza aditiva en familias de medios hermanos que en familias  $S_1$  para rendimiento de grano en una población de sorgo mejorada para aumentar su variabilidad genética para realizar selección recurrente.

Generalmente, el tamaño de gluma en las dos poblaciones con introgresión obtuvieron mayor varianza aditiva, en la localidad de Marín la varianza aditiva en la población NESSC7 ( $P_1$ ) se incrementó un 5 % y la NE39R ( $P_1$ ) aumentó 0.3 %. En la localidad de Río Bravo la varianza aditiva en la población NESSC7 aumentó 9 % y en la población NE39R se incrementó 238 %.

Para la cobertura de grano la varianza aditiva en la localidad de Marín en la población NESSC7 se incrementó 1 % y en la población NE39R se incrementó 1 %. En la localidad de Río Bravo ocurrió lo mismo, la varianza aditiva en la población NESSC7 se incrementó 1 %.

La mayor magnitud de la varianza aditiva en las poblaciones con introgresión posiblemente se debe a un efecto aditivo de los genes introducidos del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano mediante la introgresión de las líneas exóticas. Al respecto Bello *et al.* (2007) lograron incrementos en el rendimiento mediante la selección en base a floración, altura de planta, longitud de panoja y rendimiento de grano en poblaciones de sorgo. Jan-orn *et al.* (1976) incrementaron la varianza aditiva para floración, altura de planta y rendimiento de grano por planta en una población de sorgo, utilizada para hacer selección familiar para incrementar el rendimiento.

Se observa una diferencia en la magnitud de la varianza aditiva en las dos localidades posiblemente esto se debe a un efecto del ambiente o al efecto de la interacción genotipo por ambiente. Al respecto Falconer (1975) señaló que el supuesto de que la varianza ambiental es la misma en todos los genotipos, no siempre es cierto, debido a que algunos genotipos pueden ser mayor o menor sensibles a ciertos ambientes; también indica que la diferencia del ambiente puede tener mayor efecto en algunos genotipos que en otros.

En relación a la varianza de dominancia de carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones con introgresión, se consideró inexistente en la  $P_0$  y en la  $P_1$  en las dos localidades. Por lo que la expresión de este carácter se debe a efectos principalmente aditivos de los genes.

No se pudo encontrar otros estudios sobre varianza aditiva y de dominancia de tamaño de gluma y cobertura de grano en la revisión de literatura, por lo que no fue posible establecer términos de comparación. Sin embargo, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Jan-orn *et al.* (1976) quienes encontraron valores más bajos de varianza genética en familias  $S_1$ .

En las población NE39R ( $P_1$ ) y NESSC7 ( $P_1$ ) se observó un mayor efecto aditivo por haber obtenido mayor varianza aditiva (no obtuvo varianza de dominancia) y un menor tamaño de la gluma y un mayor porcentaje de grano descubierto. Hay que recordar que las líneas exóticas que se utilizaron para la introgresión fueron seleccionadas por presentar el menor tamaño de la gluma y el mayor porcentaje de grano descubierto.

La variabilidad del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano obtenida en las poblaciones con introgresión se debe a la introducción de las líneas exóticas, al respecto, Menkir (1993) indicó que la incorporación de germoplasma exótico puede incrementa la variabilidad de un carácter que no se había tomado en cuenta para la selección.

La introgresión de genes de efectos aditivos de líneas exóticas, como es el caso del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en las poblaciones NESSC7 ( $P_1$ ) y NE39R ( $P_1$ ), otorga la posibilidad de que este carácter, debido a su aditividad, se sume a los genes favorables para tamaño de semilla grande y origine genotipos con esta característica, con tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

La uniformidad presentada en los cambios del gradiente de la magnitud de la varianza aditiva en las poblaciones originales tienden a disminuir hasta cero y se registran en algunos casos variación de dominancia para cobertura de grano, esto indica que la magnitud de la varianza aditiva es baja debido a que en estas poblaciones no se ha hecho selección para este carácter; además, si consideramos que en estas poblaciones se ha realizado selección para tamaño de grano y se registrar varianza aditiva para tamaño de gluma en las poblaciones originales, posiblemente el tamaño de la gluma está asociada al tamaño de grano.

En relación a los cambios en la magnitud de la varianza aditiva en las diferentes localidades, esta dado por el efecto del ambiente en la expresión del carácter; sin embargo, el comportamiento del genotipo es el mismo al comparar la poblaciones con introgresión y originales, el gradiente de las proporciones de la varianza aditiva sigue siendo el mismo, disminuye la varianza aditiva en las poblaciones originales de las dos localidades, el efecto del ambiente se observa en la disminución de la varianza aditiva en la localidad de Marín debido a efectos de la interacción genotipo por ambiente,

esto es congruente con el tipo de suelo ya que en la localidad de Marín los suelos son menos fértiles que en la localidad de Río Bravo. Al respecto Márquez (1985) señaló que un carácter cuantitativo es afectado por el ambiente, y que debido a esto puede cambiar la magnitud de su varianza.

La cobertura de grano también objeto de este estudio, se debe posiblemente a efecto combinado del tamaño de gluma y de cobertura del grano, ya que algunos tipos de sorgo presentan gluma largas y encierran dentro de ellas el grano y otros tipos de sorgo presentan glumas largas pero en su base se observa un ángulo de abertura que deja el grano descubierto de un 50 % a un 100%, esto se puede observar en las líneas exóticas de la Universidad de Nebraska (NAGA WHITE y MACIA) y de la Universidad de Texas A & M (SC 27914 E y SC 301) (Fotografía 11 A.)

En relación a la varianza aditiva de las características agronómicas de las poblaciones con introgresión, se obtuvo mayor varianza aditiva para floración (113.77) y altura de planta (885.39); en las poblaciones originales se obtuvo mayor varianza aditiva para excersión (11.10), longitud de panoja (25.34) y rendimiento de grano por planta (509.30).

Los valores de la varianza aditiva registrada en las poblaciones con introgresión, indican que estas poblaciones mantienen su variabilidad; para altura de planta y floración. El rendimiento de grano en las poblaciones con introgresión obtuvo menor varianza aditiva que en las poblaciones originales correspondientes.

Los valores bajos de la varianza aditiva de las características agronómicas en las poblaciones con introgresión, de acuerdo con Hollan (2004), se debe a que la introducción de material exótico (con baja frecuencia de genes favorables) no ocasiona cambios en la variabilidad de estas características y las poblaciones cuentan con mayor frecuencia de genes favorables debido a la selección de estos caracteres.

No se encontraron estudios sobre las varianzas genéticas para tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano. Para la varianza aditiva en las características agronómicas, Bello *et al.* (2007) reportaron varianzas genéticas para: floración de 829.04, para altura de planta de 2,482.8 y para rendimiento de grano por panoja de 829.4, estos valores son diferentes de los obtenidos en este estudio.

Considerando los resultados obtenidos de las estimaciones de las varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano, se puede decir que los componentes de varianza de las familias de MH y AH, obtenidos del ANOVA, permitieron estimar las varianzas genéticas del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano y otras características agronómicas. En las familias de MH se pudo estimar las proporciones de las varianzas aditivas y con las familias de AH se estimó la varianza de dominancia y con las dos varianzas se pudo calcular la varianza genética total del carácter.

Al respecto el IPGR (2003) mencionó que se puede utilizar el análisis

estadístico para la estudiar un carácter morfológico con fines de mejoramiento en un cultivo. Mather (citado por Hallauer, 2007) mencionó que las varianza de una población se pueden estudiar a través de componentes de varianza.

Los componentes de varianza proporcionaron la varianza de cada componente de la fuente de variación, de esta manera se obtuvo la varianza genética y la varianza no genética, el inconveniente que se presentó fue que algunos componentes resultaron negativos. Al respecto, Searle (1971) indicó que los componentes son positivos por definición y cuando resultan negativos, pueden surgir complicaciones cuando se realizan las operaciones matemáticas y sugiere que los valores que resulten negativos se consideren con valor de cero.

Además, Hallauer y Miranda (1988) mencionaron que los componentes de varianza negativos pueden ser originados por el uso inadecuado de modelos o por las condiciones de heterogeneidad del experimento; sin embargo, en este estudio los componentes con estimaciones de varianza genética negativa se consideraron como cero.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron congruentes con el tipo de material genético que se estaba evaluando, esto indica que el uso de componentes de varianza producen estimaciones adecuadas de la varianza genética si se interpretan de acuerdo al tipo de material genético y las prácticas de mejoramiento utilizadas.

Para este estudio los componentes positivos estimado en las familias nos indican la existencia de varianza genética del carácter en la población y con los componentes del error experimental y de los bloques (siguiendo el modelo indicado por Scoutt y Milliken, 1993), se estimó la varianza ambiental para estimar la varianza fenotípica, utilizada en la fórmula de la heredabilidad en sentido estrecho, también con la varianza fenotípica se determinó la desviación estándar fenotípica.

En lo que se refiere a  $h^2$  para tamaño de gluma y cobertura de grano, en la NESSC7 ( $P_1$ ) en Marín presentó un 22 % mayor que en la  $P_0$ , mientras que para cobertura de grano fue de 1 % mayor en la  $P_1$  que en la  $P_0$ . Para la localidad de Río Bravo la  $h^2$  para tamaño de gluma fue un 33 % mayor en la  $P_1$ , mientras que para la cobertura de grano fue de 25 %.

En la población NE39R ( $P_1$ ) (localidad Marín) la  $h^2$  del tamaño de gluma fue mayor un 22 % y en cobertura de grano la heredabilidad fue cero; en la localidad de Río bravo la  $h^2$  fue mayor 36 % y la cobertura de grano fue mayor 25 % estos valores comparados con la  $P_1$ . Esta mayor  $h^2$  del carácter tamaño de gluma y cobertura de grano en la  $P_1$  es congruente con las magnitudes de la varianza aditiva mostradas en la  $P_1$ .

Las características agronómicas presentaron mayor  $h^2$  en la  $P_0$  que en la  $P_1$ , excepto Floración. Para rendimiento de grano se estimó una  $h^2$  baja. Esto coincide con lo reportado por Jan-orn *et al.* (1975), quienes reportan una  $h^2$  de 0.82; los rangos de la  $P_1$  son similares a los reportados por Eckbil

*et al.* (1977) quienes estimaron una  $h^2$  de 0.38. La  $h^2 = 0$  fue ocasionada por una varianza aditiva de cero debido al componente de varianza negativo de las familias de MH.

En relación a la  $h^2$  de rendimiento de grano, en las poblaciones con introgresión se encontró una  $h^2$  muy baja de apenas 0.04 en las dos poblaciones, esto concuerda con un baja varianza aditiva en las dos poblaciones; en la NESSC7 ( $P_1$ ) fue de 6.98 y en la NESSC7 ( $P_1$ ) fue 5.79. Al respecto, Lothrop *et al.* (1985) reportaron una  $h^2$  para rendimiento de grano por panoja en dos poblaciones de 0.13 y 0.60. Bello *et al.* (2007) reportaron una  $h^2$  de 0.10 para rendimiento de grano por panoja. En el caso de maíz, Hallauer (2007) reportó una  $h^2$  de 0.45 de rendimiento de grano por planta. Además, Márquez y Sahagún (1994) señalaron que los cálculos de la varianza aditiva y la  $h^2$  son necesarios para estimar la respuesta predicha a la selección y ayudan a definir los criterios para establecer los índices de selección.

La mayor respuesta predicha a la selección (R) para tamaño de gluma fue  $R = 0.05$ , se obtuvo en la población NE39R ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo) con una presión de selección del 10 %; para cobertura de grano la  $R = 0.0$ . También se obtuvo una respuesta predicha de  $R = 0.16$  en la población NESSC7 ( $P_1$ ) (localidad Río Bravo) con una presión de selección de 10 %; para cobertura de grano la respuesta predicha a la selección fue de  $R = 0.03$  con una presión de selección del 10 %.

La respuesta predicha a la selección obtenida en las poblaciones con introgresión fue congruente con la magnitud de la varianza aditiva y la  $h^2$  estimada en estas poblaciones. La magnitud de la respuesta predicha a la selección fue mayor en las poblaciones mejoradas con introgresión con respecto a las poblaciones originales.

Como se puede observar, el carácter tamaño de gluma y/o cobertura de grano en la población NESSC7 ( $P_1$ ) presentó mayor magnitud de la varianza aditiva, mayor  $h^2$  y mayor respuesta a la selección y siendo estas magnitudes mayores en la  $P_1$  vs  $P_0$  por efecto de la introgresión. En base a los valores de la  $\delta^2_A$  y  $\delta^2_D$  se puede especular en el proceso de mejoramientos a seguir, siendo una alternativa la selección recurrente.

No se encontraron en la literatura estudios sobre la respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano; sin embargo, Jan-orn *et al.* (1976) encontraron una mayor respuesta predicha a la selección en caracteres con valores altos de  $h^2$  como floración y altura de planta, aunque Kenga *et al.* (2006) indicaron que la magnitud de la expresión genética de caracteres de importancia económica, puede ayudar a predecir la respuesta a la selección para diseñar el tipo de apareamiento en los programas de mejoramiento. Al respecto, Bello *et al.* (2007) mencionaron que la varianza de la expresión de un carácter nos indica la posibilidad de hacer selección.

Considerando los incrementos de las magnitudes de la varianza aditiva y  $h^2$  estimadas para el carácter tamaño de gluma y cobertura de grano en las poblaciones con introgresión, indica la existencia de variabilidad genética para este carácter, por lo que se puede hacer selección a favor de gluma corta y menor cobertura de grano.

La magnitud de las varianzas aditivas del tamaño de gluma y de cobertura de grano coincidieron con el coeficiente de variación aditiva en las dos poblaciones con introgresión y originales, siendo los CVA de la  $P_1$  mayores que los CVA de la  $P_0$ , esto coincide con lo señalado por Kenapp *et al.* (1987); Moreno *et al.*, (2000) y Bello *et al.* (2007) quienes establecieron que valores altos de varianza aditiva generan coeficiente altos de variación genética de los materiales en estudio, lo cual indica que se obtuvo precisión en las estimaciones de la varianza aditiva.

### **V.3. Formación de líneas isogénicas élite con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano**

Para la formación de las líneas isogénicas con carácter gluma corta y menor cobertura de grano se utilizó el método de la retrocruza, debido a que este método permite introducir diferentes dosis de germoplasma exótico en líneas élite, las cuales ya han sido seleccionadas para genes favorables a la adaptación y el rendimiento de grano, mediante la retrocruza se reincorpora el genotipo de la línea élite o progenitor recurrente, considerando que las líneas élite son altamente endogámicas, se realizaron dos retrocruzas, con el

fin de recuperar el germoplasma del progenitor recurrente, en este caso las líneas élite, de acuerdo con Márquez (1988) en la RC<sub>1</sub> se recupera un 50 % y en la RC<sub>2</sub> se recupera 75 % del progenitor recurrente.

En este estudio se realizó el mismo número de retrocruzas RC<sub>1</sub> y RC<sub>2</sub>, la diferencia esté en el procedimiento para realizar la RC<sub>1</sub>; (1) en el primer procedimiento la retrocruzas se realizó en plantas F<sub>2</sub> y (2) en el segundo procedimiento la RC<sub>1</sub> se realizó en plantas F<sub>3</sub>. En ambos procedimientos se obtuvo plantas con el 75 % de recuperación del progenitor recurrente (líneas élite) y con tamaño de gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto (Fotografía 12 A)

La selección de panojas con gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto permitió obtener un mayor número de líneas F<sub>1</sub> RC<sub>2</sub>; sin embargo, al realizar la retrocruza en plantas F<sub>2</sub> también ayudó a seleccionar las plantas con mayor similitud con el progenitor recurrente y con el carácter introducido. Al respecto, De Marchi y Basutti (1999) mejoraron el rendimiento de grano en maíz a través de diferentes porcentajes de material exótico en plantas mejoradas, el mayor rendimiento lo obtuvieron utilizando 25 % del material exótico en dos retrocruzas realizadas en plantas F<sub>2</sub>. También hay coincidencia con lo reportado por dos Santos *et al.* (2000) y Domagoj *et al.* (2003) quienes señalaron que la retrocruza en la generaciones F<sub>2</sub> obtiene una mayor respuesta para introducir material exótico en poblaciones adaptadas.

## VI. CONCLUSIONES

1. La introducción del carácter tamaño de gluma y/o cobertura de grano de líneas exóticas seleccionadas para tamaño de gluma pequeña y mayor porcentaje de grano descubierto en la población NESSC7 originó una disminución del tamaño de la gluma y aumentó del porcentaje de grano descubierto.
2. El método de la introgresión de líneas exóticas incrementó la variabilidad del carácter tamaño de gluma y/o cobertura de grano en la población NESSC7 ( $P_1$ ).
3. La población NESSC7 ( $P_1$ ) se puede utilizar para hacer selección recurrente para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.
4. Mediante el método de la introgresión se obtuvieron dos poblaciones recombinantes mejoradas para el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.
5. Se obtuvieron líneas  $F_1$   $RC_2$  con el carácter gluma corta y menor cobertura de grano, utilizando líneas exóticas como progenitor donador y con un 75 % de recuperación del progenitor recurrente utilizando líneas élite.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Audilakshmi S.T., J. W. Stenhouse, T. P. Reddy and M. V. R. Passad. 1999. Grain mould resistance and associated characters of sorghum genotypes. *Euphytica*. 107: 91-103.
- Bello D. and A. T. Obilana. 1985. Inheritance studies in grain sorghum. *Sorghum Newsletter*. pp: 28, 76.
- Bello D., A. M. Kadams, S. Y. Simon and D. S. Mashi. 2007. Studies on genetic variability in cultivated sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars of Adamawa State Nigeria. *American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science*. 2 (3): 297-302.
- Belum V. S. R., R. Bandyopadhyay, B. Ramaish and R. Ortiz. 2000. Breeding grain mold resistant Sorghum cultivars. ICRISAT. IN Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation. Del 18 al 19 mayo del 2000. ICRISAT Patancheru India. pp: 195-224.
- Besage J. E. and R. A. Kempeton. 1986. Statistical analysis of field experiments using neighbouring plots. *Biometrics*. 42: 231-251.
- Bridges W. C. and C. O. Gardner. 1987. Foundation populations for adapted by exotic crosses. *Crop Science*. 27: 501-509.
- Cádena M., J. A. y A. M. Castillo. 2000. Una comparación de S.A.S. y Harvey en estimaciones de componentes de varianza en modelo mixtos. *Agrociencia*. 34: 57-68.
- Castor L. L. and R. A. Fredriksen. 1980. *Fusarium* y *Curvularia* mohos grain in Texas, E.U.A. *Sorghum Disease. World Review*. ICRISAT. Patancheru, India. pp: 93-102.
- Cástañon, G. N. y L. Latournerie M. 2004. Comportamiento de familias S<sub>1</sub> de maiz en distintos pH del suelo. *Bragantia, Campinas*. 63. Página web: [www.scielo.br/scielo.php](http://www.scielo.br/scielo.php).
- Chaparro C. J. M. 1997. Parámetros de operación en las combinadas. *Cosechadoras de cereales*. Pagina web: [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com).

- Clayton W. D. and S. A. Renvoize. 1986. Genera *Graminum* grasses of the world. In: Kew Bulletin Addition Series XIII. London: Royal Botanic Gardens. pp: 338-345.
- Clará V. R., N. E. D'Cruz M., E. A. Hernández, A. E. López D., J. M. Yohe, C. Stephen M. y W. Rooney L. 2007. El mejoramiento genético en poblaciones. CENTA-INTSORMIL. [http. www.centa.gov.sv/documentos/](http://www.centa.gov.sv/documentos/).
- Crossa J. and C. O. Gardner. 1987. Introgression of an exotic germplasm for improving an adapted maize population. *Crop Science*. 27: 187-190.
- CSIR. 2007. Sorghum and Millet breeding in west África in practice. Savanna agricultural research institute. Página web: [www.afri.pro.og.uk/papers](http://www.afri.pro.og.uk/papers).
- Dahlberg J. A. 2000. Classification and characterization of the World Collection of *Sorghum*. In *Sorghum*, Wiley, New York. Editores: C. W. Smith y R. A. Frederiksen. pp: 99-119.
- De Marchi V. and C. A. Biasutti. 1999. Incidencia de la introgresión de germoplasma exótico en una población adaptada de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*. XV1: 37-42.
- de la Loma J. L. 1996. Experimentación agrícola. 2ª edición. Ed. Hispanoamericana, México D. F. pp: 156-185.
- de Wet J. M. J. 1978. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (Graminae). *Annals of Botany*. 65. 477 pp.
- dos Santos M. J., L. M. Pollak., C. A.P. Patto, E. G. Olivira, L. A. Peternelli, S. N. Parentoni, and L. L. Nass. L. 2000. Incorporating different proportions of exptic maize germplasm into two adapted populations. *Science Agricola*. 23: 105-120.
- Dillon S. L., F. M. Shapter, R. J. Henry, G. Cordeiro, L. Izquierdo and L. SL. Lee. 2007. Domestication to crop improvement: genetic resources four *Sorghum* and *Saccharum* (Andropogoneae). Australiane Tropical Crop and Forages Centre. *Annals of Botany. Oxford Journals*. 100: 975-989.
- Doggett. 1970. *Sorghum*. Ed. Longman, Green and Co. Ltda., London. 403 p
- Domagoj S., T. Prester, G. Seitz and H. H. Geiger. 2003. Comparing methods for integrating exotic germplasm into european forage maize breeding programs. *Crop Science*. 43: 1952-1959.

- Eckebil J. P., W. M. Ross, C. O. Gardner and J. W. Maranville. 1977. Sorghum random-mating populations. *Crop Science*. 17: 373-377.
- Everety J. 2000. Molecular and morphological evolution in the Andropogonae. *Grass: Systematics and Evolution*. Editor CSIRO. Australia. 499 pp.
- Falconer D. S. 1975. Introducción a la genética cuantitativa. Editorial Continental 5ª Edición. Traductor: Fidel Márquez Sánchez. pp: 161-169.
- FAO. 2006. Iniciativa mundial del fitomejoramiento. Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor. Organización de las Naciones Unidas para Salud y la Alimentación. [www.fao.org/ag/esp/revista/0606sp1.html](http://www.fao.org/ag/esp/revista/0606sp1.html).
- Federer W. T. 1956. Augmented (or hoonuiaku) designs. *Hawaii Plant Records*. 2: 191-208.
- Federer W. T. 1961 Augmented desings with one-way elimination of heterogeneity. *Biometrics*. 17 (3): 447-473.
- Federer W. T. and N. K. Nguyen. 2002. Incomplete block designs. *Encyclopedia of Environmetrics*. Editor. John Wiley. 23. pp: 1039-1042.
- Federer W. T. 2003. Exploratory model selection for spatially designed experiments – some examples. Cornell University.
- Federer W. T. 2005. Augmented split block experiment design. *Agronomy Journal*. 97: 578-586.
- Frez C. J., 2002. Estimadores de mínima desviación ortogonal; caso lineal. *Geos*. 22: 444-452.
- Glueck J.A., L. W. Rooney, D. T. Rosenaw, and F. R. Miller. 1977. Physical and structural properties of field deteriorated (weathered) sorghum grain. In Third annual progress report. TES-USA/AID Contract-ta-c-1092. Collage Station, Texas. E.U.A. Texas Agricultural Experiment Station: 102-112.
- Gouesnard B. J., Sanou M. J., Pamouille A., Bourion V. and Boyal A. 1996. 1996. Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted exotic maize crosses. *Theoretical. Applical Genetic*. 92: 368-374.

- Hallauer A. R. and J. B. Miranda, 1988. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University. 468 p.
- Hallauer R. A. 2007. History contribution, and future of quantitative genetics in plant breeding: Lesson from maize. *Crop Science of America*. 47. pp: 4-19.
- Harlan J. R. and J. M. J. de Wet. 1972. A simplified classification of cultivated plants. *Taxon*. 20: 509-517.
- Holland B. J. 2004. Breeding: incorporation of exotic germplasm. *Encyclopedia of Plant and Crop Science*. Editor Marcel Dekker. USDA-ARS. Carolina State University, E.U.A. pp: 222-225.
- House R. L. 1985. A guide to sorghum breeding. 2a Ed. Patancheru, India: International Crop Research Institute for the Semi-Arid ICRISAT, India. 206 pp. (2-22 hojas)
- ICRISAT. 1974. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Plant Resources of Tropical África. Francia. PROTOBASE. Protologue Methodos: 207. [www.proto.org.singer@cigar.sor](http://www.proto.org.singer@cigar.sor).
- ICRISAT. 1999. Instituto Internacional de los Recursos Genéticos de la Planta. Italia. [singer@cigar.sor](mailto:singer@cigar.sor).
- ICRISAT. 2000. Instituto Internacional de los Recursos Genéticos de la Planta. Italia. [singer@cigar.sor](mailto:singer@cigar.sor).
- ICRISAT. 2008. Genetic resources on Crop Evolution. [www.icrisat.org/sorghum/sorghum](http://www.icrisat.org/sorghum/sorghum)
- International Code of Botanical Nomenclature (ICBN). 2005. The Seventeenth International Botanical Congress. Editor J. M. Neill Chairmal. Viena, Australia. 207:4.
- IPGRI. 2000. Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe. 1ª Edición. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) Editor: Helle Kundesen. Roma, Italia. 340 pp.
- IPGRI. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos genéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogénéticos. Editores: Franco, T. L. y R. Hidalgo. Italia, Roma. Boletín Técnico 8: 2-72.
- Jambunathan R., M. S. Kherdekar, and J. W. Stenhouse. 1992. Sorghum grain hardness and its relationship to mold susceptibility and mold

- resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40: 1403-1408.
- Jan-orn J. C., O. Gardner and W. M. Ross M. 1976. Quantitative genetics studies of the NP3R random-mating grain sorghum population. *Crop Science*. 16: 489-496.
- Kenapp S. J. W. and N. Ross, W. W. Strpou. 1987. Precision of genetic variance and heritability estimates from sorghum populations. *Crop Science*. 27: 265-268.
- Kenga A., A. Tenkouano, S. C. Gupta and S. O. Alabi. 2006. Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) populations. *Euphytica*. 150 (3): 319-326.
- Khusnetdinova T. G. and A. L. El'konin. 1989. Inheritance of some qualitative characters in sorghum. *Kompleksnye issledovaniya po seleksii sorghum. Zenograd. USSR*. 79-93 pp.
- Lonnquist J. H. 1974. Consideration and experience with recombination of exotic and Corn Belt maize germplasm. In: *Proceedings 29<sup>th</sup> Annual. Corn Sorghum Industry Research Conference*. Chicago, IL. ASTA. Washington, D.C. 29: 102-117.
- Lothrop J. E., R. E. Atkins and O. S. Smith. 1985. Variability for yield and yield components in IAP1R grain sorghum random-mating population, means, variance components, and heritabilities. *Crop Science*. 25: 235-240.
- Lourenco L. N. and E. Paterniani. 2000. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agricola. Piracicaba. Brasil*. 57: 3.
- Lukhele P. E. and A. T. Obiliana T. 1984. Genetic variability in long Seaton random-mating grain sorghum population. *Zeitschrift fur Pflanzenzuchtg*, 92: 40-51.
- Manjit S. K. 2004. *Sorghum* improvement: past achievements and future prospects. *Crop improvement: challenges in the twenty – First century*. 127 p.
- Manuetus S. B., A. R. Frederiksen, D. R. Waniska, N. G. Odvody, J. T. Craig and T. D. Rosenow. 1988. The effects of glume and caryopses

- characteristics of Sorghum on infection by *Fusarium moniliforme* Sheldon. *Sorghum Newsletter*. 31. 100 p.
- Martin J. H. 1975. Historia y clasificación de los sorgos. In *Producción y uso del sorgo*. 1ª edición. Editorial: Hemisferio Sur. Traducido por Andrés O. Bottaro. 1: 18.
- Maldonado M. M., A. Peña L., J. Sahágún C., J. E. Rodríguez P. y R. Mora A., 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotécnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot). *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol 25 (3): 231-237.
- Márquez S. F. 1985. *Genotecnia Vegetal*. Tomo I. Editorial. AGT. 1ª Edición. México, D. F. 614 pp.
- Márquez S. F. 1988. *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Editorial AGT. 1ª Edición. México, D. F. 655 pp.
- Márquez S. F. and J. Sahagún-Castellanos. 1994. Estimation of genetic variance with maternal half-sib families. *Maydica*. 39: 197-201.
- Márquez S. F. 1997. Estimación de varianzas genéticas usando líneas autofecundadas como progenitores en maíz. *Agrociencias*. 31: 171-175.
- Mashark S. A. 2006. Genotypic variation of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in response to different cropping systems. *Journal of Agronomy* 5 (4): 634-640.
- Menkir A., P. J. Bramer-Cox, and M. D. Witt. 1993. Comparisons of methods for introgressing exptic germ plasm into adapted sorghum. *Theoretical and Applied Genetics*. 89: 1432-2242.
- Menkir A., G. Ejeta, L. Butler and A. Melakeberhan. 1996. Physical and Chemicals kernel properties associated with resistente to grain mold in sorghum. *Asociation American Chemists Cereal* 73 (5): 613-617.
- Meneses M. I., C. Villanueva V., J. Sahagún C., T. Roque V. y C. Merrick L. 2002. Componentes de varianza genética y respuesta a la selección combinada en calabaza (*Cucurbitacia Pepo* L.) bajo sistema milpa. *Revista Chapingo* 8: 5-23.
- Michelini L. A. and A. R. Hallauer. 1993. Evaluation of exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) germplasm crosses. *Maydica* 38: 275-282.

- Molina J. D. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. Editorial: A. G. T. Mexico D. F. pp: 143-232.
- Montes N. G., L. Prom K., V. Pecina Q. y H. Williams A. 2005. Microflora parasítica presente en el grano de sorgo en el norte de Tamaulipas. VIII Simposium Internacional y III Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. 140 pp.
- Prom K. L. R. D. Waniska, I. Kollo and W. L. Rooney. 2002. Response of eight sorghum cultivars inoculated with *Fusarium thapsicum*, *Curvularia lunata*, and a mixture of the two fungi. ELSEVIER. Crop Protection 22 (3): 623-628.
- Prom L. K. 2004. The effects of *Fusarium thapsicum* and *Curvularia lunata* and their combination on Sorghum germination and seed mycoflora. Journal New Seeds. 6: 39-49.
- Rai K. N., D. S. Murty, D. J. Andrews and P. J. Bramel-Cox. 1999. Genetic enhancement of pearl millet and *Sorghum* for the semi-arid tropics of Asia and Africa. Genome 42: 617-628.
- Ron P. J. and A. R. Hallauer. 1997. Utilization of exotic maize germplasm. Plant Breeding. 14: 165-187.
- Peña L. A., A. Mejía C., M. Rodríguez P., A. Caraballo C., J. E. Rodríguez P. y M. Moreno M. 2004. Parámetros genéticos de Tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad verde puebla. Revista Fitotecnia Mexicana. 27: 1-7.
- Rojas M. B. A. 2005. Bloques aumentados (repaso: Federer, 1961). Agrociencia 39: 693-695.
- Ron P. J. and A. Hallauer R. 1997. Utilization of exotic maize germplasm. Plant Breeding 14: 165-187.
- Sally L.D., F. M. Sharper, R. J. Henry, G. Cordeiro, L. Izquierdo and L. S. Lee. 2007. Domestication to crop improvement: Genetic resource for *Sorghum bicolor* and *Saccharun* (*Andropogonae*). Australian tropical Crop and forages centre. Oxford Journal. 5: 975-989.
- Sahagún C. J. 2000. Estimación de varianzas genéticas con medios hermanos maternos y diferentes niveles endogámicos y repeticiones. Agrociencia 34: 21-32.

- Sahagún C. J. 2001. Estimación de componentes de varianza con progenitores endogámicos de familias independientes de hermanos completos. *Agrociencia* 35: 169-179.
- Sagarpa. 2008. Resumen Nacional por Estado. Avance se siembras y cosechas. Servicio de información agroalimentaria y pesquera(SIAP). [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx).
- Schell F. W. and H. C. Becker. 1986. Yield and yield stability in a balance system of widely differing population structures. *Plant Breeding* 1986. 97: 30-31.
- Schertz K. F. and J. C. Stephens. 1996. Compilation of gene symbols recommended revisions and summary of linkages for inherited characters of *Sorghum vulgare* Pers. Technical micrograph. Texas A & M. Texas Agricultural Experimental Station. pp: 5-29.
- Searle S. R. 1971. Linear models, Editor: John Willey. New York. 422 pp.
- Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. 1994. Norma Oficial Mexicana NMX-FF-037-1994. Productos Alimenticios no industrializados, alimentos para uso Humano-Cereales-Sorgo (*Sorghum Vulgare* L.)- Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de normas. [www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info).
- Scheuring J. F. 1979. Evidence for the Indian origins for African Sorghum. In Discussion paper for origins of agriculture seminar. Plant Geography laboratory, Geography Department. College Station Texas A & M.
- Scott R. A. and G. A. Milliken. 1993. A S.A.S. program for analyzing augmented randomized complete block designs. *Crop Science*. 33: 865-867.
- Smith C. W. and R. A. Frederiksen. 2000. Sorghum: origin, history, technology and production. Ed. John Wiley & Sons. 812 pp.
- Soreng R. J. and D. D. Serrold. 2000. Phylogenetic structure in *Poaceae* Sub-familiy *Pooideae* as inferred from molecular and morphological caracteres: mid classification versus reticulation. *Grass: Systematics and Evolution*. Editor CSIRO. pp: 61-65.
- USDA-ARS. 2003. Germplasm Resources Information Network (GRIN). National Genetic Resources Program. National Germplasm Resources

Laboratory. Beltsville, Maryland. <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html>.

USDA. 2007. National Genetic Resources Program. In: Germplasm Resources Laboratory. United States Department of Agriculture (USDA). Agricultural Research Service (ARS). <http://www.ars.usda.gov>.

USDA-GRAIN. 2009. Regional Sorghum import, production, consumption and stocks thousand metric tons. GRAIN: World markets and trade. Department of Foreign Agricultural Service. Office of Global Analysis. Circular Serie FG-01-09. [www.fas.usda.gov/grain/circular/2009/](http://www.fas.usda.gov/grain/circular/2009/).

USDA-GRIN. 2009. Summary statistics for GRIN. National Plant Germplasm System. [www.ars-grin.gov/npgs/stat/html](http://www.ars-grin.gov/npgs/stat/html).

USDA-ARS. 2009. Germplasm Resources Information Network (GRIN). National Genetic Resources Program. <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html>.

Cuadro 1 A. Parámetros de la Norma Mexicana NMX-FF-037-1994, establecida para regular la comercialización del sorgo grano en México.

Parámetros	Unidades	Grados				Métodos de prueba
		1	2	3	4	
Humedad (máximo)	%	14.0	14.0	14.0	14.0	NMX-Y-98
Densidad (límite mínimo)	kg/hl	73	70	68	65	ver inciso 7.3 <sup>a</sup>
Grados dañados:						
a) por calor (parte del total)	%	0.2	0.5	1.0	3	ver inciso 7.3 <sup>a</sup>
b) Total (máximo)	%	2.0	5.0	10.0	15.0	ver inciso 7.3 <sup>a</sup>
Granos quebrados (máximo)	%	2.5	4.5	6.5	8.5	ver inciso 7.3 <sup>a</sup>
Impurezas (máximo)	%	1.5	2.5	3.5	4.5	ver inciso 7. <sup>a</sup>
Total (granos quebrados e impurezas)	%	4.0	7.0	10.0	13.0	suma
Sorgo con taninos (máximo)	%	3.0	3.0	3.0	3.0	ver inciso 7.4 <sup>b</sup>
Aflatoxinas ppb (máximo)	mg/t	20.0	20.0	20.0	20.0	NMX-F-163/1-s; 2-s; 3-s y 4-s. <sup>c</sup>

Fuente Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Norma Mexicana NMX-FF-037-1994.

a y b - métodos de prueba correspondientes a los incisos contenidos en el cuerpo del escrito de la Norma NMX-FF-037-1994: a) 7.3. = impurezas, grano dañado, grano quebrado; b) 7.4. = porcentaje de sorgo con taninos.

c- norma referente a aflatoxinas.

Cuadro 2 A. Producción del sorgo por regiones del período comprendido del 2004 a enero del 2009 (miles de t / ciclo agrícola).

Regiones productoras	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09 (diciembre)	2008-09 (enero)	%
Norte América	17,412	15,476	12,842	18,736	18,018	18,198	28.53
América Central	330	307	326	326	326	326	0.51
Caribe	128	128	128	128	128	128	0.20
América del Sur	5,874	4,664	5,622	5,654	7,099	7,099	11.13
Unión Europea	499	489	560	522	538	521	0.82
Otros Europa	0	0	0	0	0	0	0.00
Medio Oriente	568	494	671	665	675	675	1.06
Norte de África	915	915	915	915	915	915	1.43
África Subshariana	19,932	23,549	24,903	23,594	25,195	25,195	39.50
Este del Asia	2,341	2,554	2,008	1,920	2,020	2,020	3.17
Sur de Asia	7,426	7,783	7,305	7,931	6,645	6,645	10.42
Sureste de Asia	93	77	65	70	70	70	0.11
Oceanía	2,011	1,929	1,283	3,072	2,000	2,000	3.14
Total	57,529	58,365	56,628	63,533	63,629	63,792	100

Fuente: USDA-GRAIN, 2009.

Cuadro 3 A. Principales países productores de sorgo para grano del período comprendido del 2004 a enero del 2009 (miles de t/ciclo agrícola).

País productor	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09 (diciembre)	2008-09 (enero)	%
Argentina	2,900	2,200	3,300	2,930	4,300	4,300	6.74
Australia	2,011	1,929	1,283	3,072	2,000	2,000	3.14
Brazil	2,051	1,543	1,500	2,000	2,000	2,000	3.14
Burkinia	1,400	1,837	1,516	1,507	1,595	1,595	2.50
China	2,328	2,546	20,00	1,900	2,000	2,000	3.14
E.U.A.	11,522	9,976	7,032	12,636	11,818	11,998	18.81
Egipto	900	900	900	900	900	900	1.41
Etiopía	2,150	2,800	3,325	3,230	3,300	3,300	5.17
EU-27	499	489	560	522	538	521	0.82
India	7,240	7,630	7,150	7,780	6,500	6,500	10.19
México	5,890	5,500	5,810	6,100	6,200	6,200	9.72
Niger	500	750	800	930	975	975	1.53
Nigeria	10,000	10,500	10,500	10,000	11,000	11,000	17.24
Sudán	2,700	4,275	5,200	4,500	4,700	4,700	7.37
Tanzania	820	890	850	900	900	900	1.41
Uganda	400	450	490	490	490	490	0.77
Otros	4,218	4,150	4,412	4,136	4,413	4,413	6.92
Total	57,529	58,365	56,628	63,533	63,629	63,792	100

Cuadro 4 A. Registro mensual de datos agroclimatológicos de la Facultad de Agronomía, U.A.N.L.

Mes	Prec.	T. Max	T. Min.	T. Media	VV max.	DVV max.	V V	D V	H R	E T	E P
Enero	37.2	21.42	5.95	13.64	18.1	340.8 (N)	2.53	197.07 (S)	64.21	77.2	94.67
Febrero	5.8	29.48	9.83	19.3	24.4	358.1 (N)	3.41	118.17 (SE)	54.23	12.5	114.43
Marzo	5.8	30.35	12.52	21.25	35.6	287.5 (O)	5.39	183.71 (S)	50.6	160.8	143.47
Abril	27.4	33.08	18.05	25.13	25.6	2.3 (N)	5.47	172.45 (S)	54.13	168.1	133.36
Mayo	31.8	36.3	21.07	28.33	21.2	349.7 (N)	4.7	175.08 (S)	57.13	176.4	129.84
Junio	10.4	37.81	23.77	29.91	19.7	153.6 (SE)	7.23	191.51 (S)	54.32	209.7	151.66
Julio	166.0	33.06	22.64	27.08	18.5	101.6 (E)	4.61	175.3 (S)	71.98	152.1	100.89
Agosto	288.6	34.42	22.56	27.57	14.6	62.0 (NE)	2.66	50.08 (NE)	73.39	150.0	94.43
Septiembre	271.4	31.15	20.15	24.64	10.8	331.4 (NO)	1.17	255.63 (O)	80.61	87.6	55.43
Octubre	32.4	29.37	18.63	23.38	17.5	358.9 (N)	2.38	249.76 (O)	76.38	98.6	73.32
Noviembre	22.8	26.28	12.41	19.91	22.3	355.3 (N)	2.15	200.53 (S)	71.82	76.8	73.77
Diciembre	19.6	20.46	8.28	13.73	21.3	322.5 (NO)	2.43	247.63 (O)	79.3	60.8	79.98
Anual	844.2	31.9*	17.39*	24.1*	-	-	4.13*	184.35 (SO)*	75.51*	1305.4+	1245.25+

Fuente: SAGARPA, INIFAP, COFUPRO. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas, 2008. = temperatura, VV = velocidad promedio del viento, DVV = dirección del viento, HT = humedad relativa, ET = evapotranspiración potencial y EP = vapotranspiración potencial ota: Los meses de enero a Agosto corresponden al 2008 y los meses de septiembre a diciembre fueron registrados en el 2006. + Acumulado, \* Promedios.

Cuadro 5 A. Surcos sembrados, autofecundaciones realizadas para avanzar de F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub> del segundo ciclo de cruzamientos para la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones NESSC7 y NE39R.

Líneas exóticas	NESSC7			NE39R		
	surcos	autofecundaciones	g	surcos	autofecundaciones	g
MACIA	22	22	429.3	24	10	364.7
NAGA WHITE	82	58	1180.2	74	45	883.1
SC 301	39	37	824.4	15	25	71.6
88 BE2668	27	14	114.6	35	50	461.9
SC 27914E	70	72	1107.9	14	36	44.18
N559R	20	17	454.9	17	12	32.25
IR204	34	34	632.4	8	16	42
SC 1337	20	22	383.3	32	3	22.6
IS 4647	21	6	40.7	10	2	12
Total	335	282	5167.7	229	199	1934.33

Cuadro 6 A. Población recombinante NESSC7 (P<sub>2</sub>) derivada de la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos, cosechada en Río Bravo, Tamaulipas (ciclo Otoño 2007).

Núm. Planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	103.7	49	36.1	97	19.3	145	11.5
2	77.0	50	35.8	98	19.3	146	11.1
3	75.8	51	36.6	99	18.9	147	10.5
4	74.9	52	35.5	100	18.8	148	10.4
5	72.3	53	35.6	101	18.6	149	10.4
6	70.3	54	35.5	102	18.3	150	10.3
7	68.6	55	34.8	103	18.3	151	10.0
8	66.0	56	33.8	104	18.0	152	9.3
9	65.6	57	32.6	105	17.9	153	9.1
10	65.5	58	32.0	106	17.8	154	9.0
11	62.8	59	31.7	107	17.6	155	8.7
12	62.0	60	31.3	108	17.2	156	8.9
13	60.4	61	30.7	109	17.0	157	8.2
14	60.0	62	30.6	110	16.9	158	7.9
15	57.8	63	29.6	111	16.8	158	7.3
16	56.8	64	29.3	112	16.8	160	7.1
17	55.6	65	28.6	113	16.8	161	7.0
18	54.6	66	28.3	114	16.7	162	6.7
19	53.4	67	28.1	115	16.4	163	6.7
20	53.3	68	28.0	116	16.3	164	6.6
21	50.8	69	27.8	117	16.3	165	6.6
22	50.1	70	27.8	118	16.0	166	6.5
23	50.0	71	27.7	119	16.0	167	6.3
24	49.3	72	27.5	120	15.9	167	6.3
25	49.1	73	27.1	121	15.8	169	6.1
26	48.3	74	27.1	122	15.7	170	6.0
27	47.4	75	26.9	123	15.6	171	5.4
28	47.3	76	25.9	124	15.5	172	5.4
29	47.0	77	25.8	125	15.5	173	4.3
30	46.4	78	25.5	126	15.4	174	4.8
31	45.8	79	24.1	127	15.2	175	4.2
32	45.6	80	24.1	128	15.1	176	3.8
33	45.0	81	24.0	129	14.9	177	3.7
34	44.8	82	23.5	130	14.9	178	3.2
35	44.3	83	22.8	131	14.9	179	2.8
36	42.1	84	22.8	132	14.7	180	2.5
37	40.3	85	22.7	133	14.4	181	2.4
38	40.0	86	22.0	134	14.3	182	2.3
39	40.0	87	21.9	135	14.2	183	2.1
40	39.7	88	21.6	136	13.8	184	2.0
41	38.2	89	21.5	137	13.9	185	1.9
42	38.6	90	21.5	138	13.6	186	1.8
43	38.5	91	21.1	139	12.9	187	1.6
44	38.4	92	20.9	140	12.8	188	1.4
45	37.8	93	20.4	141	11.9	189	1.2
46	37.3	94	22.0	142	11.8	190	1.1
47	37.2	95	19.6	143	11.8	191	0.8
48	36.4	96	19.3	144	11.5	192	0.6
<b>TOTAL</b>							<b>4873.3</b>

Cuadro 7 A. Población recombinante NE39R (P<sub>2</sub>) derivada de la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos, cosechada en Río Bravo, Tamaulipas (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	56.6	34	15.5	67	5.8
2	46.4	35	15.5	68	5.7
3	40.8	36	15.2	69	5.4
4	39.4	37	14.4	70	5.3
5	37.5	38	14.3	71	4.2
6	35.5	39	14.1	72	3.8
7	34.3	40	14.0	73	3.7
8	32.4	41	13.8	74	3.6
9	31.6	42	13.5	75	3.4
10	29.3	43	13.2	76	3.3
11	28.9	44	13.1	77	3.7
12	27.8	45	12.6	78	3.7
13	24.2	46	12.6	79	2.9
14	23.5	47	12.3	80	2.9
15	23.0	48	12.3	81	2.8
16	21.4	49	12.3	82	2.6
17	20.8	50	11.9	83	2.5
18	20.8	51	10.7	84	2.5
19	20.8	52	10.2	85	2.4
20	20.0	53	10.1	86	2.3
21	19.6	54	9.9	87	2.0
22	19.2	55	8.8	88	1.9
23	19.0	56	8.6	89	1.9
24	18.9	57	7.8	90	1.7
25	18.7	58	7.5	91	1.6
26	18.7	59	7.3	92	1.6
27	18.1	60	7.3	93	1.5
28	17.9	61	7.1	94	1.0
29	17.0	62	6.7	95	1.0
30	16.4	63	6.7	96	0.9
31	16.2	64	6.5	97	0.5
32	15.9	65	6.5	98	0.1
33	15.9	66	5.8		
				Total	1292.8

Cuadro 8 A. Población recombinante NESSC7 (P<sub>2</sub>) derivada de la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano con dos ciclos de cruzamientos, cosechada en Marín, N. L. ( ciclo Otoño 2007).

<b>Núm. planta</b>	<b>gramos</b>
1	26.0
2	24.9
3	23.6
4	20.3
5	18.0
6	17.5
7	16.8
8	15.6
9	14.1
10	10.9
11	10.2
12	9.7
13	9.4
14	9.2
15	9.0
16	8.4
17	7.7
18	7.4
19	6.4
20	6.0
21	5.7
22	5.6
23	5.5
24	5.0
25	4.9
26	4.7
27	4.4
28	4.3
29	4.1
30	3.4
31	3.2
32	3.1
33	3.0
34	1.3
<b>Total</b>	<b>329.3</b>

Cuadro 9 A. Familias de medios hermanos de la población NESSC7 (P<sub>1</sub>) con un ciclo de introgresión (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos						
1	57.2	42	21.9	84	13.7	126	8.3
2	57.0	43	21.8	86	13.6	127	8.3
3	49.9	44	21.9	87	13.5	128	8.2
4	48.0	45	21.8	88	13.4	129	8.1
5	38.2	46	21.5	89	13.4	130	7.7
6	37.8	47	21.4	90	13.2	131	7.6
7	36.7	48	20.9	91	12.8	132	7.6
8	36.7	49	20.6	92	12.6	133	7.3
9	36.3	50	20.1	93	12.4	134	7.1
10	36.0	52	19.8	94	12.3	135	7.1
11	35.0	53	19.7	95	12.1	136	7.1
12	34.5	54	19.7	96	12.0	137	6.6
13	39.3	55	19.2	97	12.0	138	6.6
14	32.6	56	18.7	98	11.8	139	6.5
15	32.1	57	18.7	99	11.7	140	6.4
16	31.9	58	18.2	100	11.6	141	6.3
17	31.2	59	17.6	101	11.4	142	6.2
18	30.3	60	17.5	102	11.2	143	6.0
19	30.3	61	17.4	103	11.2	144	5.9
20	29.3	62	17.4	104	11.1	145	5.6
21	28.4	63	17.2	105	11.2	146	4.8
22	28.4	64	17.1	106	11.2	147	4.5
23	28.0	65	17.1	107	11.4	148	3.9
24	27.8	66	17.0	108	10.1	149	3.8
25	27.3	67	16.8	109	10.2	150	3.5
26	26.5	68	16.6	110	10.4	151	3.4
27	26.2	69	16.2	111	10.5	152	3.1
28	26.2	70	16.0	112	10.6	153	2.7
29	25.9	71	15.9	113	10.6	154	2.6
30	25.5	72	15.6	114	10.6	155	2.3
31	25.4	73	15.3	115	10.7	156	2.1
32	25.3	74	15.1	116	10.8	157	2.0
33	24.9	75	14.8	117	9.4		
34	24.7	76	14.4	118	9.7		
35	23.9	77	14.2	119	9.4		
36	23.6	78	14.2	120	9.3		
37	23.3	79	14.1	121	9.2	TOTAL	1,918.2 g
38	23.1	80	14.2	122	9.1		
39	22.8	81	14.1	123	8.9		
40	22.1	82	14.1	124	8.9		
41	21.9	83	13.9	125	8.5		

Cuadro 10 A. Familias de autohermanos de la población NESSC7 (P<sub>1</sub>)  
con un ciclo de introgresión (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos						
1	50.4	40	29.0	80	24.2	119	15.5
2	46.2	41	28.5	81	23.0	120	15.1
3	42.9	42	27.4	82	22.2	121	14.7
4	42.7	43	26.6	83	21.5	122	14.6
5	40.7	45	24.7	84	21.4	123	14.3
6	40.5	46	23.0	85	21.3	124	14.0
7	40.4	47	22.5	86	20.7	125	13.9
8	37.8	48	28.3	87	20.6	126	13.8
9	37.6	49	27.3	88	20.4	127	13.4
10	37.8	50	27.2	89	20.4	128	13.2
11	37.8	51	27.1	90	20.4	129	12.8
12	36.9	52	27.1	91	20.3	130	12.7
13	36.6	53	27.1	92	18.9	131	12.7
14	36.6	54	27.0	93	18.4	132	12.6
15	36.3	55	26.3	94	18.2	133	12.1
16	36.1	56	25.8	95	18.3	134	12.7
17	36.0	57	25.5	96	18.5	135	10.8
18	35.3	58	25.3	97	18.4	136	10.7
19	35.3	59	25.1	98	18.2	137	10.3
20	35.2	60	25.0	99	18.8	138	10.0
21	35.3	61	22.4	100	18.2	139	9.8
22	35.2	62	22.1	101	18.1	140	9.7
23	34.2	63	20.4	102	18.5	141	9.4
24	34.1	64	20.9	103	17.9	142	9.4
25	33.2	65	20.1	104	17.9	143	9.1
26	33.2	66	20.0	105	17.9	144	7.9
27	32.9	67	19.7	106	17.7	145	7.8
28	33.8	68	19.6	107	17.7	146	7.8
29	33.2	69	19.8	108	17.7	147	7.8
30	32.9	70	22.9	109	17.3	148	7.7
31	30.6	71	22.9	110	17.2	149	7.6
32	30.5	72	22.7	111	17.7	150	7.6
33	30.3	73	22.6	112	17.0		
34	30.3	74	22.5	113	16.1		
35	30.2	75	22.4	114	15.8	TOTAL	3,446.3
36	30.1	76	22.4	115	15.7		
37	30.1	77	24.6	116	15.4		
38	29.7	78	24.4	117	15.7		
39	29.0	79	24.5	118	15.6		

Cuadro 11 A. Familias de medios hermanos de la población NE39R (P<sub>1</sub>) con un ciclo de introgresión (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos						
1	37.8	42	15.8	83	9.6	124	3.8
2	36.0	43	15.5	84	9.4	125	3.6
3	34.3	44	15.2	85	9.4	126	3.6
4	33.8	45	14.9	86	9.0	127	3.4
5	32.8	46	14.9	87	9.0	128	3.5
6	32.2	47	14.6	88	8.6	129	3.2
7	31.2	48	14.3	89	8.6	130	3.2
8	29.2	49	14.1	90	8.4	131	2.7
9	28.8	50	14.0	91	8.3	132	2.5
10	28.2	51	14.1	92	8.1	133	2.5
11	28.2	52	14	93	8.0	134	2.3
12	26.2	53	13.9	94	8.0	135	2.3
13	25.6	54	13.4	95	7.7	136	2.3
14	25.4	55	13.2	96	7.2	137	2.2
15	25.1	56	13.1	97	7.1	138	2.0
16	24.7	57	13.1	98	6.9	139	1.3
17	24.6	58	12.8	99	6.8		
18	24.2	59	12.4	100	6.7		
19	24.2	60	12.4	101	4.5		
20	24.1	61	12.4	102	4.6		
21	23.9	62	12.3	103	2.3		
22	23.6	63	12.2	104	2.0		
23	23.4	64	12.1	105	6.2		
24	23.1	65	12.0	106	6.0		
25	21.7	66	11.7	107	6.0		
26	21.7	67	11.7	108	5.9		
27	20.8	68	11.7	109	5.9		
28	21.2	69	11.5	110	5.8		
29	20.7	70	11.4	111	5.8		
30	19.6	71	10.9	112	5.5		
31	19.3	72	10.9	113	5.5		
32	19.0	73	10.8	114	5.5	TOTAL	1,788.7
33	18.2	74	10.7	115	5.2		
34	18.2	75	10.6	116	5.1		
35	17.8	76	10.4	117	5.0		
36	17.8	77	10.1	118	5.0		
37	17.2	78	10.0	119	4.9		
38	16.9	79	9.8	120	4.5		
39	16.8	80	9.7	121	4.2		
40	16.6	81	9.2	122	4.1		
	16.0	82	9.6	123	3.9		

Cuadro 12 A. Familias de autohermanos de la población NE39R (P<sub>1</sub>) con un ciclo de introgresión (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	50.5	37	25.0	73	21.5	109	15.6	144	10.3
2	46.2	38	24.7	74	21.4	110	15.5	145	9.9
3	42.7	39	22.5	75	21.3	111	15.1	146	9.9
4	40.7	40	27.2	76	20.2	112	14.7	147	9.6
5	40.5	41	27.1	77	20.6	113	14.6	148	9.4
6	40.4	42	27.1	78	20.4	114	14.3	149	9.1
7	37.8	43	27.1	79	20.4	115	14.0	150	9.0
8	37.6	44	27.0	80	20.4	116	13.9	151	8.9
9	37.0	45	26.3	81	20.3	117	13.9	152	8.4
10	36.9	46	25.8	82	18.9	118	13.9	153	8.4
11	36.6	47	25.5	83	18.4	119	13.8	154	7.9
12	36.6	48	25.3	84	18.2	120	13.7	155	7.8
13	36.3	49	25.1	85	18.3	121	13.6	151	8.9
14	36.1	50	25.0	86	18.5	122	13.4	152	8.4
15	36.0	51	22.4	87	18.4	123	13.4	153	8.4
16	35.3	52	22.1	88	18.2	124	13.2	154	7.9
17	35.3	53	20.4	89	18.8	125	13.1	155	7.8
18	35.2	54	20.9	90	18.2	126	12.9	156	7.7
19	35.3	55	20.1	91	18.1	127	12.7	157	7.5
20	35.2	56	20.0	92	18.5	128	12.4	158	7.4
21	34.2	57	19.7	93	17.9	129	11.9	159	6.9
22	34.2	58	19.6	94	17.9	130	11.8	160	6.7
23	34.1	59	19.8	95	17.9	131	11.4	161	6.1
24	33.2	60	22.9	96	17.7	132	11.4	162	5.9
25	33.2	61	22.9	97	17.7	133	11.4	163	5.2
26	32.9	62	22.7	98	17.7	134	11.4	164	5.0
27	33.8	63	20.6	99	17.3	135	11.3	165	3.2
28	33.2	64	22.5	100	17.2	136	11.2	166	4.9
29	30.1	65	22.4	101	17.7	137	10.9	167	4.8
30	30.1	66	22.4	102	17.0	138	10.8	168	4.7
31	29.7	67	24.6	103	16.1	139	10.8	169	4.7
32	29.0	68	24.4	104	15.9	139	10.8	170	4.2
33	29.0	69	24.5	105	15.8	140	10.8	171	4.0
34	28.5	70	24.2	106	15.7	141	10.4	172	3.0
35	27.4	71	23	107	15.4	142	10.4	173	2.6
36	26.6	72	22.2	108	15.7	143	10.4	174	2.1
								175	1.4
TOTAL					3,422.6				

Cuadro 13 A. Familias de medios hermanos de la población original  
NESSC7 (P<sub>0</sub>) (ciclo Otoño 2007).

Núm. Planta	Gramos	Núm. planta	gramos	planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	8.0	44	26.2	87	19.7	130	11.0
2	46.6	45	26.1	88	19.5	131	10.7
3	45.5	46	26.2	89	19.4	132	10.5
4	42.9	47	26.1	90	18.0	133	10.3
5	40.3	48	25.9	91	18.7	134	9.7
6	39.8	49	25.8	92	18.6	135	10.4
7	39.7	50	25.8	93	18.3	136	9.8
8	38.8	51	10.0	94	18.3	137	9.6
9	38.8	52	25.6	95	18.2	138	9.5
10	38.4	53	25.5	96	18.2	139	9.5
11	37.7	54	25.2	97	18.0	140	9.1
12	37.2	55	24.6	98	17.6	141	8.6
13	36.8	56	24.5	99	17.6	142	8.5
14	36.6	57	24.5	100	17.2	143	8.4
15	34.7	58	23.9	101	10.0	144	7.9
16	34.6	59	23.7	102	16.8	145	7.6
17	34.4	60	23.8	103	16.7	146	7.3
18	33.8	61	23.5	104	16.7	147	6.7
19	34.4	62	23.2	105	16.6	148	6.3
20	33.9	63	22.8	106	16.1	149	6.2
21	33.6	64	22.7	107	16.0	150	6.1
22	33.3	65	23.2	108	15.7	151	6.0
23	33.3	66	22.8	109	15.3	152	5.8
24	32.9	67	22.7	110	15.2	153	5.4
25	32.8	68	22.7	111	14.5	154	4.7
26	32.2	69	22.1	112	14.4	155	4.5
27	31.8	70	21.9	113	14.2	156	4.2
28	31.6	71	21.6	114	14.2	157	4.0
29	31.3	72	21.5	115	13.9	158	3.9
30	29.8	73	21.1	116	13.8	158	3.8
31	29.5	74	21.1	117	13.7	160	3.2
32	29.1	75	21.1	118	13.7	161	2.9
33	29.0	76	21.0	119	13.5	162	2.9
34	28.6	77	20.6	120	13.5	163	2.7
35	28.3	78	20.6	121	13.4	164	2.7
36	27.5	79	20.5	122	13.1	165	2.6
37	27.5	80	23.7	123	13.1	166	2.2
38	27.4	81	20.7	124	13.0	167	1.8
39	27.3	82	20.3	125	12.3	167	1.8
40	27.2	83	20.7	126	12.2	169	1.6
41	26.7	84	20.3	127	12.1	170	0.9
42	26.4	85	20.6	128	11.9	171	0.5
43	26.6	86	19.8	129	11.1		
TOTAL 3.308.6							

Cuadro 14 A. Familias de autohermanos de la población original  
NESSC7 (P<sub>0</sub>) (ciclo Otoño 2007).

Núm. Planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	56.3	33	29.5	65	21	97	13.8
2	50.9	34	29.5	66	20.1	98	13.8
3	50.7	35	29.3	67	20.1	99	10.2
4	50.0	36	29.2	68	20.1	100	10.1
5	48.9	37	29.0	69	19.9	101	9.9
6	46.5	38	28.8	70	19.8	102	9.7
7	46.4	39	28.3	71	19.5	103	9.6
8	46.2	40	28.2	72	19.5	104	9.4
9	45.7	41	27.9	73	18.9	105	8.1
10	44.8	42	27.6	74	18.8	106	1.0
11	44.1	43	27.6	75	18.5	107	6.8
12	42.5	44	27.2	76	18.4	108	6.7
13	41.9	45	27.2	77	17.8	109	11.2
14	39.8	46	26.6	78	17.6	110	18.8
15	38.8	47	26.4	79	17.0	111	20.9
16	38.5	48	25.8	80	17.0	112	13.7
17	36.2	49	25.7	81	11.5	113	18.5
18	36.1	50	25.5	82	16.5	114	12.9
19	35.9	51	25.4	83	16.3	115	11.9
20	34.2	52	25.3	84	15.3	116	13.1
21	34.1	53	13.8	85	15.2	117	12.9
22	33.4	54	24.6	86	15.2	118	11.1
23	32.8	55	24.2	87	15.1	119	11.0
24	32.7	56	23.5	88	15.1	120	13.0
25	31.6	57	23.3	89	14.5		
26	31.6	58	23.1	90	14.4		
27	31.1	59	23.0	91	14.2		
28	31.1	60	23.0	92	14.9		
29	30.6	61	21.7	93	14.3		
30	30.5	62	21.5	94	14.0		
31	30.5	63	21.2	95	14.2		
32	30.4	64	21.1	96	13.9		
TOTAL						2,885.50	

Cuadro 15 A. Familias de medios hermanos de la población original NE39R (P<sub>0</sub>) (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	45.5	36	20.6	71	11.4
2	45.1	37	20.6	72	11.3
3	44.2	38	20.4	73	11.1
4	42.4	39	20.3	74	10.8
5	35.2	40	19.2	75	10.6
6	33.9	41	18.8	76	10
7	33.9	42	18.6	77	10.3
8	33.4	43	18.2	78	10.3
9	32.0	44	17.6	79	9.7
10	30.8	45	16.9	80	8.9
11	30.8	46	16.8	81	8.8
12	29.5	47	16.8	82	8.8
13	28.8	48	15.7	83	8.5
14	28.2	49	15.0	84	8.5
15	27.0	50	14.9	85	8.3
16	26.0	51	14.8	86	8
17	25.9	52	14.7	87	7.7
18	25.8	53	14.4	88	7.5
19	25.8	54	14.4	89	7.3
20	25.6	55	14.2	90	6.5
21	25.3	56	14.1	91	6.2
22	24.6	57	14	92	2.4
23	24.5	58	13.9	93	2.3
24	24.3	59	13.9	94	2.1
25	23.6	60	13.8	95	2.1
26	23.5	61	13.3	96	1.8
27	23.3	62	13.2	97	1.7
28	22.8	63	12.9	98	1.7
29	22.6	64	12.8	99	1.7
30	22.4	65	12.7	100	1.2
31	21.9	66	12.6	101	1.2
32	21.8	67	12.5	102	1.1
33	21.7	68	12.1	103	1.1
34	21.4	69	11.6	104	1.0
35	21.2	70	11.6		
TOTAL			1,744.5		

Cuadro 16 A. Familias de auto hermanos de la población original NE39R (P<sub>0</sub>) (ciclo Otoño 2007).

Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos	Núm. planta	gramos
1	57.2	45	31.5	89	9.6
2	51.9	46	31.7	90	9.3
3	51.2	47	31.5	91	9.2
4	50.9	48	31.3	92	8.9
5	50.8	49	30.7	93	8.9
6	49.1	50	30.4	94	8.3
7	47.8	51	30.1	95	8.0
8	47.5	52	29.0	96	7.7
9	46.0	53	29.5	97	7.7
10	44.7	54	28.9	98	7.6
11	44.6	55	23.6	99	7.3
12	43.5	56	23.3	100	7.0
13	43.6	57	23.0	101	7
14	41.9	58	22.4	102	6
15	41.8	59	22.0	103	6
16	40.9	60	21.4	104	6
17	39.5	61	20.4	105	6
18	39.8	62	19.3	106	5
19	39.2	63	19.3	107	5
20	39.0	64	19.1	108	5
21	38.8	65	19.1	109	5
22	38.4	66	19.1	110	5
23	38.0	67	18.8	111	5
24	37.7	68	18.0	112	5
25	37.2	69	17.8	113	4
26	37.1	70	15.8	114	4
27	36.8	71	15.6	115	3
28	36.3	72	15.5	116	2
29	36.3	73	15.3	117	2
30	36.0	74	15.1	118	2
31	35.9	75	15.1		
32	35.1	76	14.6		
33	35.1	77	13.0		
34	35.0	78	12.7		
35	34.9	79	12.6	TOTAL	2800.2
36	34.6	80	12.5		
37	34.3	81	11.8		
38	34.1	82	11.3		
39	33.3	83	11.3		
40	33.0	84	11.1		
41	32.6	85	14.8		
42	32.4	86	10.8		
43	32.3	87	10.7		
44	31.7	88	10.4		

Cuadro 17 A. Componentes de varianza de las familias de medios hermanos y autohermanos de las poblaciones NESSC7 y NE39R originales y con introgresión de líneas exóticas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Características	NESSC7								NE38R							
	Marín				Río Bravo				Río Bravo				Marín			
	Medios hermanos		autohermanos		Medios hermanos		autohermanos		Medios hermanos		autohermanos		Medios hermanos		autohermanos	
Tipo de familia	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>
Tipo de población	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>
Tamaño de gluma	-0.08	0.013	-0.02	-0.01	0.04	0.07	0.09	0.04	-0.03	0.001	0.01	-0.05	0.02	0.62	0.05	0.03
cobertura de grano	-0.01	0.0003	0.003	0.003	-0.06	0.01	0.05	-0.03	0.003	-0.06	-0.003	0.001	-0.01	-0.04	-0.04	-0.02
Floración	0.63	-1.37	5.66	-3.17	13.65	28.44	32.32	46.67	-4.05	6.45	-1.08	8.72	9.64	24.00	-6.46	-2.57
Altura de planta	45.08	221.35	-38.56	-38.36	35.02	-19.00	40.11	20.84	120.89	-37.86	-14.63	67.89	29.70	102.56	36.66	109.38
Excursión	2.78	-0.21	-1.32	-0.94	0.08	-0.54	0.55	0.31	0.25	-5.24	-3.75	4.83	-7.21	-0.99	-1.94	-1.19
Longitud de panoja	1.76	0.35	-1.75	0.75	-0.96	-1.17	5.95	-0.39	-1.14	0.06	-0.19	1.90	6.33	-1.25	4.27	-0.84
Rendimiento de grano por planta	127.33	1.33	-1.64	33.52	-0.64	-12.48	-0.86	15.03	-3.06	0.86	-0.19	17.31	-6.24	-1.60	7.53	14.51

Cuadro 18 A. Primeros cruzamientos y autofecundaciones (F<sub>1</sub> a F<sub>2</sub>) realizadas para la formación de líneas isogénicas de sorgo con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Tipos de cruzamientos			Cruzamientos realizados		Autofecundaciones	
			panojas	g	panojas	g
LRB 104	x	MACIA	2	40.2	6	78.9
LRB 104	x	NAGA-WHIE	6	39.2	4	33.2
LRB 104	x	SC 301	2	6.8	8	43.8
LRB 204	x	NAGA WHITE	2	19.8	4	23.4
LRB 204	x	SC 301	1	1.4	10	395.3
LRB 25	x	88BE2668	3	19	8	123.8
LRB 25	x	MACIA	4	59.8	6	123.2
LRB 25	x	SC 27914E	6	76.4	13	199.2
LRB 27	x	MACIA	3	8.7	9	53.2
LRB 27	x	SC 301	1	6.0	6	45.7
TX 430	x	MACIA	3	15.5	16	296
TX 430	x	NAGA WHITE	1	12.8	15	407.9
TX 430	x	88BE2668	4	78.9	2	4.3
TX 430	x	IS 4647	18	74.2	7	122.9
TX 435	x	SC 27914E	10	88.3	19	388.7
TX 435	x	SC 301	16	206.3	18	376.2
TX 435	x	N559R	5	139.5	5	122.7
TX 435	x	SC 1337	4	19.7	6	56.1
R 5 B	x	MACIA	1	6.8	10	83.3
R 5 B	x	N559R	4	10.8	12	310.2
R 5 B	x	NAGA WHITE	4	18.3	14	140.7
25 L	x	SC 301	1	35.9	2	11.2
25 L	x	IS 4647	2	24.6	10	164.6
LRB 216	x	88BE2668	2	40.8	8	76.4
LRB 216	x	MACIA	2	12.9	14	69.5
LRB 216	x	IS 4647	1	4.8	8	88.5
FA 163	x	88BE2668	7	22.9	6	53.7
25 L	x	N571R	1	6.0	7	29.8
25 L	x	88BE2668	22	105.4	8	153.6
25 L	x	N559R	1	12.4	3	18.5
25 L	x	IS 4647	6	36.9	11	164.6
25 L	x	SC 301	1	6.2	6	72.3
2 L	x	MACIA	1	4.9	2	16.2
2 L	x	88BE2668	1	10.0	3	299
5 L	x	SC 27914E	3	36.4	2	3.3
19 L	x	N559R	2	18.3	6	72.9
19 L	x	SC 27914E	8	59.2	13	198.7
19 L	x	SC 1337	1	32.8	6	33.2

...

. . . Continuación del Cuadro 18 A.

19 L	x	SC 301	5	52.3	4	58.9
19 L	x	MACIA	1	3.1	2	10.3
FA 170	x	SC 301	3	25.4	6	57.5
FA 170	x	MACIA	1	59.8	4	56.7
FA 170	x	88BE2668	3	36.3	9	77.2
1014	x	SC 301	4	67.3	7	56.3
1014	x	88BE2668	4	45.2	4	33.1
1014	x	N559R	1	26.4	5	33.8
1014	x	IS 4647	1	18.2	2	36.9
1014	x	SC 27914E	6	62.8	3	46.1
1014	x	MACIA	2	14.8	8	63.2
1014	x	SC 1337	1	12.5	3	18.6
17473	x	SC 27914E	8	36.7	6	39.7
17473	x	IR204	4	35.2	5	32.8
17473	x	88BE2668	4	73.4	6	98.7
10251	x	SC 301	4	76.5	6	56.6
22830	x	88BE2668	5	57.4	5	27.8
285-288	x	88BE2668	1	26.8	3	36.7
285-288	x	SC 301	2	2.7	3	23.6
285-288	x	NAGA-WHITE	1	0.6	5	22.6
285-288	x	SC 27914E	4	4.6	8	62.3
285-288	x	SC 1337	1	0.8	6	28.3
285-288	x	IS 4647	2	2.6	5	32.1
LEAC 152	x	SC 301	1	17.4	6	12.4
LEAC 152	x	IS 4647	4	67.5	4	8.9
LEAC 351	x	SC 301	2	34.7	2	4.3
Total			235.0	2239.6	440	5990.1

Cuadro 19 A. Primer retrocruza (RC<sub>1</sub>) realizadas en plantas F<sub>2</sub> y autofecundación de la RC<sub>1</sub> para obtener segregación, para la formación de líneas isogénicas con el carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.

Línea Élite	Tipo de Retrocruza <sup>1</sup>		Retrocruzas realizadas		Autofecundaciones <sup>2</sup> de RC <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	
	Línea exótica (Progenitor donador)	Línea élite (Progenitor recurrente)	panojas	g	panojas	g
(LRB 104	x MACIA)	x LRB 104	4	7.5	2	18.3
(LRB 104	x NAGA-WHIE)	x LRB 104	0	0	0	0
(LRB 104	x SC 301)	x LRB 104	18	115.5	3	10.7
(LRB 204	x NAGA WHITE)	x LRB 204	4	8.9	2	19.0
(LRB 204	x SC 301)	x LRB 204	22	181.9	2	18
(LRB 25	x 88BE2668)	x LRB 25	1	4.5	2	9.4
(LRB 25	x MACIA)	x LRB 25	1	3.3	1	4.6
(LRB 25	x SC 27914E)	x LRB 25	5	3.4	4	28.5
(LRB 27	x MACIA)	x LRB 27	0	0	0	0
(LRB 27	x SC 301)	x LRB 27	0	0	0	0
(TX 430	x MACIA)	x TX 430	8	76.6	2	18.7
(TX 430	x NAGA WHITE)	x TX 430	7	65.6	4	34.7
(TX 430	x 88BE2668)	x TX 430	4	36.2	3	29.4
(TX 430	x IS 4647)	x TX 430	15	244.5	2	14.2
(TX 435	x SC 27914E)	x TX 435	0	0	0	0
(TX 435	x SC 301)	x TX 435	19	94	3	45.9
(TX 435	x N559R)	x TX 435	6	115	2	12.1
(TX 435	x SC 1337)	x TX 435	3	10.5	1	6.4
(R 5 B	x MACIA)	x R 5 B	29	176.6	2	14.7
(R 5 B	x N559R)	x R 5 B	4	15.1	1	3.1
(R 5 B	x NAGA WHITE)	x R 5 B	27	159.3	2	14.2
(25 L	x SC 301)	x 25 L	1	2	0	0
(25 L	x IS 4647)	x 25 L	0	0	0	0
(LRB 216	x 88BE2668)	x LRB 216	5	35.4	1	3.8
(LRB 216	x MACIA)	x LRB 216	8	141.5	1	5.5
(LRB 216	x IS 4647)	x LRB 216	4	25.6	1	4.4
(FA 163	x 88BE2668)	x FA 163	0	0	0	0
(25 L	x N571R)	x 25 L	0	0	0	0
(25 L	x 88BE2668)	x 25 L	23	495.6	4	44.3
(25 L	x N559R)	x 25 L	1	11.4	1	3.2
(25 L	x IS 4647)	x 25 L	4	48.4	2	15.8
(25 L	x SC 301)	x 25 L	1	2	1	6.9
(2 L	x MACIA)	x 2 L	0	0	0	0
(2 L	x 88BE2668)	x 2 L	3	13	1	6.1
(5 L	x SC 27914 E)	x 5 L	0	0	0	0
(19 L	x N559R)	x 19 L	0	0	0	0
(19 L	x SC 27914E)	x 19 L	8	38	5	38.0
(19 L	x SC 1337)	x 19 L	0	0	0	0

...

... Continuación del Cuadro 19 A.

(19 L	x	SC 301)	x	19 L	29	512.2	4	36.3
(19 L	X	MACIA)	X	19 L	11	206.2	3	22.3
(FA 170	x	SC 301)	x	FA 170	4	41.1	2	18.3
(FA 170	x	MACIA)	x	FA 170	1	12.3	0	0
(FA 170	x	88BE2668)	x	FA 170	4	40.5	1	5.8
(1014	x	SC 301)	x	1014	4	18.7	0	0
(1014	x	88BE2668)	x	1014	7	134	3	31.5
(1014	x	N559R)	x	1014	0	0	0	0
(1014	x	IS 4647)	x	1014	0	0	0	0
(1014	x	SC 27914E)	x	1014	13	120	1	15.6
(1014	x	MACIA)	x	1014	1	0.5	1	1.8
(1014	x	SC 1337)	x	1014	2	10.6	0	0
(17473	x	SC 27914E)	x	17473	14	250	3	35.2
(17473	x	IR204)	x	17473	2	18.1	0	0
(17473	x	88BE2668)	x	17473	11	181.8	4	39.2
(10251	x	SC 301)	x	10251	4	69.8	3	32.5
(22830	x	88BE2668)	x	22830	9	127.2	2	29.6
(285-288	x	88BE2668)	x	285-288	7	86.8	1	12.5
(285-288	x	SC 301)	x	285-288	0	0	0	0
(285-288	x	NAGA-WHITE)	x	285-288	0	0	0	0
(285-288	x	SC 27914E)	x	285-288	8	118.2	1	7.6
(285-288	x	SC 1337)	x	285-288	0	0	0	0
(285-288	x	IS 4647)	x	285-288	0	0	0	0
(LEAC 152	x	SC 301)	x	LEAC 152	1	2.9	1	7.2
(LEAC 152	x	IS 4647)	x	LEAC 152	4	29	2	34.2
(LEAC 351	x	SC 301)	x	LEAC 351	2	25.8	1	4.5
Total					373	4137	88	764

1. La RC<sub>1</sub> plantas F<sub>2</sub> se realizó en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2006.
2. Autofecundaciones para avanzar de RC<sub>1</sub> F<sub>1</sub> a RC<sub>1</sub> F<sub>2</sub> (en plantas F<sub>2</sub>), se realizaron en el ciclo agrícola 2006-07.

Cuadro 20 A. Avance F<sub>2</sub> a F<sub>3</sub> de panojas seleccionadas con gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto.

Cruza	Panojas cosechadas	Producción (gramos)
19 L x SC 27914 E	28	512.2
19 L x MACIA	11	206.2
19 L x SC 1337	7	64.0
19 L x N 559 R	3	8.6
25 L x 88 BE 2668	1	9.7
25 L x N 559 R	1	11.4
25 L x IS 4647	4	48.4
5 L x SC 27914	4	95.3
2 L x MACIA	25	495.6
LRB 204 x SC 301	20	180.1
LRB 204 x NAGA WHITE	3	8.0
LRB 204 x N 559 R	2	21.4
LRB 104 x SC 301	15	104.8
LRB 104 x MACIA	4	7.5
LRB 216 x 88 BE 2668	3	24.7
LRB 216 x MACIA	7	136.6
LRB 216 x IS 4647	3	25.3
TX 435 x SC 27914 E	19	94.0
TX 435 x SC 1337	3	10.5
TX 435 x N 559 R	6	114.8
TX 430 x MACIA	8	76.6
TX 430 x NAGA WHITE	7	65.6
TX 430 x IS 4647	15	244.5
285 288 x 27914 E	8	118.3
285 288 x 88 BE 2668	7	86.8
FA 163 x 88 BE 2668	13	99.2
22830 x 88 BE 2668	9	127.2
10251 x SC 301	4	69.8
1014 x IS 4647	5	6.7
1014 x N 559 R	4	18.7
1014 x SC 27914 E	13	120
1014 x MACIA	1	0.5
1014 x 88 BE 2668	7	134
17473 x 88 BE3 226	4	147.6
17473 x SC 27914 E	14	250.3
17473 x IR 204	7	34.2
FA 170 x SC 301	4	41.1
FA 170 x 88 BE 2668	4	40.5
LEAC 152 x IS 4647	5	29.0
LEAC 351 x SC 301	2	22.3
TOTAL	310	3912.0

Cuadro 21 A. Primeros retrocruzamientos realizados en plantas F<sub>3</sub> derivadas de la selección de panojas con gluma corta y mayor porcentaje de grano descubierto.

Tipo de RC1 en plantas F <sub>3</sub>	Número de retrocruzas	Producción (gramos)
[R 5 B x N559R] x R 5 B	2	17.4
[R 5 B x NAGA WHITE] X R 5 B	5	6.2
[R 5 B x MACIA] X R 5 B	5	33.4
[25 L x IS 4647] x 25 L	1	6.9
[5 L x BE 88 2668] x 5 L	15	56.7
[19 L x N559R] x 19 L	2	31.1
[19 L x SC 1337] x 19 L	1	13.8
[19 L x MACIA] x 19 L	3	57.1
[19 L x SC 27914 E] x 19 L	15	55.2
[LEAC 315 x SC 301] x LEAC 351	2	1.0
[LEAC 315 x SC 1337] x LEAC 351	2	0.4
[LEAC 152 x IS 4647] x LEAC 152	5	40.8
[1014 x BE88 2668] x 1014	3	22.1
[1014 x SC 27914 E] x 1014	1	5.1
[17473 x SC 27914 E] x 17473	11	75.5
[17473 x IR 204] x 17473	6	49.8
[22830 x BE88 2668] x 22830	5	28.0
[285 288 x BE 88 2668] x 285 288	4	54.8
[LRB 104 x SC 301] x LRB 104	16	50.5
[LRB 204 x SC 301] x LRB 204	17	72.8
[LRB 204 x N559R] x LRB 204	2	5.1
[LRB 216 x BE 88 2668] x LRB 216	2	3.6
[LRB 216 x MACIA] x LRB 216	1	6.4
[LRB 216 x IS 4647] x LRB 216	1	6.7
[TX 435 x SC 27914 E]	9	47.5
[FA 170 x SC 301] x FA 170	2	7.2
[TX 430 x MACIA] x TX 430	4	28.2
[TX 430 x NAGA WHITE] x TX 430	1	0.5
[163 x BE 88 2668] x 163	9	39.3
TOTAL	152	823.1

Cuadro 22 A. Medias, varianzas genéticas, aditiva y de dominancia, ambiental, fenotípica, CVA, CFG, desviación estándar fenotípica heredabilidad en sentido estrecho y respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma y/o cobertura de grano y características agronómicas en la población NESSC7 original y con un ciclo de introgresión en las localidades Marín y Río Bravo.

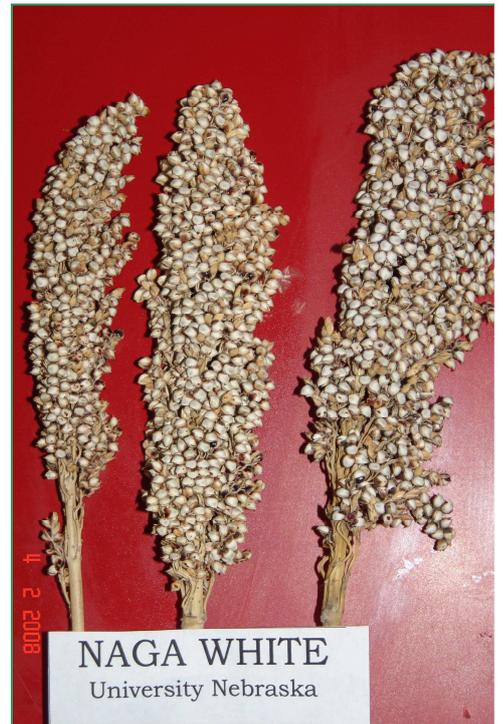
Características	Localidad Marín																							
	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>
	X-MH	X-MH	X-AH	X-AH	$\bar{\sigma}_A^2$	$\bar{\sigma}_A^2$	$\bar{\sigma}_D^2$	$\bar{\sigma}_D^2$	$\bar{\sigma}_G^2$	$\bar{\sigma}_G^2$	CVA	CVA	CVG	CVG	$\bar{\sigma}_e^2$	$\bar{\sigma}_e^2$	$\bar{\sigma}_P^2$	$\bar{\sigma}_P^2$	h <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_P$	$\bar{\sigma}_P$	R	R
Tamaño de gluma	4.09	4.08	4.56	3.99	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	5.48	0.00	5.48	0.17	0.18	0.17	0.23	0.00	0.22	0.48	0.48	0.00	0.04
Cobertura de grano	57	63	57	73	0.0	0.01	0.01	0.2	0.01	0.20	0.00	0.06	0.16	0.17	0.05	0.66	0.06	0.86	0.00	0.00	0.82	0.82	0.00	0.0
Floración	72	72	72	71	2.52	0.00	12.54	0.00	15.06	0.00	2.21	0.00	5.39	0.00	32.03	41.51	47.09	41.51	0.05	0.00	6.44	6.44	0.00	0.00
Altura de planta	115	118	115	116	180.31	885.39	0.00	0.00	180.31	885.39	11.68	25.22	11.68	25.22	1858.3	556.56	2038.62	1441.95	0.09	0.61	37.97	37.97	0.02	8.74
Excursión	5	8	7	6	11.10	0.00	0.00	0.00	11.10	0.00	66.63	0.00	66.63	0.00	49.60	39.64	60.70	39.64	0.18	0.00	6.30	6.30	8.68	0.00
Longitud de panoja	26	26	27	26	7.04	1.39	0.00	0.00	7.04	1.39	10.20	4.54	10.20	4.53	27.55	18.27	34.58	19.66	0.20	0.07	4.43	4.43	0.71	0.12
Rendimiento de grano por planta	35	33	31	31	509.30	5.30	0.00	0.00	509.30	5.30	64.48	6.98	64.48	6.98	119.23	122.66	628.53	127.96	0.81	0.04	11.31	11.31	0.11	4.45
	Localidad Río Bravo																							
Tamaño de gluma	4.02	3.99	4.12	3.79	0.17	0.26	0.00	0.00	0.17	0.26	10.35	12.78	10.35	12.78	0.36	0.12	10.89	0.38	0.02	0.69	0.62	0.62	0.01	0.16
Cobertura de grano	56	69	54	66	0.00	0.02	0.21	0.00	0.21	0.02	0.00	0.23	0.82	0.20	0.10	0.05	0.10	0.08	0.00	0.25	0.28	0.28	0.00	0.03
Floración	72	71	71	72	54.61	113.77	0.00	0.00	54.61	113.77	10.26	15.02	10.26	15.02	19.23	2.45	84.10	111.32	0.65	1.02	10.55	10.55	0.00	3.41
Altura de planta	114	115	121	114	140.09	0.00	0.00	83.37	140.09	83.37	10.38	0.00	10.38	7.94	709.32	1004.0	859.79	1087.37	0.16	0.00	32.98	32.98	0.70	0.00
Excursión	6	6	6	5	0.34	0.00	0.86	1.22	1.20	1.22	9.67	0.00	18.25	18.41	15.45	14.71	25.46	15.93	0.01	0.00	3.99	3.99	10.41	0.00
Longitud de panoja	28	26	26	28	0.00	0.00	23.79	0.00	23.79	0.00	0.00	0.00	17.42	0.00	14.89	9.91	14.89	9.91	0.00	0.00	3.15	3.15	0.03	0.00
Rendimiento de grano po planta	35	35	35	34	0.00	0.00	0.00	60.10	0.00	60.10	0.00	0.00	0.00	22.15	132.27	137.81	132.27	197.91	0.00	0.00	14.07	14.07	0.00	0.00

X-MH= media de familias de medios hermanos, X-AH=media de familias de autohermanos,  $\bar{\sigma}_A^2$ = varianza aditiva,  $\bar{\sigma}_D^2$ = varianza de dominancia,  $\bar{\sigma}_G^2$ = varianza genética,  $\bar{\sigma}_e^2$ = varianza ambiental,  $\bar{\sigma}_P^2$ =varianza fenotípica, CVA=coeficiente de variación aditiva, CVG=coeficiente de variación genética, R=respuesta predicha a la selección, P<sub>0</sub>=población original, P<sub>1</sub>=población mejorada con introgresión

Cuadro 23 A. Medias, varianzas genéticas, aditiva y de dominancia, ambiental, fenotípica, CVA, CFG, desviación estándar fenotípica heredabilidad en sentido estrecho y Respuesta predicha a la selección para el carácter tamaño de gluma y/o cobertura de grano y características agronómicas en la población NE39R original y con un ciclo de introgresión en las localidades Marín y Río Bravo.

Características	Localidad Marín																							
	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>
	$\bar{X}$ -MH	$\bar{X}$	$\bar{X}$ -AH	$\bar{X}$	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_D$	$\sigma^2_D$	$\sigma^2_G$	$\sigma^2_G$	CVA	CVA	CVG	CVG	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_P$	$\sigma^2_P$	h <sup>2</sup>	h <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_P$	$\bar{\sigma}_P$	R	R
Tamaño de gluma	4.08	3.96	3.96	3.91	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.003	0.00	1.38	5.48	1.38	0.28	0.23	0.33	0.23	0.00	0.01	0.48	0.48	0.00	0.002
Cobertura de grano	56.00	65.00	65.00	70.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.000	0.18	0.00	0.18	0.00	0.04	0.08	0.05	0.08	0.21	0.00	0.29	0.29	0.005	0.00
Floración	71.00	71.00	71.00	71.00	0.00	25.81	0.00	68.36	0.00	94.170	0.00	7.16	0.00	13.67	37.36	40.77	37.36	134.94	0.00	0.19	11.62	11.62	0.02	0.83
Altura de planta	110.00	111.00	111.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	743.11	523.17	743.11	523.17	0.00	0.00	22.87	22.87	0.00	0.00
Excursión	5.00	6.00	6.00	7.00	1.02	0.00	0.00	0.00	1.02	0.000	20.20	0.00	20.20	0.00	46.01	33.99	67.23	33.99	0.02	0.00	5.83	5.83	0.00	0.00
Longitud de panoja	26.00	26.00	26.00	26.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.220	0.00	1.80	0.00	1.80	11.70	13.68	11.70	13.90	0.00	0.02	3.73	3.73	1.31	0.02
Rendimiento *	33.00	32.00	32.00	34.00	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	3.430	0.00	5.79	0.00	5.79	117.47	74.84	117.47	78.27	0.00	0.04	8.85	8.85	0.00	0.15
	Localidad Río Bravo																							
Tamaño de gluma	3.96	3.93	3.93	3.89	0.10	2.48	0.00	0.00	0.10	2.480	7.99	40.07	7.99	40.07	0.12	0.38	0.22	2.86	0.46	0.87	1.69	1.69	0.08	0.55
Cobertura de grano	65.00	70.00	70.00	70.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	0.06	0.07	0.00	0.00	0.26	0.26	0.15	0.00
Floración	72.00	71.00	71.00	72.00	38.44	95.99	0.00	394.22	38.44	490.210	8.61	13.80	8.61	31.18	41.04	25.16	79.48	515.37	0.48	0.19	22.70	22.70	0.00	1.59
Altura de planta	110.00	132.00	132.00	110.00	118.78	410.24	0.00	0.00	118.78	410.240	9.91	15.34	9.91	15.34	499.12	1063.22	617.90	1473.46	0.19	0.28	38.39	38.39	0.58	4.01
Excursión	6.00	5.00	5.00	6.00	0.00	0.00	0.00	4.77	0.00	4.770	0.00	0.00	0.00	43.68	32.77	16.19	32.77	20.96	0.00	0.00	4.58	4.58	7.78	0.00
Longitud de panoja	27.00	26.00	26.00	27.00	25.34	0.00	0.00	3.28	25.34	3.280	18.64	0.00	18.64	6.97	7.45	17.44	32.79	20.72	0.77	0.00	4.55	4.55	0.00	0.00
Rendimiento *	35.00	35.00	35.00	35.00	0.00	0.00	30.13	0.00	30.13	0.000	0.00	0.00	15.68	0.00	153.31	152.66	183.44	152.66	0.00	0.00	12.36	12.36	0.70	0.00

$\bar{X}$ -MH= media de familias de medios hermanos,  $\bar{X}$ -AH=media de familias de autohermanos,  $\sigma^2_A$ = varianza aditiva,  $\sigma^2_D$ = varianza de dominancia,  $\sigma^2_G$ = varianza genética,  $\sigma^2_e$ = varianza ambiental,  $\sigma^2_P$ =varianza fenotípica, CVA=coeficiente de variación aditiva, CVG=coeficiente de variación genética, R=respuesta predicha a la selección, P<sub>0</sub>=población original, P<sub>1</sub>=población mejorada con introgresión



Fotografía 1 A. Ejemplos de panojas de líneas exóticas utilizadas en la introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench y en la formación de líneas isogénicas.



Fotografía 2. A. Ejemplos de panojas de líneas exóticas, utilizadas como materiales genéticos en este estudio.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fotografía 3 A. Ejemplos de panojas de líneas exóticas proporcionadas por el ICRISAT la India. (A) línea utilizada para la introgesión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano en poblaciones de sorgo, (B), (C) y (D) ejemplos de panojas de líneas exóticas.



(A) Siembra en maceta de materiales del ICRISAT



(B) Plantas para trasplante

Fotografía 4 A. Siembra en macetas de materiales genéticos para asegurar las plantas, en los casos en que se contaba con poca semilla.



(A). Sobres de semilla cosechada (cada uno corresponde a una panoja cosechada).



(B). Bolsas de semilla para la siembra (cada una corresponde a un surco).





Fotografía 5 A. Preparación de semilla y siembra del experimento.

(A) NESSC7 ( $P_1$ )



(B) NE39R ( $P_1$ )

Fotografía 6 A. Poblaciones formadas con un ciclo de introgresión, que se utilizaron para formar las familias de medios hermanos y de autohermanos.



(A) lote de evaluación de las familias en campo



(B) variabilidad del lote experimental

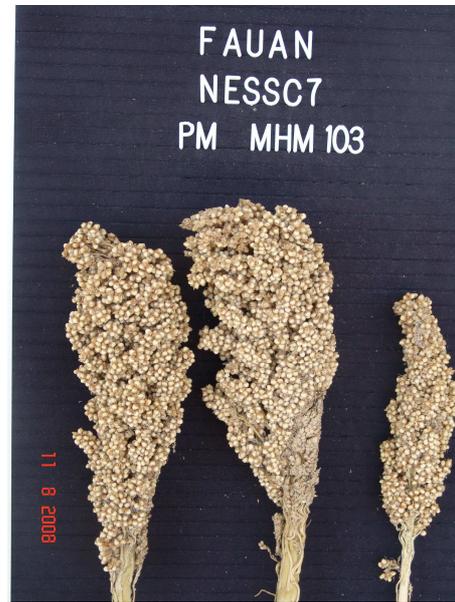


(C) ejemplos de familias de AH y MH.

Fotografía 7 A. Lote de evaluación en campo de las familias de medios hermanos y autohermanos.



(A)



(B)



(C)



(D)

Fotografía 8 A. Ejemplos de panojas de las familias de la NESSC7. (A) y (C) población original. (B) y (D) población con con introgresión del carácter tamaño de gluma corta y menor cobertura de grano.