

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**FUNDAMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE
GENOTIPOS DE SORGO PARA EL NORESTE DE MÉXICO**

PRESENTA

ANTONIO FLORES NAVEDA

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

ESCOBEDO, N. L. MÉXICO.

SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**FUNDAMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE
GENOTIPOS DE SORGO PARA EL NORESTE DE MÉXICO**

PRESENTA

ANTONIO FLORES NAVEDA

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

ESCOBEDO, N. L. MÉXICO.

SEPTIEMBRE DE 2012

**FUNDAMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE
GENOTIPOS DE SORGO PARA EL NORESTE DE MÉXICO**

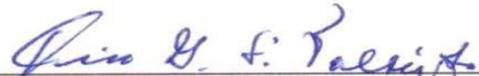
PRESENTA:

ANTONIO FLORES NAVEDA

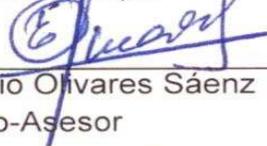
TESIS REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

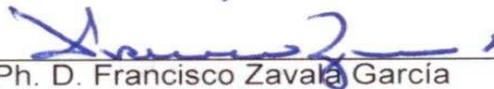
COMITÉ PARTICULAR:



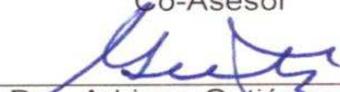
Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Asesor Principal



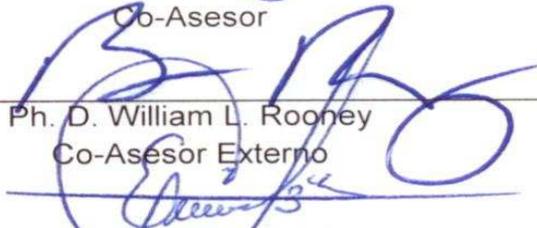
Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-Asesor



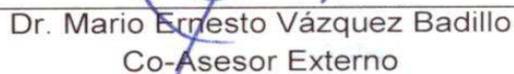
Ph. D. Francisco Zavala García
Co-Asesor



Dra. Adriana Gutiérrez Díez
Co-Asesor



Ph. D. William L. Rooney
Co-Asesor Externo



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Co-Asesor Externo



Ph. D. Francisco Zavala García
Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Posgrado y por la beca mixta aprobada para la realización de mi estancia en el extranjero.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) a través del Departamento de Desarrollo del Personal Académico, por el complemento de beca otorgado para la realización de mis estudios de Posgrado.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León a través de la Facultad de Agronomía y la Subdirección de Estudios de Posgrado e Investigación, por permitirme realizar mis estudios en el Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas.

Al Dr. Ciro G.S. Valdés Lozano, por ser un ejemplo a seguir, por su valiosa amistad y apoyo incondicional en todo momento para la planeación, organización y ejecución de todas las actividades realizadas durante mis estudios de Posgrado.

A los profesores investigadores Dra. Adriana Gutiérrez Díez, Dr. Emilio Olivares Sáenz, Dr. Francisco Zavala García y Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo. Por su amistad, por sus conocimientos impartidos en el aula de clase y por su valiosa participación en el comité particular de asesoría de la presente tesis.

Al Dr. William L. Rooney, por su apoyo incondicional durante mi estancia en Texas A&M University. College Station. In Sorghum Breeding and Genetics. Department of Soil & Crop Sciences. Así, como a su equipo de trabajo en el Programa de Mejoramiento de Sorgo, por su apoyo en la realización de los trabajos de campo y laboratorio.

A mis amigos, a mi familia, en especial a mi Madre Sra. Eligia Naveda Virgen. En testimonio de gratitud ilimitada por su amor, apoyo, aliento y estímulo, mismos que posibilitaron la conquista de esta meta, mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	Página
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
PREFACIO.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
A. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
A.1. Objetivo General.....	3
B. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL.....	4
B.1. Origen, evolución y distribución del sorgo.....	4
B.2. Colecciones de germoplasma de sorgo.....	6
B.3. Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo.....	7
B.4. Antecedentes del cultivo de sorgo en México.....	8
B.4.1. Antecedentes en la producción de semilla de sorgo.....	9
B.4.2. Investigación y producción de semilla de sorgo en Tamaulipas...	9
B.5. Mejoramiento genético del sorgo.....	10
B.5.1. Inflorescencia del sorgo.....	11
B.5.2. Floración del cultivo de sorgo.....	12
B.6. Polinización y fertilización.....	13
B.7. Importancia de la autofecundación.....	15
B.8. Desarrollo de la semilla de sorgo.....	15
B.9. Producción de semilla híbrida de sorgo.....	16
B.9.1. Obtención de líneas progenitoras.....	18
B.9.2. Diseño y síntesis de nuevas variedades.....	19
B.10. Hibridación.....	21
B.10.1. Mantenimiento de líneas de sorgo.....	22
B.10.2. Incremento, mantenimiento y producción de semilla.....	23
B.10.3. Aspectos generales para la producción de semilla de sorgo.....	23

B.10.4. Requerimientos de aislamiento para la producción de semilla...	25
B.10.5. Desmezcle.....	26
B.11. Estructura y composición de la semilla de sorgo.....	27
B.11.1. Composición bioquímica del grano de sorgo.....	29
B.11.2. Madurez fisiológica de la semilla de sorgo.....	29
B.12. Cosecha, secado y almacenamiento del grano de sorgo.....	30
B.12.1. Tratamiento de semilla de sorgo.....	30
B.13. Germinación y desarrollo de la planta de sorgo.....	31
B.14. Objetivos específicos.....	33
B.15. LITERATURA CITADA.....	34
CAPÍTULO I: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO E INCREMENTO DE SEMILLA EN LÍNEAS A, B y R DE SORGO. CICLO PRIMAVERA-VERANO 2009.....	39
I.1. INTRODUCCIÓN.....	39
I.1. Objetivos.....	41
I.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
I.2.1. Localización del sitio experimental.....	41
I.2.2. Fechas de siembra y germoplasma utilizado.....	42
I.2.3. Manejo agronómico del cultivo.....	42
I.2.4. Incremento de semilla de líneas A, B de sorgo.....	43
I.2.5. Incremento de semilla de líneas R de sorgo.....	43
I.2.6. Producción a nivel experimental de semilla de un híbrido androestéril de sorgo.....	44
I.2.7. Variables evaluadas.....	44
I.2.8. Análisis estadístico.....	45
I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
I.3.1. Incremento de semilla en líneas R de sorgo.....	45
I.3.2. Incremento de semilla de líneas A, B de sorgo.....	46

I.3.3. Producción de semilla de un híbrido androestéril.....	48
I.3.4. Días a floración en líneas A, B.....	48
I.3.5. Grados brix en líneas A, B.....	49
I.3.6. Rendimiento de grano en g por planta en líneas A, B.....	51
I.3.7. Peso de 1000 semillas en líneas A, B.....	52
I.3.8. Días a floración en líneas R.....	53
I.3.9. Grados brix en líneas R.....	54
I.3.10. Rendimiento de grano en g por planta en líneas R.....	55
I.3.11. Peso de 1000 semillas en líneas R.....	56
I.3.12. Rendimiento de grano por planta en líneas B y R.....	57
I.3.13. Splits de siembra entre líneas A y R para producción de semilla.....	58
I.4. CONCLUSIONES.....	60
I.5. LITERATURA CITADA.....	61
CAPÍTULO II: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LÍNEAS B, R DE SORGO BAJO RIEGO Y PUNTA DE RIEGO CICLO OTOÑO-INVIerno 2010 MARÍN, N. L....	64
II.1. INTRODUCCIÓN.....	64
II.1. Objetivos.....	66
II.1. Hipótesis.....	67
II.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
II.2.1. Variables evaluadas.....	68
II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
II.3.1. Ensayo líneas B.....	69
II.3.2. Altura de planta. Líneas B.....	69
II.3.3. Longitud de panícula. Líneas B.....	71
II.3.4. Excursión. Líneas B.....	72
II.3.5. Días a floración. Líneas B.....	73
II.3.6. Rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Líneas B.....	75
II.3.7. Peso de 100 semillas. Líneas B.....	77
II.4. Ensayo líneas R.....	78
II.4.1. Altura de planta. Líneas R.....	79

II.4.2. Longitud de panícula. Líneas R.....	80
II.4.3. Excursión. Líneas R.....	81
II.4.4. Días a floración. Líneas R.....	83
II.4.5. Rendimiento de grano de sorgo. Líneas R.....	84
II.4.6. Peso de 100 semillas. Líneas R.....	86
II.5. CONCLUSIONES.....	88
II.6. LITERATURA CITADA.....	88
CAPÍTULO III: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO PARCIAL DE LÍNEAS DE SORGO PARA GRANO EN MARÍN, N. L. CICLO PRIMAVERA-VERANO 2010.....	90
III.1. INTRODUCCIÓN.....	90
III.1. Objetivos.....	91
III.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	91
III.2.1. Manejo agronómico del cultivo.....	92
III.2.2. Variables evaluadas.....	92
III.2.3. Splits de siembra para la formación de híbridos de sorgo.....	93
III.2.4. Análisis estadístico.....	94
III.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	94
III.3.1. Splits de siembra para la producción de semilla híbrida de sorgo.....	100
III.4. CONCLUSIONES.....	101
III.5. LITERATURA CITADA.....	102
CAPÍTULO IV: LÍNEAS DE SORGO TOLERANTES A SEQUÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS DEL NORESTE DE MÉXICO.....	104
IV.1. INTRODUCCIÓN.....	104
IV.1. Objetivos.....	105
IV.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	105
IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	107
IV.4. CONCLUSIONES.....	112
IV.5. LITERATURA CITADA.....	113

CAPÍTULO V: RENDIMIENTO DE GRANO EN GENOTIPOS DE SORGO BAJO RIEGO Y PUNTA DE RIEGO CICLO OTOÑO-INVIERNO 2011 MARÍN, N. L.....	114
V.1. INTRODUCCIÓN.....	114
V.1. Objetivos.....	114
V.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	115
V.2.1. Rendimiento de grano en gramos por planta.....	115
V.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	116
V.3.1. Ensayo 1. Riego. Rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta.....	116
V.3.2. Ensayo 2. Punta de riego. Rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta.....	117
V.4. CONCLUSIONES.....	119
V.5. LITERATURA CITADA.....	120
CAPÍTULO VI: RENDIMIENTO DE GRANO EN LÍNEAS DE SORGO CULTIVADAS BAJO RIEGO Y RIEGO LIMITADO EN EL SUR DE TEXAS.....	121
VI.1. INTRODUCCIÓN.....	121
VI.1. Objetivos.....	126
VI.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	126
VI.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	128
VI.4. CONCLUSIONES.....	137
VI.5. LITERATURA CITADA.....	138
CAPÍTULO VII: CALIDAD DE SEMILLA EN SORGO CULTIVADO BAJO RIEGO Y RIEGO LIMITADO EN EL SUR DE TEXAS.....	142
VII.1. INTRODUCCIÓN.....	142
VII.1. Objetivos.....	147
VII.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	147
VII.2.1. Germoplasma de sorgo utilizado.....	147
VII.2.2. Preparación de las muestras de grano.....	148
VII.2.3. Análisis de calidad en laboratorio.....	148
VII.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	149
VII.3.1. Calidad de grano en sorgo cultivado bajo condiciones de riego (R) y riego limitado (RL) en Lubbock, Texas.....	149
VII.3.1.2. Análisis de varianza.....	149
VII.3.1.3. Comparación de los 52 tratamientos para las seis variables...	150

VII.3.1.4. Contenido de proteínas en riego y riego limitado.....	150
VII.3.1.5. Contenido de lípidos en riego y riego limitado.....	151
VII.3.1.6. Contenido de almidón en riego y riego limitado.....	151
VII.3.1.7. Contenido de fenoles totales en riego y riego limitado.....	152
VII.3.1.8. Contenido de taninos en riego y riego limitado.....	152
VII.3.1.9. Contenido de 3-Deoxyanthocyanins en riego y riego limitado.	153
VII.3.2. Selección e integración de líneas por su alta calidad en grano cosechado bajo riego y riego limitado.....	153
VII.4. CONCLUSIONES.....	161
VII.5. LITERATURA CITADA.....	161
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES.....	166
VIII.1. Conclusiones de los objetivos específicos.....	166
VIII.2. Conclusión del objetivo general.....	167

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo.....	7
2 Citoplasma, genes restauradores de la fertilidad y fertilidad del polen en la producción de semilla híbrida de sorgo.....	17
3 Composición bioquímica del grano de sorgo.....	29

CAPÍTULO I

1 Total de panículas para incremento de semilla en líneas R de sorgo en el área de Bancales, Marín, N.L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	46
2 Total de panículas de sorgo para incremento de semilla en líneas isogénicas A, B y formación de un híbrido androestéril en Marín, N.L. Ciclo Primavera- Verano, 2009.....	47
3 Prueba de comparación de medias con muestras independientes para días a floración en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	49
4 Prueba de comparación de medias con muestras independientes para grados brix en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera Verano, 2009.....	50
5 Prueba de comparación de medias con muestras independientes para gramos de semilla por planta en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	51
6 Prueba de comparación de medias con muestras independientes para peso de 1000 semillas en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	52
7 Comparación de medias para días a floración, en líneas R de sorgo. Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	54
8 Comparación de medias para contenido de azúcares grados brix, en líneas R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	55
9 Comparación de medias para rendimiento de grano promedio en gramos por planta en líneas R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	55
10 Comparación de medias para peso promedio de 1000 semillas, en líneas R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	56
11 Comparación de medias para rendimiento de semilla promedio en gramos por planta de líneas B y R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera- Verano, 2009.....	57
12 Días a floración y split de siembra en líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Marín, Nuevo León, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.....	59

CAPÍTULO II

1	ANVA para altura de planta de 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	70
2	Comparación de medias para altura de planta en 14 líneas B, bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	70
3	ANVA para longitud de panícula en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	71
4	Comparación de medias para longitud de panícula en 14 líneas B, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	72
5	ANVA para excersión en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	72
6	Comparación de medias para excersión de planta en 14 líneas B, bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	73
7	ANVA para días a floración en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	74
8	Comparación de medias para días a floración de 14 líneas B bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	75
9	ANVA para rendimiento de grano en gramos por planta de 14 líneas B. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	76
10	Comparación de medias para rendimiento de grano en gramos por planta de 14 líneas B bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	77
11	ANVA para peso de 100 semillas en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	78
12	Comparación de medias para peso de 100 semillas en 14 líneas B, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	78
13	ANVA para altura de planta en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	79
14	Comparación de medias para altura de planta en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	79
15	ANVA para longitud de panícula en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	80
16	Comparación de medias para longitud de panícula en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	81

17	ANVA para excersión en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	82
	Comparación de medias para excersión de planta en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	82
18		
19	ANVA para días a floración en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	83
	Comparación de medias para días a floración de 12 líneas R bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	84
20		
21	ANVA para rendimiento de grano en gramos por planta de 12 líneas R. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	85
	Comparación de medias para rendimiento de grano en gramos por planta de 12 líneas R bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	86
22		
23	ANVA para peso de 100 semillas en gramos de 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.....	86
	Comparación de medias para peso de 100 semillas en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).....	87
24		

CAPÍTULO III

	ANVA para días a floración ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	94
1		
	Comparación de medias para días a floración, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo Experimental de la FAUANL, Marín, N. L.....	95
2		
	ANVA para altura de planta, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	96
3		
	Comparación de medias para altura de planta, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	96
4		
	ANVA para longitud de panícula, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	97
5		
	Comparación de medias para longitud de panícula, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	98
6		
	ANVA para longitud de excersión, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	99
7		
	Comparación de medias para longitud de excersión en líneas B y R de sorgo. Ciclo PV 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	99
8		

	Splits para producción de semilla de ocho híbridos experimentales sobresalientes. Ciclo P-V 2009 en bancales respecto al ciclo P-V 2010 en	
9	Campo FAUANL, Marín, N. L.....	100

CAPÍTULO IV

	Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza en cinco ensayos de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano en la FAUANL, Marín, N. L. Ciclo	
1	O-I 2008.....	107
	Experimento 1. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I	
2	2008.....	109
	Experimento 2. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I	
3	2008.....	109
	Experimento 3. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I	
4	2008.....	110
	Experimento 4. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I	
5	2008.....	110
	Experimento 5. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F ₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I	
6	2008.....	111

CAPÍTULO V

	ANVA para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 1.	
1	Riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	116
	Comparación de medias para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 1. Riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín,	
2	N. L.....	116
	ANVA para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 2.	
3	Punta de riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín, N. L.....	117
	Comparación de medias para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 2. Punta de riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. FAUANL, Marín,	
4	N. L.....	118

CAPÍTULO VI

1	Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.....	128
2	Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.....	128
3	Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.....	129
4	Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.....	129
5	Comparación por DMS de rangos contra el testigo (Valdés <i>et al.</i> 1997) del rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo de los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (R L) en College Station, Texas. Ciclo Otoño-Invierno 2011.....	130
6	Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.....	132
7	Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.....	132
8	Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.....	133
9	Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.....	133
10	Comparación por DMS de rangos contra el testigo (Valdés <i>et al.</i> 1997) del rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo de los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (R L) en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano 2011.....	134

CAPÍTULO VII

1	Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza, valor de F, nivel de significancia y diferencia mínima significativa (DMS), en seis variables para calidad de grano de sorgo, cultivado bajo riego. Origen. Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011. Laboratorio de Texas A&M University. College Station, Texas.....	149
2	Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza, valor de F, nivel de significancia y diferencia mínima significativa (DMS), en seis variables para calidad de grano de sorgo, cultivado bajo riego limitado. Origen. Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011. Laboratorio de Texas A&M University. College Station, Texas.....	150

3	Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T), en genotipos de sorgo para contenido de proteínas en riego (PR) y proteínas en riego limitado (PRL), contenido de lípidos en riego (LR) y contenido de lípidos en riego limitado (LRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.....	154
4	Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T), en genotipos de sorgo para contenido de almidón en riego (AR) y almidón en riego limitado (ARL), contenido de fenoles totales en riego (FTR) y contenido de fenoles totales en riego limitado (FTRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.....	156
5	Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T) en genotipos de sorgo para contenido de taninos en riego (TR) y taninos en riego limitado (TRL), contenido de 3-Deoxyanthocyanins en riego (3-DR) y 3-Deoxyanthocyanins en riego limitado (3-DRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.....	158
6	Genotipos de sorgo seleccionados por su alto contenido en la composición bioquímica. En grano de sorgo cosechado bajo riego y riego limitado, para contenido de proteínas en riego (PR), proteínas en riego limitado (PRL), lípidos en riego (LR), lípidos en riego limitado (LRL), almidón riego (AR), almidón riego limitado (ARL), fenoles totales riego (FTR), fenoles totales riego limitado (FTRL), taninos riego (TR), taninos riego limitado (TRL), contenido de 3-deoxyanthocyanins en riego (3-DR) y 3-deoxyanthocyanins en riego limitado (3-DRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.....	160
ÍNDICE DE FIGURAS		
	Figura 1. Diagrama del cariósipide de sorgo.....	28
	Figura 2. Etapas de desarrollo de la planta de sorgo.....	32

PREFACIO

El presente trabajo de investigación, pretendió establecer fundamentos para poder llevar a la producción parte del germoplasma de sorgo para grano, que ha sido introducido y desarrollado en la Facultad de Agronomía de la UANL, bajo las condiciones agroecológicas del área de Marín, N. L., la cual se ha considerado por su ubicación geográfica, condiciones de clima y suelo, que presenta coincidencias similares con un gran número de localidades que constituyen el ambiente de producción del cultivo del sorgo en la región denominada Noreste de México y Sur de Texas.

Este trabajo fue estructurado para su presentación escrita en el presente documento como sigue, se presenta primero una introducción general, en la cual al final de la misma, se menciona el objetivo general del trabajo, después se incluye una revisión de literatura general, para establecer los objetivos específicos, los cuales al cumplirlos permitirían alcanzar el objetivo general.

Posteriormente, la estructura del documento se presenta en siete capítulos, los cuales fueron diseñados para cumplir los objetivos específicos y corresponden a trabajos de investigación realizados en los ciclos agrícolas de OI-2009, PV-2009, OI-2010, PV-2010 y OI-2011, los cuales se condujeron en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía en Marín, Nuevo León y simultáneamente, durante los ciclos OI-2011 y PV-2011 en las localidades de College Station y Lubbock, TX. En los campos de investigación agrícola y en el laboratorio del Programa de Mejoramiento de Sorgo en Texas A&M University.

En el presente documento los siete capítulos se presentan en formato de artículo científico y finalmente se presenta un octavo capítulo, donde se abordan primero las conclusiones para cada objetivo específico y después se presenta la conclusión correspondiente al objetivo general inicialmente planteado.

RESUMEN

El Noreste de México comprende los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, en Tamaulipas en el 2009 se sembraron 962,055 ha donde el 90% 693,660 fueron bajo temporal ó seco y 10% en riego 268,395. En Nuevo León en el 2010 se sembraron en total 37,509 y en Coahuila 3,376 has. En esta región frecuentemente se presentan condiciones de estrés hídrico o sequía con lluvias escasas y con distribución errática.

Bajo temporal la producción de sorgo, se ha desarrollado con prácticas de manejo del suelo y malezas, tendientes a cosechar la precipitación y almacenarla en el perfil del suelo para que sea utilizada, posteriormente solo por el cultivo, además la identificación de los híbridos comerciales de mayor rendimiento bajo estrés hídrico, la han desarrollado empíricamente los agricultores; sin embargo, el sorgo en esta región se produce solo con semilla de variedades híbridas, la cual es cara y bajo condiciones de estrés hídrico, no siempre presentan su máximo potencial de rendimiento, debido a que han sido seleccionadas para condiciones más favorables de precipitación como ocurre en Texas de donde provienen la semilla de las variedades que son distribuidas por empresas trasnacionales para siembra en esta región.

Por la importancia del cultivo, en la Facultad de Agronomía de la UANL (FAUANL) a partir de 1976 se inició el Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo para las zonas bajas de Nuevo León y en el caso del sorgo, se han entrenado numerosos recursos humanos en el manejo y mejora genética de este cultivo y en esta última actividad se han introducido y además, se han desarrollado y se continúan desarrollando numerosas líneas experimentales e híbridos nuevos, de los cuales tanto en riego como en temporal se han identificado, algunos que igualan e incluso superan en rendimiento de grano a los híbridos comerciales más sembrados regionalmente.

Las líneas se han utilizado como progenitores de nuevos híbridos de sorgo para grano, pero también potencialmente, han sido promovidas para ser utilizadas como variedades en la producción de sorgo en esta región, tal como ocurre en otras regiones como África y la India, donde se siembran variedades, no híbridas, en nichos ecológicos bien definidos.

El presente trabajo se planteó y se desarrolló del ciclo OI-2009 al ciclo PV-2011, habiendo alcanzado el objetivo general de contribuir con el conocimiento nuevo, original y necesario para utilizar el germoplasma de sorgo introducido y desarrollado en la FAUANL, para la producción de semilla para siembra, tanto de híbridos como de variedades, haciendo énfasis en la identificación del buen comportamiento del rendimiento de grano bajo riego y condiciones de estrés hídrico de las líneas de sorgo para grano previamente desarrolladas y de otras nuevas en F₇ incluyendo su calidad de grano. También se definieron los splits de fechas de siembra de progenitores A y R de los híbridos, que en estudios previos han sido superiores a los híbridos comerciales para establecer con ello la selección y los fundamentos para la producción de semilla de los nuevos y mejores genotipos en los dos ciclos agrícolas regionales: Otoño-Invierno (Febrero-Junio) y Primavera-Verano (Julio-Noviembre) en el Noreste de México.

ABSTRACT

The Northeast of México comprehends the states of Tamaulipas, Nuevo Leon and Coahuila, at Tamaulipas in 2009, 90%, 693,660 has were planted under rain fall and 10%, under irrigation 268,395 has. At Nuevo Leon in 2010 a total of 37,509 and at Coahuila 37,509 were planted. In this region, frequently rain is low and with erratic distribution and water stress is present.

Under rainfall soil management practices and weed control have been developed focused to catch and storage precipitation within soil profile that will be used only by the crop, additionally farmers empirically have identified the best grain yielding commercial hybrids under water stress; however sorghum in this region is produced only with seed of hybrid varieties, this is expensive, and not always presents its maximum yield potential since these have been selected for more favorable rainfall conditions as it happens in Texas, where these seeds are produced to be distributed by transnational companies to be planted in this region.

Because the importance of these crop, the Facultad de Agronomía de la UANL, (FAUANL) since 1976 began the Project of Maize, Bean and Sorghum Improvement for the low zones of Nuevo Leon, and in the case of sorghum many human resources have been trained in the management and breeding of this crop and in this last activity many experimental lines have been introduced and developed and as well as new hybrids, many of them have been identified under irrigation and water stress that the grain yield is the same or even are higher than the commercial hybrids more planted regionally.

The lines have been utilized as parents of new sorghum grain hybrids, but also potentially have been promoted to be used as varieties in the production of grain sorghum in this region, as well as it happens in Africa, India and other regions where varieties, no hybrids, in well defined ecological niches.

The present work was planned and developed from 2009 Autumn-Winter cycle (AW) to the 2011 Spring-Summer cycle (SS), reaching the general objective of to contribute with the new, original and necessary knowledge to use the sorghum germplasm introduced and developed at FAUANL, to produce hybrid as well as varieties planting seed, doing emphasis in the identification the good grain yield performance under irrigation and water stress of the previously developed lines and other new F_7 , including their grain quality. Also the splits of planting dates were defined for the parents A and R of the hybrids that in previous works have been superior to commercial hybrids, in order to establish the fundamentals of selection and seed production of the new and best genotypes in the regional agricultural cycles Autumn-Winter (February-June) and Spring-Summer (July-November) at the Northeast of Mexico.

A. INTRODUCCIÓN GENERAL

El hombre depende casi absolutamente de las plantas para su alimentación, todo lo que consume prácticamente sin excepción es vegetal o se deriva indirectamente de los vegetales, como por ejemplo la carne, huevo y productos lácteos, por lo anterior el cultivo del sorgo es muy importante en la alimentación humana y animal, por lo que la presente investigación es realizada en el cultivo de sorgo en la región Noreste de México, en donde se siembran anualmente alrededor de un millón de hectáreas (SIAP, 2011).

El aumento del rendimiento en los cultivos es uno de los principales objetivos del mejoramiento genético de las plantas, como consecuencia en una creciente demanda de alimentos de una población en constante crecimiento, a su vez se busca crear nuevas variedades de plantas resistentes a plagas y enfermedades con un genotipo que ensamble los genes que permitan ajustar el crecimiento vegetal, bajo la dinámica de los factores ambientales de un ambiente de producción particular con la finalidad de incrementar el rendimiento y la calidad de los productos agrícolas (Allard, 1964).

Existen alternativas para incrementar la producción agrícola, las cuales son: utilización de variedades mejoradas, manejo integrado de plagas y enfermedades, fertilización óptima, control de malezas, rotación de cultivos, mecanización, etc. La obtención de variedades mejoradas para nuevas zonas de cultivo, desde la domesticación hasta nuestros días ha sido una de las contribuciones más importantes del mejoramiento genético de plantas. Esto se ha logrado ajustando el ciclo de las variedades a las variaciones del clima (Valdés, 2010).

La modificación del sorgo desde su introducción con éxito en Estados Unidos de Norteamérica, aproximadamente en 1860 es un buen ejemplo de este tipo de mejora. Esta especie de origen tropical estuvo confinada en su origen a las partes más cálidas de las llanuras del sudoeste y del sudeste, pero gradualmente se ha logrado obtener variedades más precoces actualmente en donde el sorgo, ha adquirido una importancia como cultivo en otras regiones de EE.UU.

Una contribución importante del mejoramiento de plantas en el sorgo, ha sido la mejora de ciertos caracteres agronómicos, en particular la altura de planta, ya que inicialmente las variedades introducidas se tenían que cosechar a mano debido a su altura excesiva. La obtención de variedades de porte bajo con una altura de 1 a 1.5 m ha hecho posible la recolección mecánica del grano. La introducción de variedades de porte bajo ha sido probablemente el factor más importante del enorme desarrollo adquirido del sorgo para grano en Estados Unidos de Norteamérica quien es el principal productor en el mundo con una producción en el 2011 de 214 millones de búshels (USDA, 2011).

La superficie sembrada del cultivo de sorgo para grano en la región Noreste de México durante el año agrícola 2009 fue de 962,055 hectáreas en la modalidad de riego mas temporal con un rendimiento promedio de 2.7 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2009). Para la siembra de estas superficies, se utilizó semilla híbrida que es producida en EE.UU y comercializada en México, por lo tanto, nuestro país es dependiente de este insumo. En la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), desde 1976 se ha trabajado en el mejoramiento genético de sorgo y se han formado e introducido líneas isogénicas A, B y líneas R, para ser utilizadas como variedades y como líneas progenitoras de híbridos de sorgo.

En base a lo antes mencionado, el Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Fríjol y Sorgo (PMMFyS) de la Facultad de Agronomía de la UANL (FAUANL), ha desarrollado una serie de líneas e híbridos experimentales de sorgo, los cuales han sido superiores respecto a los testigos comerciales utilizados, al evaluarse en diversas localidades del Noreste de México, considerado como ambiente objetivo. En estos genotipos, surge la necesidad de abordar aspectos que permitan establecer los fundamentos prácticos y básicos para la producción de semilla de alta calidad para siembra a nivel comercial, donde se busca una semilla de sorgo de alta calidad, siendo este insumo importante para asegurar un buen establecimiento de plántulas en campo, así como rendimientos aceptables y con los atributos de calidad física, fisiológica, genética y sanitaria de una semilla (Moreno, 1996).

En resumen, el mejoramiento genético tiene como objetivo general el diseño y síntesis de nuevas variedades de plantas, para que estas se ajusten en su crecimiento a las variaciones de los factores del ambiente de producción agrícola para el cual fueron diseñadas (Valdés, 2010).

A.1. Objetivo general

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo general contribuir con el conocimiento necesario para utilizar el germoplasma de sorgo introducido y desarrollado en la FAUANL para la producción de semilla para siembra de híbridos y variedades, haciendo interés en las condiciones de riego y riego limitado, para con ello identificar los genotipos que potencialmente pueden contribuir a dar seguridad en la producción de sorgo para grano en los sistemas de riego y temporal del Noreste de México.

B. REVISIÓN DE LITERATURA GENERAL

B.1. Origen, evolución y distribución del sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es un cultivo importante en la alimentación humana y animal, se cultiva en áreas marginales de precipitación y en regiones tropicales y semiáridas del mundo. Una característica importante del sorgo es su gran variedad de mecanismos para tolerar el calor y la sequía. El origen del cultivo se remonta en África, particularmente en Etiopía, Sudan y la región este de África (Doggett, 1965). Semillas de sorgo fueron encontradas en excavaciones arqueológicas que datan de hace 6,000 años (Kimber, 2000).

El testimonio histórico más antiguo del cultivo de sorgo se encuentra en una escultura del palacio de Senaquerib en Nínive, Asiria probablemente del año 700 A.C. Las semillas de sorgo fueron diseminadas desde África a diversas partes del hemisferio occidental por esclavos cautivos durante los siglos XVII y XVIII (Wall and Ross, 1975). El sorgo es un cereal de grano ancestral (Dahlberg and Wasylikowa, 1996) reportan que el sorgo fue encontrado en Nabta Playa, un sitio arqueológico localizado en el desierto occidental al sur de Egipto hace 8000 años A.C.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos inicio trabajos con sorgo en 1904 en XIT Ranch en el estado de Texas y el mejoramiento en plantas de sorgo comenzó en Texas Agricultural Experiment Station en 1914 (Quinby, 1974).

El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas Poaceae, es considerado como uno de los cereales más importantes en el mundo, se le conoce con varios nombres: maicillo en El Salvador, mijo grande y maíz de Guinea en África occidental, Kafir en África austral, duro en Sudán, mtama en África oriental; jowar, jolam y durra en la India y kaoliang en China (Purseglove, 1972). El sorgo ha sido clasificado taxonómicamente dentro de 70 grupos y la colección mundial incorpora alrededor de 24,500 accesiones (Doggett, 1970).

Existen alrededor de 30 especies de sorgos: *Sorghum bicolor* es cultivado para grano y forraje, mientras que el *S. halepense* (L.) Pers. (Zacate Johnson) y *S. propinquum* (Kunth) Hitchc., son cultivados para forraje. Los parientes silvestres del sorgo incluyen *S. bicolor subsp. verticilliflorum* (Steud.) de Wet ex Wiersema & J. Dahlb. (sorgo común silvestre; sinónimo: *S. arundinaceum*), *Sorghum purpureosericeum* (Hochst. ex A. Rich.) Asch. & Schweinf y *Sorghum versicolor* (Andersson). El sorgo es importante para la dieta de la población mundial, es extremadamente tolerante a la sequía, siendo una excelente opción de cultivo para las regiones áridas y semiáridas del mundo (ICRISAT, 2008).

El sorgo fue domesticado en las regiones áridas del Noreste de África, su mayor diversidad genética se encuentra en Etiopía, después fue trasladado de África hasta India, China y Asia, como consecuencia de la domesticación y distribución, actualmente existe una gran diversidad de especies con una diversa variación en los sorgos domesticados. Esta variación tiene como resultado diferentes adaptaciones para los diversos ambientes, donde se produce el cultivo de sorgo como resultado de la distribución, nuevas razas fueron seleccionadas con adaptación específica para ciertas regiones de producción del cultivo.

Las especies son divididas en cinco razas (Rosenow and Dahlberg, 2000). La raza Bicolor es considerada la raza más primitiva de sorgo para grano, presenta una panícula abierta y fuerte con glumas que cubren a una semilla pequeña. La raza Guinea es un sorgo de grano comúnmente cultivado en el oeste de África, tiene una panícula suelta, pequeña con glumas abiertas y un grano muy duro. La raza Caudatum es la fuente primaria con diversos atributos para el rendimiento de los híbridos modernos de sorgo para grano. La raza Kafir, originaria del sureste de África presenta alto rendimiento y una panícula de tipo semi-compacta, esta raza ha sido una fuente importante de mantenedores para la esterilidad citoplásmica masculina.

Finalmente, la raza Durra, originaria del este de África central, se caracteriza por presentar una panícula compacta que nace en un pedúnculo recurvado, que lo hace inadecuado para la cosecha mecánica. Las semillas son grandes y de color amarillo cremoso o blanco con un buen potencial de rendimiento, esta raza es además una fuente de citoplasma A₁, utilizado para la producción de semilla híbrida de sorgo.

B.2. Colecciones de germoplasma de sorgo

Existe una extensa variabilidad genética dentro de los sorgos cultivados, la cual es colectada y conservada en dos instituciones. The International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT, por sus siglas en inglés) ó Instituto Internacional de Investigación de los Cultivos para los Trópicos Semiáridos localizado en Patancheru, Andhra Pradesh, India con 40, 000 accesiones de sorgo y en los Estados Unidos de Norteamérica, en la Plant Genetic Resources Conservation Unit de la Universidad de Georgia en Griffin y en el National Center for Genetic Resources Preservation en Fort Collins, Colorado, con una colección de 42,000 accesiones (Rosenow and Dahlberg, 2000). Muchas de las accesiones de estas colecciones, han sido clasificadas en cinco razas basadas en las características de la panícula. Estas colecciones representan una herramienta poderosa para los mejoradores de sorgo en el mundo.

B.3. Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo

La clasificación taxonómica del sorgo se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de sorgo (Kimber, 2000).

Familia	<i>Poaceae</i>
Tribu	<i>Andropogoneae</i>
Subtribu	<i>Sorghinae</i>
Género	<i>Sorghum Moench</i>
Subgénero	<i>Sorghum</i> <i>Chaetosorghum</i> <i>Heterosorghum</i> <i>Parasorghum</i> <i>Stiposorghum</i>
Especies del subgénero sorghum	<i>Sorghumpropinquum</i> <i>Sorghum halepense</i> <i>Sorghum bicolor</i>
Subespecies de sp. S. Bicolor	<i>Sorghum bicolor bicolor</i> <i>Sorghum bicolor drummondii</i> <i>Sorghum bicolor verticilliflorum</i>
Razas de subsp. S. bicolor bicolor	<i>Bicolor</i> <i>Guinea</i> <i>Durra</i> <i>Kafir</i> <i>Caudatum</i>

El género *Sorghum* Moench se caracteriza por presentar espiguillas que nacen en pares, una espiguilla bisexual fértil y sésil con una espiguilla pedicelada estéril u ocasionalmente de flores estaminadas. El género se subdivide en cinco secciones, la más importante es la sección *Sorghum*, que comprende tres especies:

Sorghum bicolor (Linn.) Moench ($2n = 2x = 20$), comprende los sorgos anuales silvestres y domesticados.

Sorghum propinquum (Kunth.), Hitchc ($2n = 2x = 20$) es una especie rizomatosa silvestre, perenne y diploide de semillas pequeñas y duras que presenta polinización cruzada con *Sorghum bicolor* y *Sorghum halepense*.

Sorghum halepense (Linn.) Pers., ($2n = 4x = 40$) es una especie rizomatosa, tetraploide y perenne que se conoce como pasto Johnson en EE.UU. Esta especie, se ha convertido en una maleza importante (Poehlman, 2005).

B.4. Antecedentes del cultivo de sorgo en México

La Secretaría de Fomento en el año de 1882 publicó un artículo proporcionando detalles de este cultivo, llamado también Maíz Kafir, señalando sus usos y características de resistencia a condiciones de escasa humedad. En 1914 el Ing. Rómulo Escobar pronosticó la potencialidad del sorgo en México (Romero, citado por Zavala, 1984). Sin embargo, fue a partir de 1958 cuando la superficie y la producción alcanzó cifras que ameritaron su consideración en las estadísticas nacionales (Rodríguez, 1984), poco después se empezaron a sembrar los primeros híbridos en Estados Unidos de Norteamérica (Zavala, 1984).

Desde el punto de vista tecnológico, la producción de sorgo en México prosperó debido a la utilización de semilla híbrida producida en Texas a finales de la década de los 50's. Los agricultores mexicanos al darse cuenta de las bondades de estos materiales los adoptaron rápidamente. Al mismo tiempo, se originó una creciente demanda por este grano, impulsada principalmente por las empresas trasnacionales productoras de alimentos balanceados (Dewalt y Barkin, 1984). Para esta época, también se empezó a manifestar la regionalización del cultivo al concentrarse la producción comercial en los estados de Sinaloa, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Tamaulipas. Para sembrar estas superficies y debido a la iniciativa de las autoridades agrícolas del país, varias firmas americanas se establecieron bajo las leyes mexicanas para producir semilla híbrida de sorgo y maíz (Rodríguez, 1984).

B.4.1. Antecedentes en la producción de semilla de sorgo

En 1961 se crea en México la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) de acuerdo a la ley, este organismo fue el responsable de incrementar semilla básica producto de la investigación realizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), escuelas de agricultura y asociaciones de productores de semillas (Sobrino, 1985). A la vez, PRONASE regulaba la producción y comercialización de las semillas en sus diferentes categorías, tanto el mercado nacional como el de exportación.

El primer dato que se tiene registrado en PRONASE sobre producción de semilla de sorgo en México aparece en el ciclo agrícola 1956-1957 fecha en que se registran 54 toneladas producidas. Esta producción fue experimental, encaminada a la futura ampliación de las variedades a producir, hecho que se confirma cuando cuatro años después se dio inicio a la producción en forma regular. PRONASE también recurrió a los materiales formados en el Colegio de Agricultura de la Universidad de Texas. Los primeros híbridos empleados fueron RS-608 y RS-610. En octubre de 1972, se recibió la primera remesa liberada de seis híbridos mexicanos formados para producir en el Bajío, entre estos destacaron el Purépecha, Chichimeca, Olmeca y Otomí (Tijerina, 1984).

B.4.2. Investigación y producción de semilla de sorgo en Tamaulipas

En el año de 1974 se sugirió a las localidades de Río Bravo, Tamaulipas, Bajío y Valles Altos como localidades estratégicas para realizar investigación en mejoramiento genético de sorgo, dado que se pueden establecer dos ciclos de siembra por año, además se presentan las condiciones climáticas favorables para la incidencia de plagas y enfermedades, lo cual permite realizar una adecuada selección de materiales (Estrada, 1977).

A la vez, se amplió la fuente de germoplasma con sorgos provenientes de la colección mundial y líneas procedentes de EE.UU., de la colección mundial se incorporaron 2000 líneas de las cuales se seleccionaron 300 (Betancourt, 1975).

En 1978 el Programa de Mejoramiento Genético de Sorgo en Río Bravo, Tamaulipas, liberó los híbridos de sorgo INIA RB-2000, INIA RB-2010 e INIA RB-2020 que compitieron en rendimiento de grano y características agronómicas con los mejores sorgos híbridos comerciales de esa época. Sin embargo, al igual que los híbridos comerciales, los nuevos materiales fueron susceptibles a las enfermedades de mildiú vellosa y carbón de la panoja (Williams *et al.*, 1995). En 1989 se liberó el híbrido RB-4000 para condiciones de riego, este demostró un potencial de rendimiento superior en 500 a 600 kilogramos por hectárea, respecto a los mejores sorgos comerciales (Williams *et al.*, 2006).

B.5. Mejoramiento genético del sorgo

El modelo de las líneas denominadas A, B y R se utiliza para mejorar genéticamente y producir semilla híbrida de sorgo, inicialmente se evalúan nuevas líneas progenitoras con respecto al uso, como líneas femeninas o líneas masculinas. Las líneas de sorgo que poseen genes restauradores de la fertilidad no pueden utilizarse como líneas B ó en su caso puede ser posible con un tipo de citoplasma diferente o convertirse en líneas A androestériles. Una línea B se convierte en una línea A androestéril transfiriendo sus cromosomas al citoplasma estéril mediante una serie de retrocruzamientos en los que la línea que se va a esterilizar es el progenitor recurrente y masculino en todos los cruzamientos. La línea androestéril se utiliza como progenitor femenino porque el citoplasma se transmite sólo mediante la célula huevo, después de lograr la conversión en androesterilidad, la línea se designa como línea A. La línea A y su línea B son isogénicas en cuanto a genotipo, pero tienen citoplasmas distintos.

La fertilidad del polen se restaura por un gene dominante M_s , originalmente presente en variedades de milo o con origen en milo. En la mayoría de los citoplasmas se requieren otros genes modificadores para obtener una buena producción de semilla en una amplia gama de ambientes.

Para seleccionar una línea restauradora de la androfertilidad denominada línea R, es necesario que el polinizador: a) presente un gene dominante restaurador de la fertilidad y los genes modificadores necesarios para complementar la restauración de la fertilidad en el híbrido F_1 . b) que produzca abundante polen viable (fértil) y c) se combine con el progenitor androestéril femenino para generar un híbrido de alto rendimiento con calidad de grano y forraje aceptables.

B.5.1. Inflorescencia del sorgo

El sorgo es una planta hermafrodita, ya que presenta los órganos masculinos y femeninos en la misma flor y es considerada como una planta predominantemente autógena. Las florecillas se encuentran en racimos que a su vez constituyen ramas secundarias procedentes de un eje central o raquis, formándose así una panícula generalmente de forma piramidal. Las inflorescencias de la planta de sorgo varían de una panícula compacta a una panícula abierta (Poehlman, 2005).

Las espiguillas se encuentran en pares, una es sécil, bisexual y fértil; y la otra estéril con flores estaminadas y sostenida por un pedicelo corto, salvo por la espiguilla terminal que nace en una rama y va acompañado de dos espiguillas pediceladas. La espiguilla sécil posee dos flósculos, uno perfecto y fértil, el otro estéril. La espiguilla pedicelada posee estambres o bien es estéril (Poehlman, 2005). La espiguilla sécil varía en su forma desde lanceolada hasta casi circular y contiene dos pistilos y tres estambres, cada pistilo está compuesto de un estigma plumoso unido a un estilo corto y vigoroso que se extiende hasta el ovario. Las anteras están unidas a filamentos largos en forma de hilo. Las espiguillas sésiles también constan de dos glumas y dos lemas, la lema inferior es más corta y puede tener una larga prolongación llamada barba o arista, por último se encuentra también la palea.

B.5.2. Floración del cultivo de sorgo

La iniciación floral en el sorgo cultivado comienza a los 30 y 40 días después de la germinación de la semilla, la flor inicia su desarrollo en una inflorescencia antes de la floración alrededor de 6 a 10 días en donde se forma una “bota o envoltura” que sobresale en la vaina de la hoja bandera. El sorgo usualmente inicia la floración a los 55 a 70 días en climas cálidos (House, 1985) aunque depende del genotipo. Dos días después de la emergencia de la inflorescencia de la “bota”, la flor comienza a abrir. La floración inicia en las espiguillas sésiles en el ápice y progresa hacia la parte inferior durante cuatro a cinco días, para terminar la floración completa en la inflorescencia en aproximadamente seis días. La inflorescencia del sorgo varía en forma y tamaño comprende desde una panícula muy abierta, típica en sorgos silvestres, muy abierta y erecta, abierta y colgante, abierta y erecta, semi abierta erecta e inclinada, semi compacta elíptica, compacta elíptica, compacta oval, compacta redonda y panícula tipo escobero (IBPGR and ICRISAT, 1993). La máxima floración se alcanza en el tercer y cuarto día. Durante la floración, las glumas abren y las tres anteras caen libres, mientras los dos estigmas sobresalen cada uno en un estilo rígido (House, 1985).

La etapa de antesis se refiere al periodo de inicio de la floración, durante el cual las espiguillas se abren y las anteras se encuentran extendidas, en este momento es cuando se inicia la emisión de polen en la planta de sorgo. La floración en una inflorescencia de sorgo, normalmente se inicia tan pronto como el pedúnculo completa su elongación (House, 1985). La floración de las espiguillas progresa desde el ápice hasta la parte inferior de la panícula, con las espiguillas en un mismo plano horizontal y a la vez con la abertura de la panícula al mismo tiempo. El periodo de floración en una inflorescencia de sorgo puede durar de cuatro a 13 días dependiendo del cultivar, tamaño de la panícula, temperatura y humedad.

En climas templados la floración completa de una panícula puede llevarse alrededor de 10 a 13 días. Una panícula de sorgo puede producir de 24 a 100 millones de granos de polen. El polen del sorgo pierde su viabilidad en las primeras horas después de haber sido liberado. Los estigmas son receptivos sólo durante uno o dos días antes de que se abra la flor y de ocho a dieciséis días después de la floración. En una misma flor, los estigmas que quedan expuestos antes de que se libere el polen de sus anteras están sujetos a la polinización dejando expuestas las anteras vacías y los estigmas ya polinizados.

El sorgo presenta un promedio de polinización cruzada de un 2 al 10% en tipos silvestres con panoja abierta. Las flores con un tipo de gluma grande o muy larga no se abren y es cuando ocurre el fenómeno llamado cleistogamia, que es cuando el grano de polen es llevado de las anteras hacia el estigma en una misma flor. Aunque, es una planta predominantemente autógena, la protoginia puede causar por lo menos un 5% de polinización cruzada natural (Purseglove, 1972). La integridad genética del sorgo es mantenida por autofecundación. Los estigmas que quedan expuestos, antes de que las anteras se abran están sujetos a la polinización cruzada natural.

El descubrimiento de la esterilidad genético-citoplasmica en sorgo, ha hecho posible la producción comercial de semilla híbrida, en donde la planta macho estéril, desarrolla anteras que producen polen inviable (House, 1985).

B.6. Polinización y fertilización

Cuando el estigma llega a ser visible, los filamentos del estambre se alargan y las anteras llegan a ser pendientes. Este proceso toma alrededor de diez minutos, la flor permanece abierta de 30 a 90 minutos después de la dehiscencia de las anteras, el vertimiento o salida del polen se realiza a través del poro apical.

El estigma es polinizado antes de la emergencia de las anteras de las espiguillas, cuando el grano de polen llega al estigma germina inmediatamente y desarrolla el tubo polínico cada uno con dos núcleos, un núcleo vegetativo y dos núcleos espermáticos. El núcleo espermático se divide en dos, uno fertiliza la célula huevo para formar el embrión ($2n$) y el otro ensambla los dos núcleos polares para formar el endospermo ($3n$) a este proceso se le denomina doble fecundación.

Después de la polinización las glumas se cierran, aunque todavía resaltan las anteras y los estigmas vacíos. El polen conserva su viabilidad de tres a seis horas en la antera a temperatura ambiente y de 10 a 20 minutos afuera. En refrigeración, el polen conserva su viabilidad de 3 a 4 días (Sanchez and Smeltzer, 1965). El polen requiere de luz para germinar (Artschwager and McGuire, 1949). Bajo condiciones normales la fertilización de un estigma receptivo se realiza en dos horas, la diferenciación del órgano ocurre en los siguientes 12 días y el ovulo fecundado y maduro continúa creciendo, hasta alcanzar la madurez fisiológica de la semilla (Schertz and Dalton, 1980).

El grano de polen germina tan pronto como llega a estar en contacto con un estigma receptivo, el tubo polínico crece a través de las papilas estigmáticas abajo del ovario a través de la región estilar, en donde solo un tubo polínico tiene éxito en alcanzar el micrópilo.

Las glumas cierran poco después de la polinización, el ovulo comienza a desarrollarse como una esfera verde claro y cerca de 10 días después de la polinización llega a ser más grande y se torna de un color verde oscuro. El desarrollo del embrión y el endospermo continúa por otros 30 días en donde la semilla alcanza su madurez fisiológica en la región del hilio (un punto en el grano a través de la cual la semilla recibe los nutrientes de la planta), el cual se torna de color negro en la madurez fisiológica final de la semilla (House, 1985).

B.7. Importancia de la autofecundación

Cuando una panícula en floración se golpea ligeramente con un dedo, una nube de granos amarillos de polen puede ser visible. El viento lleva el grano de polen hacia los estigmas y la polinización es realizada. En cultivares mejorados de panícula compacta normal y semi-compacta, la autofecundación puede ser de hasta 90-95% con un cruzamiento de 5 a 10%, el cual ocurre más frecuentemente en las extremidades o parte superior de la panícula. La autofecundación promueve la homocigosis y mantiene la pureza genética de los cultivares. El cruzamiento promueve la recombinación de nuevos complejos de genes llevando a la variabilidad genética.

B.8. Desarrollo de la semilla de sorgo

Después de la fertilización el núcleo del endospermo forma un pequeño número de núcleos libres cerca del cigoto. Este forma un tejido celular que es el momento en el cual el cigoto experimenta la segunda división nuclear. El desarrollo del embrión es gradual, la deposición de los granos de almidón inicia alrededor de los diez días después de la fertilización. El desarrollo de la semilla de sorgo se divide en tres etapas: estado lechoso, estado masoso y la etapa de madurez fisiológica final cuando el grano esta duro.

El pericarpio se desarrolla con el crecimiento del embrión, el mesocarpio y la hipodermis del pericarpio son clorofilosos en el desarrollo del ovario, mientras que los granos de almidón se desarrollan en el endospermo y el color verde desaparece gradualmente (Sundararaj and Thulasidas, 1980).

La semilla de sorgo es un cariósipide también llamado grano, las semillas son de forma esférica con el embrión en la base, su color puede ser rojo, café, café rojizo, café oscuro, blanco, blanco amarillento, amarillo, naranja, crema y negro. El endospermo es usualmente blanco, algunas veces amarillo. La semilla puede ser de varias formas elíptica, elíptica estrecha y circular. El color de las glumas durante la madurez del grano puede ser blanco, rojo, amarillo, amarillo pálido, café pálido, café rojizo, café oscuro y negro.

La semilla consta de tres partes: pericarpio (capa externa o testa 6% del peso total), el endospermo (tejido de almacenamiento 84%) y embrión (germen 10%). El pericarpio es una capa delgada. El grano está compuesto por un eje embrionario y escutelo. El embrión se compone de un 70% de lípidos y 13% de proteína en el grano. El endospermo puede comprender un 100% de tejido suave harinoso o algunas veces pequeñas porciones cristalinas o solidas cristalinas en la semilla, presenta capa de aleurona, con una parte externa cristalina y en la parte central comprende el endospermo harinoso.

B.9. Producción de semilla híbrida de sorgo

La producción de semilla híbrida de sorgo se forma utilizando las líneas denominadas A, B y R. Las líneas A y B son isogénicas y solo difieren en que la línea A es androestéril y la línea B es androfértil, de tal forma que la progenie de la cruce A x B es la línea A, como hembra y la línea B como macho mantenedor de la androesterilidad. La línea R es capaz de restaurar la fertilidad en la cruce A x R, en donde estas líneas se seleccionan por su alta capacidad para producir una progenie híbrida en donde se presente un aceptable vigor para rendimiento de grano y forraje (Flores, 1996).

La producción de semilla híbrida de sorgo a nivel comercial involucra:

1. Desarrollo y producción de líneas A, B y R con alto comportamiento *per se* y alta actitud combinatoria general (ACG).
2. Formación de híbridos experimentales.

3. Evaluaciones experimentales de los híbridos nuevos en diversas localidades y ciclos. 4. Multiplicación a gran escala de las líneas progenitoras del híbrido en lotes aislados (líneas A, B y R). 5. Mantenimiento de las líneas progenitoras A, B y R de los mejores híbridos. 6. Producción de semilla híbrida a escala comercial.

En la producción comercial de semilla híbrida de sorgo se obtiene el híbrido de cruce simple en surcos alternos de líneas A x R en un campo aislado. La línea A citoplasma androestéril es polinizada por polen de una línea R, llevado por el viento. Se recomienda un arreglo de siembra de doce surcos de la línea A androestéril por cuatro surcos de la línea R polinizadora bajo un arreglo 12:4 hembra-macho respectivamente.

La línea R androfértil posee genes restauradores de la fertilidad y se combina con una línea A para producir un híbrido de cruce simple. La semilla híbrida de cruce simple (A x R) es la que se vende a los agricultores para producción comercial.

En el Cuadro 2 se representa el citoplasma y los genes restauradores de la fertilidad presentes en un híbrido de sorgo y sus líneas progenitoras. El polen del sorgo es llevado por el viento y puede recorrer grandes distancias, por lo cual, para reducir la contaminación por polen extraño se requiere un aislamiento mínimo con una distancia de 200 metros de otros campos de cultivo de sorgo.

Cuadro 2. Citoplasma, genes restauradores de la fertilidad en el polen para la producción de semilla híbrida de sorgo (Poehlman, 2005).

Progenitor o híbrido	Citoplasma	Genotipo para genes restauradores de fertilidad	Fenotipo del polen
Línea A	Androestéril	$ms_c ms_c$	Androestéril
Línea B	Androfértil	$ms_c ms_c$	Androfértil
Línea R	Androfértil	$Ms_c Ms_c$	Androfértil
	ó		
Línea R	Androestéril	$Ms_c Ms_c$	Androfértil
Híbrido A x R	Androestéril	$Ms_c ms_c$	Androfértil

La utilización de semilla híbrida de sorgo requiere que cada ciclo se produzca nueva semilla, ya que la semilla comercial cosechada por los agricultores no se debe utilizar como semilla para siembra, porque produce una pérdida en el rendimiento del 15 al 20% en la cosecha siguiente, debido a una reducción del vigor híbrido, como consecuencia de la autofecundación. Además, se presenta una variación de caracteres agronómicos, tales como altura de planta, madurez, color de grano, etc. Por lo anterior, se ha desarrollado una gran industria semillera para satisfacer la demanda del mercado de semillas híbridas de sorgo.

B.9.1. Obtención de líneas progenitoras

El sorgo híbrido se mejora produciendo líneas progenitoras superiores, para el caso de las líneas de sorgo carentes de genes restauradores se agrupan como líneas B y por retrocruza se convierten en líneas A androestériles; las líneas que poseen genes de restauración de la androfertilidad en la F_1 en cruza con la líneas A, será fértil.

Cuando se generan nuevas líneas mediante hibridación y selección por el método de pedigree, las inflorescencias de las plantas seleccionadas se cubren con bolsas para evitar el cruzamiento. La emasculación de las líneas B puede suprimirse utilizando una línea A con androesterilidad citoplásmica como el progenitor femenino para retrocruzar con aquellas líneas B de reciente formación, a las cuales se les desea formar de su línea isogénica A.

Las líneas utilizadas como progenitoras en la producción de semilla deben presentar un alto grado de pureza varietal, las líneas A, macho estéril deben presentar alto grado de esterilidad masculina o muy baja proporción de plantas fértiles, además con los mismos días a floración que las líneas B. Los pares de líneas androestériles A, B deben ser rendidoras, estables, tolerantes o resistentes a blasting y con estigmas muy receptivos al polen.

El blasting es una esterilidad genético-ambiental producida por variaciones drásticas de temperatura, cuando la planta de sorgo se encuentra entre la etapa de iniciación del primordio poco antes de la floración, las espiguillas aparecen malformadas e incapacitadas para producir grano.

B.9.2. Diseño y síntesis de nuevas variedades

El diseño de una nueva variedad consiste en incorporar genes que determinan las características agronómicas deseables, las cuales permitirán tener un genotipo en donde el crecimiento y desarrollo se ajustará a la variación de las condiciones propias de un ambiente de producción en particular, identificándose como una nueva variedad apta para la producción en la región para la cual se diseñó. Las especies vegetales mejoradas que se siembran pueden ser de cuatro tipos (Márquez, 1973; Valdés *et al.*, 1997). 1) variedades de polinización libre. 2) variedades tipo línea pura. 3) variedades híbridas y 4) variedades clónales. Estas variedades se forman a través de cuatro etapas básicas:

1. Adquisición de la variabilidad genética exigida para el diseño de la variedad. Se definen las características a conjuntar en el genotipo, deberá estar presente la variabilidad genética elegida y el tipo de herencia de los genes.
2. Elección y desarrollo del método o los métodos de mejoramiento. En esta etapa se desarrolla la planeación del programa de mejoramiento genético a corto, mediano ó largo plazo considerando los recursos económicos y humanos disponibles, eligiendo el ó los métodos de mejora más apropiados para conjuntar los genes de interés en la nueva variedad a generar o líneas experimentales, según sea el caso: polinización libre, líneas puras, híbridos y clones (Allard, 1964; Márquez, 1973).
3. Evaluación del germoplasma experimental. Se evalúa preliminarmente el germoplasma experimental, generado bajo diseño experimental en la misma localidad de formación, así como en diversas localidades y ciclos, para de esta manera poder seleccionar los más sobresalientes, evaluando su rendimiento y

calidad, para proceder a la liberación de los más sobresalientes como nuevas variedades, simultáneamente en lotes aislados, se incrementa la semilla de estos genotipos para ahorrar tiempo al llevarlos a la producción comercial.

4. Liberación de nuevas variedades. El trabajo de evaluación del germoplasma elite preseleccionado y seleccionado en diversas localidades, es la base para la liberación de nuevas variedades, así cuando se tiene un grupo de variedades experimentales que se han identificado con alto potencial de rendimiento, se procede a evaluarlas en localidades de la región potencial de cultivo, incluyendo testigos como tratamientos adicionales, utilizando diseños experimentales de bloques completos al azar, bloques incompletos como látices, experimentos en serie, para después someter los datos a un análisis de varianza (Steel y Torrie, 1980; Ostle, 1983), esto permitirá determinar el efecto de la interacción genotipo por ambiente y en base a un análisis específico, definir aquellos genotipos que por su aceptable comportamiento agronómico en los ensayos pueden recomendarse para liberarse como nuevas variedades.

En la etapa de liberación final de híbridos experimentales de sorgo (Valdés, 1993) menciona seis etapas: 1) observación preliminar de los híbridos experimentales respecto a sus progenitores y testigos comerciales, para identificar aquellos visualmente superiores. 2) evaluación bajo diseño experimental y alguna prueba estadística de comparación de medias, para identificar aquellos, tanto de manera visual como estadística por su buen comportamiento agronómico. 3) evaluación experimental en localidades para conocer su consistencia en rendimiento a través de diversos ambientes durante dos o tres años de prueba. 4) validación y demostración en parcelas semicomerciales con productores agrícolas. 5) multiplicación e incrementos de semilla y 6) venta, producción de semilla y comercialización.

B.10. Hibridación

La hibridación se define como un método genotécnico en plantas en el cual se aprovecha la generación F_1 que proviene del cruzamiento entre dos progenitores (Márquez, 1988). En la formación de híbridos principalmente se busca explotar la heterosis o vigor híbrido, la cual es una expresión genética de las diferencias del desarrollo entre híbridos y de sus respectivos progenitores. El vigor híbrido es sin duda una de las mayores contribuciones de la genética a la agricultura (Orozco *et al.*, 1983 y Paterniani, 2001).

La heterosis es sinónimo de vigor híbrido, la cual es la manifestación de la superioridad del comportamiento de la F_1 respecto a la media de los progenitores (Goldman, 1999) y la heterobeltiosis es la superioridad del híbrido sobre el mejor progenitor (Fonseca y Patterson, 1968). En el cultivo de sorgo, la heterosis puede manifestarse mediante floración más precoz, mayor número de hojas, porte y amacollamiento, mayor peso y tamaño de semilla, mayor producción de grano (Tüsüz, 1997), mayor velocidad de emergencia, vigor y peso seco de plántula (Yu y Tuinstra, 2001; Cisneros-López *et al.*, 2007). El híbrido de sorgo explota la heterosis de la cruce de una línea A androestéril con una línea R fértil restauradora de la fertilidad masculina.

La hibridación es un método de mejoramiento genético que utiliza la polinización cruzada entre progenitores genéticamente distintos con el propósito de obtener recombinación genética. Después de llevarse a cabo la polinización cruzada, se cultivan generaciones segregantes (F_2 a F_5 ó F_7) donde se seleccionan plantas individuales o solo avanzar la población hasta F_5 ó F_7 para seleccionar líneas puras, una vez que se ha alcanzado la homocigocidad. El propósito es identificar y seleccionar las líneas que combinen genes deseables provenientes de ambos progenitores (Poehlman, 2005).

Las líneas seleccionadas se evalúan mediante pruebas de progenie para identificar la presencia de una combinación de genes deseable. Las líneas que demuestren ser superiores pueden multiplicarse como un nuevo cultivar.

En el cruzamiento entre progenitores de línea pura, todas las plantas de la F_1 tendrán genotipos idénticos y serán heterocigóticas en los loci donde los progenitores poseen alelos contrastantes.

La segregación genética comienza y la máxima segregación ocurre en la generación F_2 disminuyendo la heterocigocidad en un 50% en cada generación de autopolinización sucesiva.

B.10.1. Mantenimiento de líneas de sorgo

El sorgo es una planta predominantemente autógama que presenta poca depresión de endogamia. Sin embargo, los niveles significativos de cruce natural pueden ocurrir, el nivel de cruzamiento varía según el tipo de panícula en un 10% en forma compacta (House, 1985). El mejoramiento puede ser logrado, mediante selección de las líneas más productivas en la mezcla por autofecundación para desarrollar una variedad tipo línea pura. Sin embargo, debido a la tendencia de cruzamiento natural, estas líneas puras requieren de mantenimiento por autofecundación para mantener su pureza genética.

La inflorescencia del sorgo es una panícula que varía en tamaño y forma desde ramas sueltas colgantes, hasta una panoja compacta y ovalada (IBPGR e ICRISAT, 1993) el desarrollo de espiguillas y flores en la inflorescencia continua cubierta por la hoja bandera, la diferenciación del primordio en partes florales, puede tardar alrededor de 30 días para mostrarse (House, 1985). Aunque la planta es principalmente autógama, la protoginia puede causar una tasa de por lo menos el 5% de polinización cruzada natural, por tanto, la integridad genética de las accesiones de sorgo se mantiene por autofecundación (Purseglove, 1972).

La integridad genética de una línea de sorgo se mantiene mediante la autofecundación, cuando se regeneran gran cantidad de accesiones simultáneamente y no es posible aislarlas, es necesario cubrir las panículas de sorgo con bolsas de papel, previo a la antesis para mantener la pureza de las líneas.

B.10.2. Incremento, mantenimiento y producción de semilla

La producción de semilla híbrida de sorgo involucra las líneas denominadas A, B y R (Rao, 2002). Un híbrido presenta mayor potencial de producción de grano que una variedad en donde se aprovecha la expresión del vigor híbrido.

Es necesario eliminar plantas fuera de tipo, antes de que ocurra la liberación de polen, también deben eliminarse las plantas que liberen polen de los surcos femeninos y debe evitarse realizar la cosecha, cuando el contenido de humedad sea superior al 17% para evitar que la semilla presente problemas de calidad física, fisiológica y sanitaria.

B.10.3. Aspectos generales para la producción de semilla de sorgo

Después del desarrollo de una nueva variedad y antes de que el agricultor pueda utilizarla como semilla para siembra, se debe de incrementar la semilla original, para lo cual se deben de considerar los siguientes aspectos: disponer de un terreno agrícola aislado de otros sembrados con sorgo, con buena fertilidad, sin deficiencias de hierro y/o magnesio, nivelado para una buena distribución del riego, sin problemas de salinidad, libre de malezas principalmente de zacate Johnson (*Sorghum halepense*) y correhuela (*Convolvulus arvensis*).

Un campo destinado a la producción de semilla de sorgo, no deberá haber sido sembrado con sorgo el ciclo anterior. Sin embargo, si fue cultivado con sorgo, debe regarse por lo menos tres semanas antes de ararlo y rastrearlo para destruir las plántulas que germinaron.

Los terrenos de riego son ideales para la producción de semilla, debido a que un buen suministro de humedad en el suelo, asegura un rendimiento máximo y una mínima producción de polen en el progenitor con esterilidad masculina, además los lotes de producción de semilla pueden madurar más uniformemente. El terreno debe localizarse en un lugar de fácil acceso durante toda época del año, a fin de facilitar las visitas de inspección, desmezcle de plantas fuera de tipo y para realizar una adecuada cosecha.

Cualquiera que sea la proporción utilizada, se debe de considerar una distancia que no exceda los 12 metros entre polinizadores. Se sugiere una densidad de población de 250, 000 plantas por hectárea. Es importante tener especial cuidado al momento de la siembra, en limpiar perfectamente los botes de la sembradora para evitar mezclas de las líneas progenitoras.

La fecha de siembra de las líneas progenitoras debe realizarse de tal manera que coincidan en floración. Se espera una baja frecuencia de cruza extrañas, cuando los progenitores coinciden en la floración y una gran parte de las flores femeninas son polinizadas en pocos días. Los híbridos que requieren diferentes fechas de siembra para sus progenitores necesitan un mayor aislamiento y una cuidadosa atención a la fecha de siembra. Los surcos extras del macho polinizador alrededor del campo se recomiendan para asegurar la polinización de las líneas A, principalmente en los extremos y en el lado de los vientos prevalecientes.

El técnico de semillas debe tener un conocimiento preciso del comportamiento de los progenitores a través de los años en distintas fechas de siembra y tomar en cuenta los factores climáticos, época de siembra y estabilidad del patrón de floración de los progenitores, para definir cuando se deben de sembrar, tanto el progenitor hembra (línea A) como el macho (línea R).

B.10.4. Requerimientos de aislamiento para la producción de semilla

Los campos de sorgo para producción de semilla híbrida requieren aislamiento de otros sorgos. El aislamiento debe ser de 300 metros como mínimo de otros sorgos comerciales de grano en todas las direcciones, 500 metros de sorgos forrajeros (*S. bicolor* x *S. sudanense*) 5,000 metros de sorgos escoberos, 400 metros de zacate Johnson (*Sorghum halepense*) y 1,000 metros de zacate sudan (*Sorghum sudanense*). Cuando se establecen barreras de aislamiento con el cultivo de maíz, debe tenerse mucho cuidado, ya que estas no son muy eficientes y pueden presentarse contaminantes dentro del cultivo del sorgo.

En los campos de producción de semilla de sorgo, debe haber un control estricto de malezas, principalmente de correhuela y zacate Johnson. La correhuela, además de ser una maleza que compite con el cultivo por nutrientes, agua y luz es un contaminante físico de la semilla, ya que produce semillas de tamaño y forma muy similares a las del sorgo y es muy difícil separarlas durante el beneficio.

El zacate Johnson, los sorgos forrajeros y escoberos son contaminantes genéticos que producen polen que pueden fecundar las líneas A en los lotes de producción de semilla y formar mezclas muy notorias por su aspecto y altura. Las cruzas con zacate Johnson son muy características y se han demostrado que pueden derivar plantas tipo Johnson e infestar los terrenos de los agricultores.

El control de las malezas en la producción de semilla es muy importante, ya que si no se tienen los debidos cuidados, la semilla puede ser un medio muy eficiente en la dispersión de estas malezas en los terrenos agrícolas, donde se siembra la semilla contaminada, dificultando incluso la misma producción de semilla, al infestar los lotes de incremento de las líneas.

B.10.5. Desmezcle

Esta práctica se realiza desde poco antes de la floración, durante y después de ésta y antes de la cosecha. Al desmezclar los lotes de producción de semilla de sorgo para remover las plantas indeseables o fuera de tipo, es necesario arrancar toda la planta de raíz, en vez de cortar las panículas, debido a que los hijos tardíos y ramas laterales pueden florecer y producir semilla. Los surcos machos y hembras deben ser cuidadosamente desmezclados, en los surcos machos se requiere especial cuidado para reducir la cantidad de polen indeseable en el campo, en los surcos hembra, las plantas fértiles y aquellas fuera de tipo, se deben arrancar antes de que liberen polen. Las plantas fuera de tipo, pueden diferir en características tales como altura, tipo de panoja, color de anteras, color de planta y presencia o ausencia de aristas.

La mayoría de los sorgos híbridos tienden a producir mutantes altos en proporciones de alrededor de un mutante alto por cada mil plantas. En los surcos del progenitor femenino con esterilidad citoplásmica, las plantas que presentan fertilidad de polen deben retirarse al emerger las anteras.

Algo de polen es liberado, debido a que deben salir las anteras, antes de que la planta pueda ser identificada. Por lo tanto, es necesaria una inspección frecuente de los surcos en la época de polinización para reducir la autopolinización que producirá semilla no híbrida, la cual rinde menos y con frecuencia produce plantas fuera de tipo en los campos de los agricultores.

B.11. Estructura y composición de la semilla de sorgo

La semilla de sorgo es un cariósido también llamado grano y es simplemente un ovario fecundado y maduro, está compuesto básicamente por pericarpio o testa (cubierta exterior), endospermo (tejido de almacenamiento) y embrión. La proporción relativa de cada una de las partes del grano varía de acuerdo al genotipo y bajo las condiciones ambientales donde se realizó la producción del grano. Bajo condiciones de estrés hídrico habrá una mayor proporción del embrión con relación al endospermo.

El pericarpio define el color de grano y por tanto es donde se encuentran los genes que controlan el color, la capa externa o pericarpio originado en la pared del ovario se divide en tres tejidos histológicos: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Earp y Rooney, 1982). El epicarpio es la capa externa delgada del pericarpio que envuelve al grano. Los genes RR y YY definen su color y la apariencia en el color del grano: R_Y_ epicarpio rojo, R_yy epicarpio blanco, rrY_ epicarpio amarillo limón, y ryy epicarpio blanco.

El endospermo comprende de un 80 a 85% del tamaño del grano y también determina la calidad de este, su color suele ser blanco o amarillo. Está constituido por dos clases de almidón (amilasa y amilopectina). Un solo locus controla el tipo de almidón en el endospermo. El alelo dominante Wx controla el amiláceo y el homocigótico recesivo wx, el de tipo ceroso. El color de la testa depende de los genes Tp_ , tp tp. El dominante Tp_ presenta una pigmentación café y el recesivo (tptp) una pigmentación púrpura.

El embrión o germen está compuesto de dos estructuras principales, el eje embrionario y el escutelo, otras dos estructuras anatómicas del grano son el área estilar y la región hilar. La región hilar es el tejido resultante de la separación de la semilla del funículo y es la capa negra que se forma en el grano cuando alcanza este la madurez fisiológica.

En la Figura 1 se presenta el diagrama del cariósido de sorgo.

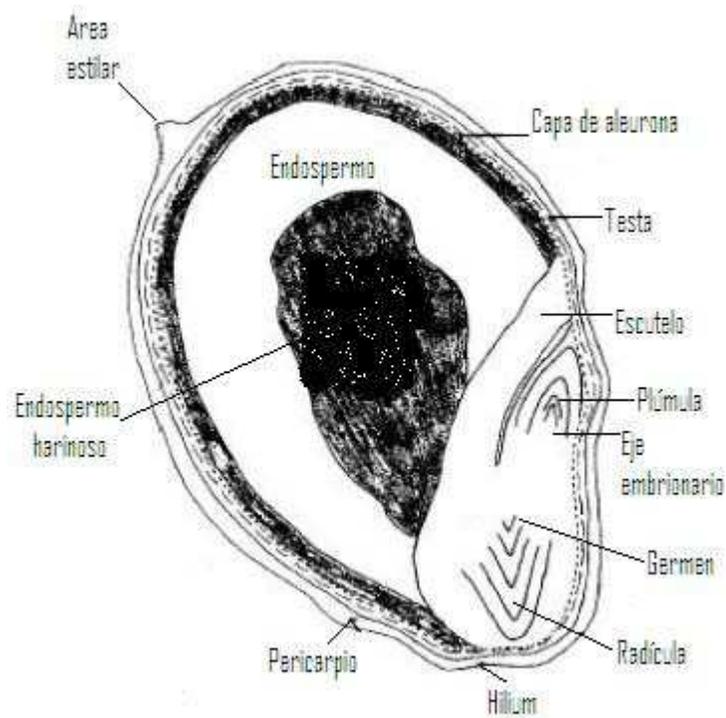


Figura 1. Diagrama del cariósido de sorgo (Rooney and Miller, 1982).

B.11.1. Composición bioquímica del grano de sorgo

La composición bioquímica del grano sorgo se presenta en el Cuadro 3 para cada una de sus estructuras morfológicas.

Cuadro 3. Composición bioquímica del grano de sorgo (Hubbard *et al.*, 1950, Taylor and Schussler, 1986, Dickson *et al.*, 2012).

Componente	Grano entero %	Endospermo %	Embrión %	Pericarpio %
Grano entero	100	84.2	9.4	6.5
Rango	-	81.7-86.5	8.0-10.9	4.3-8.7
Proteína	12.3	10.5	18.4	6.0
Rango	11.5-12.3	8.7-13.0	17.8-19.2	5.2-7.6
Proteína total	100	80.9	14.9	4.0
Grasa	3.6	0.6	28.1	4.9
Rango	-	0.4-0.8	26.9-30.6	3.7-6.0
Grasa total	100	13.2	76.2	10.6
Almidón	73.8	82.5	13.4	34.6
Rango	72.3-75.1	81.3-83.0	-	-
Almidón total	100	94.4	1.8	3.8
Cenizas	1.6	0.4	10.4	2.0
Rango	1.6-1.7	0.3-0.4	-	-
Cenizas total	100	20.6	68.6	10.8

B.11.2. Madurez fisiológica de la semilla de sorgo

El grano de sorgo madura de 30 a 35 días después de la floración (Singh *et al.*, 1997). En la madurez fisiológica se forma un tejido de color marrón oscuro en la base donde la semilla se adhiere a la espiguilla, por este tejido se realiza el desplazamiento de nutrientes de la planta hacia la semilla. La madurez del grano de sorgo se identifica por la formación de una capa negra sobre la semilla. Un punto negro en el pericarpio, aparentemente asociado con la formación de esta capa negra, indica la madurez fisiológica final. El momento óptimo para cosechar la semilla de sorgo se presenta siete semanas después de la antesis (Upadhyaya *et al.*, 2008). En la madurez fisiológica la semilla de sorgo contiene una humedad de un 25 a 30% y está completamente viable. Para lograr un almacenamiento seguro de la semilla, está se debe llevar a un 11-12% de contenido de humedad.

B.12. Cosecha, secado y almacenamiento del grano de sorgo

Una vez que el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica en el campo, deberá ser cosechado, tan pronto como sea posible para minimizar pérdidas por ataque de aves, insectos, hongos y condiciones climáticas adversas. Además, la calidad del grano de sorgo es afectada por factores genéticos, ambientales, daño mecánico durante la cosecha, secado, acondicionamiento y almacenamiento. El grano de sorgo en campo contiene alrededor de un 30% de humedad. Una cosecha ideal para sorgo destinado como semilla, es cuando presente entre un 14 y 16% de contenido de humedad. Se debe efectuar una depuración en precosecha de panojas verdes y de otro tipo morfológico.

Durante el secado de la semilla de sorgo se debe utilizar una temperatura del aire máxima de 100 °F (38 °C), (Talbot, 2003). La semilla de sorgo deberá ser secado para preservar su calidad durante el almacenamiento, así mismo, antes de almacenar la semilla deberá estar libre de impurezas. La semilla de sorgo debe de secarse hasta alcanzar entre un 10.5 y 11% de humedad. El sistema de secado es a base de corrientes de aire caliente. Para el caso del sorgo, cuando haya necesidad de elevar la temperatura del aire en la secadora, esta no debe calentarse por arriba de 110 °F (43 °C).

B.12.1. Tratamiento de semilla de sorgo

El tratamiento de la semilla antes de la siembra en cualquiera de sus categorías es fundamental para garantizar la sanidad de la semilla y evitar ataques de plagas y patógenos, durante las etapas de germinación de la semilla y emergencia de la plántula. El objetivo es proteger las semillas y aumentar su desempeño en el campo durante sus primeras etapas vegetativas. Algunos productos que se encuentran a nivel comercial que se utilizan para el tratamiento de semilla de sorgo son: K-obiol, Captan, Clorpirifos-metil, Deltametrina y Rodamina como colorante. Maxim FS, Apron XL, Storcide, Concep III, Gaucho líquido Poncho, Precise.

El Concep III líquido a una dosis de 1ml del producto en 200 ml de agua ó 1 ml del producto en 20 g de semilla de sorgo para un tratamiento efectivo.

B.13. Germinación y desarrollo de la planta de sorgo

La semilla de sorgo germina de 3 a 5 días a una temperatura óptima de 25 a 30° C y con una adecuada humedad en el suelo, la semilla absorbe agua durante el proceso de imbibición y rompe la testa. Un pequeño coleóptilo, plúmula, radícula (raíz primaria) y raíces laterales emergen (House, 1985). El coleoptilo comienza a emerger del suelo y la primera hoja se rompe con la extremidad, conforme la plántula nueva comienza a crecer forma más hojas. El mesocotilo crece durante este período y se forma un nudo en la base del coleoptilo, justo debajo de la línea del suelo, de este nudo se desarrollan raíces secundarias, cuando la planta tiene de 3 a 7 días de emergida durante la etapa de germinación, la plántula utiliza las reservas de nutrientes contenidos en el endospermo de la semilla.

Gradualmente, el mesocotilo muere y los requerimientos de nutrientes de la plántula, se obtienen a través de sus nuevas raíces. El sorgo permanece en la fase vegetativa de 30 a 40 días después de la germinación, después inicia la fase reproductiva con el inicio de la formación de la panícula y continua su desarrollo con la elongación de las extremidades y emisión de hojas hasta la etapa de embuche, previo a la aparición de la panícula por encima de la ultima hoja ó hoja bandera. Una vez emergida la panícula se inicia la antesis, posteriormente la polinización, fecundación, formación y desarrollo del grano hasta la madurez comercial. Las etapas del desarrollo de la planta de sorgo se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Etapas de desarrollo de la planta de sorgo (United sorghum checkoff program, 2010).

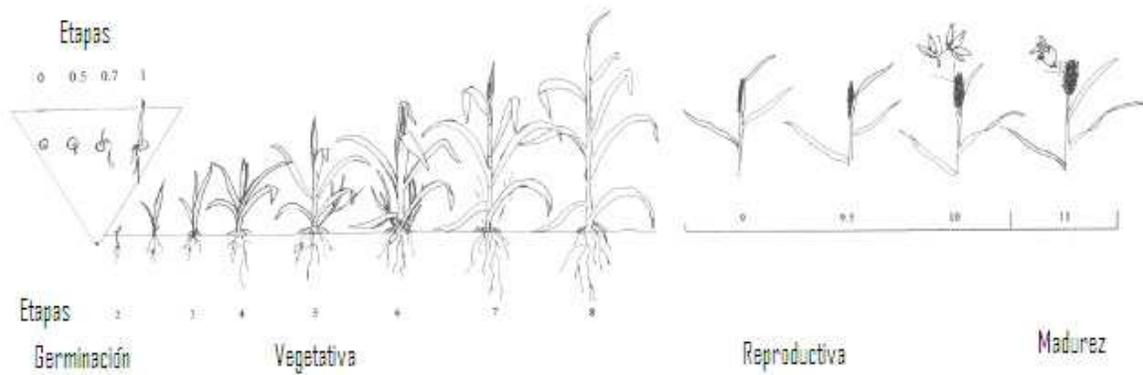


Figura 2. Etapas del sorgo. 0. Siembra, 0.1. Inicio del proceso de imbibición de la semilla, 0.5. Emergencia de la radícula. 0.7. Emergencia del coleóptilo. Etapa 1. Emergencia. Etapa 2. Primera hoja visible. Etapa 3. Tercera hoja visible. Etapa 4. Quinta hoja visible. Etapa 5. Diferenciación de la panícula. Etapa 6. Elongación del tallo. Etapa 7. Hoja bandera visible. Etapa 8. Embuche, termina la etapa vegetativa. Etapa 9. Emergencia de la inflorescencia. Etapa 10. Antesis (50% de las panículas en floración). Etapa 11. Madurez fisiológica del grano (capa negra, aproximadamente un 30% de humedad en la semilla). Etapa 11.5. Madurez del grano (aproximadamente un 15% de humedad en la semilla).

B.14. Objetivos específicos

Considerando, los antecedentes anteriores y el origen del germoplasma base del presente trabajo, se plantearon los siguientes objetivos específicos para alcanzar el objetivo general inicialmente planteado:

- 1.- Incrementar las líneas involucradas en el presente estudio.
- 2.- Caracterizar agrónomicamente y por patrones de floración líneas A, B y R.
- 3.- Estudiar el comportamiento de líneas B y R de sorgo en condiciones de riego y punta de riego, para su posible utilización como variedades en ambientes con humedad del suelo restringida y para condiciones de riego.
- 4.- Estudiar el comportamiento de nuevas líneas de sorgo F₇ seleccionadas bajo el esquema de riego y punta de riego, respecto al rendimiento de grano en localidades de Texas, EE.UU.
- 5.- Estudiar el comportamiento de nuevas líneas de sorgo F₇ seleccionadas bajo el esquema de riego y punta de riego, respecto a la calidad del grano.

B.15. LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. y A. D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503-504.
- Allard, R. W. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. B. 25. 725-1967.
- Artschwager, E., and R. C, McGuire. 1949. Cytology of reproduction in *Sorghum vulgare*. *Journal of Agricultural Research* 78:659-673.
- Betancourt, V. A. 1975. Resumen de los trabajos de Maíz y Sorgo del CIAT. En: II Reunión Nacional de Investigadores de Maíz y Sorgo. INIA. 26-27 de Julio. Cotaxtla, Ver.
- Cisneros-López, M. E., L. E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez, M. Livera-Muñoz. 2007. Cold tolerant Sorghum hybrids and parental lines. I: Seed quality and its effects on seedling establishment. *Agrociencia* 41: 45-55.
- Dahlberg, J. A. and K. Wasylikowa. 1996. Image and statistical analyses of early sorghum remains (8000 B. P.) from the Nabta Playa archaeological site in the Western Desert, southern Egypt. *Vegetation History and Archaeobotany*, 5:293-299.
- Dickson, N. U., G. Mulatu, H. Per, F. Moneim, B. Tomas. 2012. Comparative genetic diversity and nutritional quality variation among some important Southern African sorghum accessions. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Australian Journal of Crop Science*. 6(1):56-64 (2012).
- Doggett, H. 1965. The development of cultivated Sorghum. Page 50 *in* Essays on crop plant evolution (Huchins, S.J.B., ed.). London, UK. Cambridge University Press.
- Doggett, H. 1970. Sorghum. Longman Group Ltd., Harlow, Essex, Great Britain.
- Dewalt, B. y Barkin, D. 1984. La crisis alimentaria mexicana e investigaciones en sorgo. En: Primera Reunión Nacional sobre sorgo. Potencial y Uso del sorgo Granífero en México. Memorias, 22-26 de Octubre. FAUANL. Marín, N.L. pp. 98-122.

- Earp, C. F., and L. W, Rooney. 1982. Scanning electron microscopy of the pericarp and testa of several sorghum varieties. *Food Microstructure* 1:125-134.
- Estrada, G. A. 1977. Consideraciones generales para definir los centros de mejoramiento genético de sorgo para grano, dependientes del Departamento de Maíz y Sorgo. En III Reunión Departamental de Maíz y Sorgo. INIA, 25-27 de Julio. Puebla, México.
- Flores, D. N. 1996. Identificación de híbridos experimentales superiores de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) mediante estratificación genética y bases para su producción en el ciclo Otoño-Invierno 1990 en San Fernando, Tamaulipas. Tesis de Maestría. FAUANL, Marín, N.L. 138 p.
- Fonseca, S., and F. L. Patterson. 1968. Hybrid vigor in a sevenparent diallel crosses in common winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Crop Sci.* 8: 85-88.
- Goldman, I. L. 1999. Inbreeding and outbreeding in the development of a modern heterosis concept. *In: Coors, J. G., and S. Pandey (eds). The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops.* ASA. CSSA. Madison, WI. USA. pp: 7-18.
- House, L. R. 1985. A guide to sorghum breeding. 2nd edition. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Hubbard, J. E., Hall, H.H. and Earle, F.R. 1950. Composition of component parts of the sorghum kernel. *Cereal Chem.* 51:825-829.
- IBPGR and ICRISAT. 1993. Descriptors for Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). IBPGR, Rome, Italy., ICRISAT, Patancheru, India.
- ICRISAT. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 2008. Sorgho. Consultado en <http://www.icrisat.org/sorghum/sorghum.htm>
- Kimber, C. T. 2000. Origins of domestication sorghum and Its early diffusion to India and China. *In: C. W. Smith, R. A. Fredericksen (Ed). Sorghum Origin, History, Technology and Production.* John Wiley and Sons, Inc. New York, NY.
- Márquez, S. F. 1973. Relationship between genotype-environmental interaction and stability parameters. *Crop Sci.* 13: 577-579.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II. Teoría, métodos y resultados. AGT, Editor. México, D. F. 665p.

- Moreno, M., E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. 3ra. Edición, México, D.F.
- Orozco, M., F. J. Mendoza, O, L. 1983. Comparación de híbridos de sorgo *Sorghum bicolor* L. y alguno de sus progenitores. *Agrociencia*. 53:87-97.
- Ostle, B. 1983. Estadística aplicada. Editorial LIMUSA, México, D. F.
- Paterniani, M. E. A. G. Z. 2001. Use of heterosis in maize breeding: history, methods and perspectives. A review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. Vol. 1. Número 2. p. 159-178.
- Poehlman, J. M. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas 2a Edición. México D.F. Editorial Limusa.
- Purseglove, J. W. 1972. (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *In: Tropical Crops. Monocotyledons*. Longman Group Limited. London. pp. 261-287.
- Quinby, J. R. 1974. Sorghum improvement and the genetics of growth. Texas A&M University. Press. College Station, Texas.
- Rao, N. G. P. 2002. Sorghum. *In Evolution and adaptation of cereal crops*. Sci. Pub. Inc. E. New Hampshire. USA. pp. 214-238.
- Rodríguez, V. J. 1984. El futuro del sorgo en México. En Primera Reunión Nacional sobre sorgo. Potencial y uso del sorgo granífero en México. Memoria, 22-26 de octubre. FAUANL. Marín, N.L. pp. 46-63.
- Rooney, L. W., and F. R, Miller. 1982. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. Page 143. *In Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality, 28-31 October 1981*. ICRISAT, Patancheru, India (Rooney, L.W., and Murty, D.S., eds.). Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT).
- Rosenow, D. T., and J. A. Dahlberg. 2000. Collection, conversion, and utilization of sorghum. *In C.W. Smith and R. A Frederiksen (ed.) Sorghum Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley and Sons, New York, NY. 309-328.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2008. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de

- Semillas (SNICS). Gaceta Oficial de los Derechos de Obtentor de Variedades Vegetales. Numero 11. Octubre 1996-Septiembre, 2008.
- Sanchez, R. L. and Smeltzer, D. G. 1965. Sorghum pollen viability. *Crop Science* 5:111-113.
- Schertz, K. F., and Dalton, L. G. 1980. Sorghum. Pages 577-588 *in* Hybridization of crop plants. Madison, USA: American Society of Agronomy. Crop Science Society of America.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano (en línea). Consultado Diciembre, 2011. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>
- Sobrino, A. L. 1985. Situación de la producción de semilla en México. Evolución Histórica, Problemas y Perspectivas. Sector publico. En: Memoria de la Reunión Nacional sobre Producción de Semillas. 23 al 25 de septiembre. Chapingo, Estado de México. Pp. 26-33.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1980. Principles and Procedures of Statistics. 2nd. ed. McGraw-Hill Inc. New York, USA.
- Sundararaj, D. D. and Thulasidas, G. 1980. Botany of field crops. New Delhi, India: The MacMillan Company India Ltd. 508 pp.
- Talbot, M. 2003. Grain sorghum: Harvesting, drying and storage. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Gainesville, 32611.
- Taylor, J. R. N. and Schussler, L. 1986. The protein composition of the different anatomical parts of sorghum grain. *J. Cereal Sci.* 4:361-369.
- Tijerina, M. A. 1984. Programa Nacional de Producción de Semilla de Sorgo. PRONASE. En: Primera Reunión Nacional sobre Sorgo. Potencial y uso del sorgo granífero en México. Memoria. FAUANL. Marín, N.L. pp. 73-85.
- Tüsüz, M. A. 1997. Heterosis in Sorghum. *In*: Book of abstracts. The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. An International Symposium. CIMMYT. México. pp: 326-327.
- United Sorghum Checkoff Program, 2010. South and Central Texas. Production Handbook. Lubbock, Texas. 176 p.

- Upadhyaya, H. D., Gopal Reddy V. and Sastry, D.V.S.S.R. 2008. Regeneration guidelines: Sorghum. In.: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., editors. Crop specific regeneration guidelines. CGIAR System-wide. Genetic Resource Programme, Rome. Italy 8 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2011. National Agricultural Statistical Reporting Service. United States Sorghum Grain Production in 2011.
- Yu, J. and M. R. Tuinstra. 2001. Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum. *Crop Sci.* 41: 1438-1443.
- Valdés, L. C. G. S. 1993. Ensayo e incremento de nuevas líneas experimentales de sorgo para grano. Marín, N.L. Ciclo O-I 1993. Avances de investigación. CIA-FAUANL. p. 112.
- Valdés, L. C. G. S., Gómez R. I. and Pedroza F. J. A. 1997. Practical use of heterosis in *Sorghum x Sudangrass Hybrids*. In: The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT. Book of Abstracts. p.96. 17-22 August 1997. Mexico City. Mexico.
- Valdés, L. C. G. S. 2010. Apuntes del curso. Metodologías tradicionales de mejoramiento genético de plantas. Material no publicado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Área de Estudios de Posgrado. Facultad de Agronomía. Marín, N.L.
- Wall, J. S. y Ross, W. M. 1975. Producción y usos del sorgo. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 400 p.
- Williams-Alanís, H., R. Rodríguez H. y Montes, G. N. 1995. 20 años de investigación en sorgo en el Campo Experimental Río Bravo. Chapingo, México. Germen No. 11. 35 p.
- Williams-Alanís, H., Montes, G. N. y Pecina, Q. V. 2006. Campo Experimental Río Bravo. 50 años de investigación agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, historia, logros y retos. Libro técnico No. 1. INIFAP, CAERIB, Tamaulipas, México. Capítulo 3. 32-54 p.
- Zavala, G. F. 1984. Estudios sobre el crecimiento y desarrollo del sorgo en México. Folleto de divulgación No. 7. CIA-FAUANL. Marín, N.L.

CAPÍTULO I: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO E INCREMENTO DE SEMILLA EN LÍNEAS A, B y R DE SORGO. CICLO PRIMAVERA-VERANO 2009

I.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es fundamental utilizar los sistemas de producción agrícola en forma competitiva y eficiente, para de esta manera poder elevar la producción de los cultivos en términos de calidad y rentabilidad para los agricultores, para ello es necesario mencionar el papel que determina la utilización de semillas mejoradas, como resultado de la investigación de los programas de mejoramiento genético, en este caso el de la FAUANL.

La importancia del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en nuestro país dentro del grupo de cultivos básicos, radica principalmente en su utilización como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para el sector avícola, porcino y bovino entre otros, que a su vez son importantes fuentes proveedoras de alimentos para consumo humano.

El Noreste de México es la región con mayor producción de sorgo del país, en donde se siembran anualmente alrededor de un millón de hectáreas. La superficie sembrada del cultivo de sorgo para grano en esta región, durante el año agrícola 2009 fue de 962,055 hectáreas en la modalidad de riego mas temporal con un rendimiento promedio de 2.7 ton ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2009). En estos sistemas de producción agrícola, se utiliza en su totalidad semilla híbrida que es producida principalmente en EE.UU y por lo tanto, en México la semilla de sorgo para venta a los productores es comercializada por empresas trasnacionales, lo que indica que nuestro país es dependiente de este insumo.

Por lo anterior, es evidente que un programa de producción de semillas tiene su origen en la investigación para el mejoramiento genético y prospera cuando se forman con regularidad variedades mejoradas nuevas para su liberación a un

ambiente de producción determinado, dentro de estos programas de producción de semillas se cuenta con las etapas básicas de formación de genotipos, evaluación, selección, incremento, registro, certificación, control de calidad y posteriormente se procede a la producción comercial y distribución de semilla de las nuevas variedades para al ambiente de producción para el cual se formaron (Douglas, 1982).

La semilla producida debe ser de alta calidad física, fisiológica, genética y sanitaria (Finch-Savage, 1995), para asegurar un buen establecimiento de plántulas en el campo y una densidad de población óptima para alcanzar un alto rendimiento del cultivo (Helms *et al.*, 1997).

La producción de semilla híbrida de sorgo con fines comerciales involucra, el desarrollo y producción de líneas A, B y R con alto comportamiento *per se* y alta actitud combinatoria general (ACG). Evaluaciones experimentales de los híbridos en diversas localidades, ciclos agrícolas y multiplicación a gran escala de las líneas progenitoras del híbrido (líneas A, B y R), (Poehlman, 2005). A su vez, la producción de semilla híbrida de sorgo involucra a una línea R restauradora y una línea B mantenedora como fuentes de polen, las líneas R producen más polen viable que las líneas B (Cisneros-López *et al.* 2012). Cuando la línea R presenta panícula pequeña y floración corta, se utilizaran dos surcos R, con seis surcos A ó 4 A: 2 R para producción de semilla híbrida de sorgo (Murty, 1999).

En el Noreste de México donde predominan las siembras con semillas híbridas de sorgo, estas representan un alto costo de producción, además estos híbridos son desarrollados para ambientes favorables al cultivo, por lo tanto, una alternativa es utilizar semilla de variedades tipo línea pura (Valdés *et al.* 2004), ya que la semilla de una variedad es más económica y fácil de producir, por lo tanto puede ser utilizada por los agricultores en sus próximos ciclos agrícolas, además las líneas pueden competir con los híbridos en ambientes no favorables si son seleccionadas bajo estos ambientes, pudiendo incluso superar en rendimiento de grano a los híbridos comerciales (Flores y Valdés, 2009).

Debido a la gran importancia que representa el cultivo de sorgo en el Noreste de México, en la Facultad Agronomía de la UANL en Marín, N. L., desde 1976 se iniciaron trabajos encaminados al mejoramiento genético de este cultivo, con la finalidad de generar variedades e híbridos de sorgo para grano, forraje y doble propósito con adaptación a esta región del país (Valdés y Olivares, 1989) a la fecha, se han formado un gran número de líneas R e híbridos para grano y doble propósito de cruza A x R, que han demostrado un buen potencial de rendimiento de grano y forraje en ensayos *in situ* y múltiples en diferentes localidades (Valdés *et al.*, 1997), así como en siembras semicomerciales en la región Noreste de México, habiendo sido aceptados por los agricultores, por lo antes mencionado, los objetivos del presente estudio son los siguientes: 1) evaluar la isogenicidad de pares de líneas A, B en días a floración. 2) incrementar semilla básica de sorgo de líneas A, B, R. 3) caracterizar agronómicamente líneas A, B y R para definir su uso potencial para formar híbridos y variedades. 4) definir los split de siembra de líneas A y R para la producción de semilla híbrida de sorgo. 5) producir a nivel experimental semilla de un híbrido androestéril de sorgo.

I.2. MATERIALES Y MÉTODOS

I.2.1. Localización del sitio experimental

El trabajo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano, 2009 en ocho bancales bajo riego por goteo en Marín, Nuevo León, México, su ubicación geográfica es 25° 52' 13.5'' latitud norte y 100° 02' 22.56'' longitud oeste, a una altura de 355 msnm. El clima corresponde a un BS1 (h) w (e) descrito como clima seco estepario cálido con lluvias en verano y una precipitación promedio anual de 595 mm con una temperatura promedio anual de 22 °C (García, 2004).

I.2.2. Fechas de siembra y germoplasma utilizado

Se utilizaron tres fechas de siembra (FS), FS1= 4 de agosto, FS2= 7 de agosto, FS3= 11 de agosto del 2009. Las parcelas experimentales de las líneas R, se establecieron en cuatro surcos de 2 x 0.25 metros con 0.6 m entre cada parcela y para las líneas A, B se establecieron cuatro surcos de 2 x 0.25 m, con dos surcos centrales de la línea A y dos surcos laterales de su línea isogénica B.

Para fines de incremento de semilla se utilizaron las líneas R: 10475, 10351, 90538, 90520, LES40 R, LES88 R, 124, 150, 151, 154, 159, 162 y LES163 R y las líneas isogénicas A, B de sorgo: 398A, B; 1823A, B; 1829 A, B; 1831 A, B; 21832 A, B; ATXARG, BTXARG, TX2921 A, B; TX2922 A, B; TX2923 A, B; TX2924 A, B; TX2925 A, B; TX2926 A, B; TX2927 A, B; TX2928 A, B.

Para fines de caracterización y comportamiento agronómico para definir su uso potencial para formar híbridos y variedades, splits de siembra de las líneas progenitoras para la producción de semilla híbrida de sorgo, se utilizaron las líneas R: 10475, 10351, 90538, 90520, LES40 R, LES88, LES124, LES150, LES151, LES154, LES162 y LES163 R., y las líneas isogénicas A, B: 398 A,B; 1823 A,B; 1829 A,B; 1831 A,B; 1832 A,B.

I.2.3. Manejo agronómico del cultivo

En las etapas iniciales del cultivo de sorgo como parte del manejo agronómico, se realizó un raleo de plántulas con la finalidad de establecer una densidad de 10-12 plantas por metro lineal. Durante el desarrollo del cultivo se realizó el control de malezas mediante escardas. Para el control de plagas se aplicó cipermetrina 200 CE®. La fertilización se realizó aplicando fertilizante granulado en banda de 18-46-0 y aplicaciones foliares con la formula 20-30-10.

Previo a la floración, se identificaron las plantas fuera de tipo y se procedió a realizar su desmezcle. Durante la etapa de floración, se realizaron aplicaciones preventivas, del fungicida agrícola Tilt Propiconazol 250 CE® para evitar incidencia e infestación de las inflorescencias por Ergot del sorgo (*Claviceps africana*).

I.2.4. Incremento de semilla de líneas A, B de sorgo

Para el incremento de todo el grupo de líneas isogénicas A, B primeramente se cubrieron con una bolsa de glaciene todas las panículas al inicio de antesis, después cuando las panículas de las líneas A, habían alcanzado el 90 ó 100% de estigmas receptivos, se realizó la polinización manual con polen de su línea isogénica B mantenedora.

La fecha de inicio de las cruzas para el incremento de semilla y mantenimiento de las líneas isogénicas de sorgo, se realizaron al momento del inicio de antesis el día 6 de octubre del 2009, en las líneas isogénicas 1832 A, B.

I.2.5. Incremento de semilla de líneas R de sorgo

Para el incremento de semilla de las líneas R, solo se cubrieron las panículas al inicio de antesis para evitar contaminación por alguna fuente de polen extraño y asegurar la pureza genética de las líneas con semilla de autofecundación. Se eliminaron plantas fuera de tipo y se seleccionaron para autofecundar, solo plantas fenotípicamente iguales para con ello lograr homogeneidad en la progenie. La cosecha de las panículas de sorgo se realizó en forma manual el día 14 de diciembre del 2009.

I.2.6. Producción a nivel experimental de semilla de un híbrido androestéril de sorgo

Se realizó la cruce de la línea androestéril TX1832 A₂ por la línea 10351 R, la cual no restaura la androfertilidad de la F₁ para formar un híbrido androestéril, que ha sido útil para formar híbridos de tres líneas utilizando como progenitor R la variedad Green Leaf (*Sorghum sudanense*) para la producción de un híbrido forrajero. Falconer (citado por Vásquez, 1995) menciona que en una cruce de tres líneas, la F₁ de dos líneas se utiliza como hembra, en la cual se requiere alta productividad, después la F₁ se cruza con una tercera línea.

I.2.7. Variables evaluadas

Días a floración. Se evaluó cuando en la parcela las plantas de sorgo presentaban el 50% de las panículas en antésis media.

Grados brix. Se evaluaron dos muestras por planta tomadas al azar que se encontraran en competencia completa en la parcela, se extrajo el jugo del tallo de la planta en el entrenudo de la parte central y se colocó en un refractómetro portátil. Después, se obtuvo la lectura correspondiente de la concentración de azúcares en grados brix en las líneas de sorgo.

Rendimiento de semilla en gramos por planta. Se registro el peso total, dividido entre el número de panículas por parcela para obtener el rendimiento promedio en gramos de semilla por planta en las líneas de sorgo.

Peso de 1000 semillas. Se utilizaron tres repeticiones en las muestras de grano, para determinar su peso de mil semillas en gramos.

I.2.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó por la prueba de comparación de medias con muestras independientes en las líneas isogénicas A, B para días a floración, grados brix, gramos de semilla por planta y peso de 1000 semillas.

En las líneas R de sorgo se realizó el análisis de varianza, bajo un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, equivalentes a diferentes número de plantas evaluadas y para las variables, donde se detectó diferencia significativa se utilizó la prueba de comparación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) ($P \leq 0.05$) con el paquete de cómputo de diseños experimentales FAUANL, versión 2.5 (Olivares, 1994).

I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I.3.1. Incremento de semilla en líneas R de sorgo

En el Cuadro 1, se presenta la cantidad de panículas de autofecundación de cada línea R cosechada. Se observó que la línea LES88 R fue la más precoz con 59 días a floración. Después de la siembra, se eliminaron plantas fuera de tipo y se seleccionaron para autofecundar solo plantas fenotípicamente iguales para con ello lograr homogeneidad en la progenie.

Cuadro 1. Total de panículas para incremento de semilla en líneas R de sorgo en el área de Bancales, Marín, N.L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Líneas R	4/Ago/2009 ⊗	7/Ago/2009 ⊗	11/Ago/2009 ⊗	Total
10475	56	62	-	118
10351	25	93	59	177
90538	16	72	29	117
90520	-	-	58	58
LES 40	48	29	29	106
LES 88	30	52	27	109
LES 124	-	-	13	13
LES 150	-	-	8	8
LES 151	58	56	7	121
LES 154	50	58	18	126
LES 162	32	54	17	103
LES 163	34	67	19	120
LES 1235	-	-	6	6
LES 1236	-	-	4	4

I.3.2. Incremento de semilla de líneas A, B de sorgo

En el Cuadro 2 se presenta la cantidad de panículas de incremento de las líneas isogénicas A, B. La fecha de inicio de las cruzas fueron a partir del día 6 de octubre del 2009, en el Bancal 8 parcela número 1, con los genotipos TX1832 A₂, B₂.

Cuadro 2. Total de panículas de sorgo para incremento de semilla en líneas isogénicas A, B y formación de un híbrido androestéril en Marín, N.L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Fecha de siembra	Línea A	Cruzas con B	Fecha de siembra	Línea B	Autofecundaciones ⊗	
4/Agosto/2009	398A	0	4/Agosto/2009	398B	12	
	1823A	26		1823B	64	
	1829A	54		1829B	78	
	1831A	19		1831B	20	
	1832A ₂	25		1832B ₂	11	
7/Agosto/2009	398A	31	7/Agosto/2009	398B	12	
	1823A	22		1823B	32	
	1829A	16		1829B	64	
	1831A	12		1831B	10	
	1832A ₂	21		1832B ₂	35	
11/Agosto/2009	TX2928A	1	11/Agosto/2009	TX2928B	16	
	TX2927A	11		TX2927B	6	
	TX2926A	16		TX2926B	14	
	TX2925A	11		TX2925B	12	
	TX2924A	17		TX2924B	14	
	TX2923A	10		TX2923B	15	
	TX2922A	5		TX2922B	1	
	TX2921A	8		TX2921B	14	
	1823A	14		1823B	20	
	TXARGA ₁	37		TXARGB ₁	32	
	TX1832A ₂	24		TX1832B ₂	28	
	Número de cruzas					
	TX1832A ₂ x					
10351 R					20	

I.3.3. Producción de semilla de un híbrido androestéril

Para la formación del híbrido androestéril de sorgo, se realizó la cruce de las líneas 1832A₂ x LES10351 R para obtener semilla a nivel experimental, obteniéndose un split de siembra para este híbrido de cuatro días entre los progenitores involucrados, durante el ciclo P-V, 2009 en la localidad de Marín, N.L. Se cosecharon 19 panículas de este híbrido con un rendimiento promedio de 10.1 g por planta.

I.3.4. Días a floración en líneas A, B

En el Cuadro 3, se observa que cuatro líneas isogénicas A, B presentan sincronización floral, lo que es un factor fundamental en la producción de semilla de sorgo como lo mencionan (Asfaw y Tesfaye, 2008), excepto la línea 1832 A, B, en donde la línea B presenta tres días más a floración que su línea isogénica A, por tanto, debe corregirse mediante selección en próximos ciclos agrícolas. En general, las líneas evaluadas en el presente estudio se encuentran dentro del rango de 55 a 70 días a floración, tal como lo reporta House (1985). Durante la floración, las glumas abren y las tres anteras caen libres, mientras los dos estigmas sobresalen cada uno en un estilo rígido. El periodo de tiempo desde que la gluma abre hasta terminar de cerrarse es alrededor de una o dos horas, esto varía de acuerdo al genotipo (House, 1985).

Cuadro 3. Prueba de comparación de medias con muestras independientes para días a floración en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, N.L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Media	Varianza	t calculada	t tablas (0.05)	Comparación
398 A	60,6	0,3	2,00	2,776	A=B
398 B	60,0	0,0			
1823 A	64,2	2,7	1,98	2,145	A=B
1823 B	62,2	5,3			
1829 A	63,7	5,6	1,45	2,145	A=B
1829 B	62,0	6,0			
1831 A	68,5	31,7	0,12	2,145	A=B
1831 B	68,1	36,9			
1832 A	63,1	3,5	2,60	2,145	A>B
1832 B	60,8	2,4			

El polen de sorgo permanece viable solo por unas horas, por lo contrario, los estigmas permanecen viables por diez días, aunque esto depende del ambiente. Sin embargo, la receptividad del estigma se incrementa al quinto día, después de la floración (Puttarudrappa and Goud 1970; Patil and Goud, 1980) y disminuye gradualmente. Por su parte Schertz y Dalton (1980) reportan que bajo condiciones normales, la fertilización de un estigma receptivo se realiza en dos horas, la diferenciación del saco embrionario ocurre en los siguientes 12 días y el embrión y/o ovulo fecundado y maduro continúa creciendo hasta alcanzar la madurez fisiológica de la semilla.

I.3.5. Grados brix en líneas A, B

En el Cuadro 4, se observa que las líneas isogénicas A, B presentan valores promedios en un rango de 9.6 a 17. 4 para contenido de grados brix en la biomasa del tallo, siendo valores aceptables para plantas de sorgo con alta cantidad de jugo y una alta concentración de azúcares, de acuerdo a lo mencionado por Pfeiffer *et al.*, (2009) que reportan contenidos de 12 a 22 grados brix en concentración de azucares en sorgo.

Los azúcares contenidos en el jugo del tallo se acumulan durante el desarrollo de la inflorescencia y en la madurez del grano, los principales azúcares son la sacarosa como disacárido y la glucosa y fructosa como monosacáridos (Muminov, 1997, Hoffman *et al.*, 1996).

Los valores reportados en este estudio para contenido de grados brix se evaluaron durante la etapa de madurez del grano como lo recomienda Ferrari (1986), esto explica la alta concentración de azúcares en las líneas A, B de sorgo y por tanto se coincide con Lingle (1987), el cual reporta que la madurez fisiológica del grano es la etapa óptima para cosechar con fines de forraje o para extracción de azúcar. A su vez, menciona que la acumulación de azúcares en sorgo aumenta a partir de la etapa de floración y alcanza su óptimo durante la madurez del grano, sin embargo en el mismo Cuadro 4, se puede apreciar la tendencia de valores mayores para grados brix en las líneas A, que en las líneas B, por lo que las primeras pudieran utilizarse para fines de producción de forraje verde palatable ó ensilaje.

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias con muestras independientes para grados brix en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, N. L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Media	Varianza	t calculada	t tablas (0.05)	Comparación
398 A	17,3	5,6	3,76	2,048	A>B
398 B	12,6	14,4			
1823 A	15,2	22,0	1,00	2,027	A=B
1823 B	13,8	15,3			
1829 A	16,2	20,9	-0,78	2,056	A=B
1829 B	17,4	13,0			
1831 A	16,2	11,0	1,54	2,042	A=B
1831 B	14,0	22,8			
1832 A	13,8	13,9	3,82	2,005	A>B
1832 B	9,6	19,0			

I.3.6. Rendimiento de grano en gramos por planta en líneas A, B

Para la variable rendimiento de semilla en gramos por planta en el Cuadro 5, se observa que tres líneas isogénicas A, B fueron totalmente isogénicas para rendimiento promedio por planta y en dos la línea A rindió menos que la B, esta diferencia debe ser corregida mediante selección en el proceso de mantenimiento e incremento de semilla de estos pares A, B, de tal forma que el rendimiento de las líneas A sea igual que el de su isogénica B.

En el Cuadro 5, se observa que las líneas B, por ser plantas fértiles tienden a producir una mayor cantidad de polen y por tanto una mayor cantidad de semilla de autofecundación, aunque el peso y tamaño de la semilla depende de la habilidad de la planta para acumular materia seca durante la etapa de llenado del grano.

Cuadro 5. Prueba de comparación de medias con muestras independientes para gramos de semilla por planta en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Media	Varianza	t calculada	t tablas (0.05)	Comparación
398 A	22,9	164,4	-0,12	2,447	A=B
398 B	23,6	25,1			
1823 A	33,2	212,8	-1,26	2,086	A=B
1823 B	41,4	254,8			
1829 A	32,8	46,6	-3,56	2,179	A<B
1829 B	44,9	33,0			
1831 A	22,1	11,0	-11,7	2,447	A<B
1831 B	71,4	59,3			
1832 A	37,7	136,8	-0,41	2,447	A=B
1832 B	40,3	27,1			

I.3.7. Peso de 1000 semillas en líneas A, B

En el Cuadro 6 para la variable peso de 1000 semillas, las líneas 398A, 1831A y 1832A presentaron valores promedio superiores a sus isogénicas B y las líneas 1823A y 1829A presentaron menor peso que su línea isogénica B, no obstante el peso de 1000 semillas según la ISTA (2003) para sorgo es de 20 a 35 gramos para esta variable, por lo que estos valores se encuentran dentro de este rango.

Las diferencias en peso mayor para las líneas A en este estudio, se atribuye a que la semilla de las líneas androestériles, se obtuvo mediante cruzamientos manuales (A x B) donde normalmente no se obtiene 100% de éxito en la polinización, por lo que las semillas desarrolladas en la panícula son pocas, pero con mayor peso y tamaño que las producidas mediante polinización libre.

Cuadro 6. Prueba de comparación de medias con muestras independientes para peso de 1000 semillas en líneas isogénicas A, B de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo P-V, 2009.

Línea	Media	Varianza	t calculada	t tablas (0.05)	Comparación
398 A	30,3	0,04	12,4	2,776	A>B
398 B	27,7	0,09			
1823 A	26,3	0,21	-5,51	2,776	B>A
1823 B	27,9	0,05			
1829 A	25,9	0,01	-14,6	2,776	B>A
1829 B	28,3	0,07			
1831 A	33,9	0,03	46,5	2,776	A>B
1831 B	26,8	0,03			
1832 A	32,1	0,00	42,9	2,776	A>B
1832 B	27,5	0,02			

I.3.8. Días a floración en líneas R

Para días a floración en líneas R, el análisis de varianza detectó diferencia significativa entre tratamientos, por tanto se realizó la comparación de medias (Cuadro 7) en donde se observa que la variedad más tardía fue la línea 10475 con 68 días y la línea más precoz fue LES124 R con 58 días a floración. Las líneas R en el presente trabajo se encuentran en un rango de 58 a 68 días a floración, tal como lo reporta House (1985) donde el sorgo inicia floración de 55 a 70 días en climas cálidos, aunque depende del genotipo.

En general, la iniciación floral en sorgo cultivado comienza a los 30 y 40 días después de la germinación de la semilla, la flor inicia su desarrollo en una inflorescencia, antes de la floración alrededor de 6 a 10 días, en donde se forma una bota o envoltura sobre la vaina de la hoja bandera, posteriormente emerge la panícula.

Las líneas 10475R, LES151R y LES154R, pueden considerarse como semi-tardías, LES88R y LES124R como precoces y las demás líneas como intermedias. Lo anterior, debe ser considerado en estas líneas R, para realizar cruza con líneas A que presenten días a floración similares para su utilización como líneas progenitoras para la producción de semilla híbrida de sorgo.

Cuadro 7. Comparación de medias para días a floración, en líneas R de sorgo. Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea R	Días a floración
10475	68,3 a
LES151 R	67,6 ab
LES154 R	67,6 ab
90538	64,3 abc
LES40 R	63,6 abc
90520	63,0 bcd
LES163 R	63,0 bcd
LES162 R	62,0 cd
LES150 R	62,0 cd
10351	61,3 cd
LES88 R	58,3 d
LES124 R	58,0 d

DMS= Diferencia mínima significativa $P \leq 0.05$. Letras similares en columna, significa que no existe diferencia estadística, letra distinta indica diferencia entre tratamientos.

I.3.9. Grados brix en líneas R

En el Cuadro 8 se observa para grados brix que las líneas R presentaron un rango de 10.2 a 18.8 para contenido de grados brix, siendo estos valores aceptables para plantas de sorgo con alta cantidad de jugo y una alta concentración de azúcares, de acuerdo a lo mencionado por Pfeiffer *et al.*, (2009) que reportan contenidos de 12 a 22 grados brix en concentración de azucares en sorgo.

Las muestras de jugo en el presente estudio, se evaluaron durante la etapa de madurez del grano, como lo recomienda Ferrari (1986), esto explica la alta concentración de azúcares en las líneas R de sorgo y por tanto se coincide con Lingle (1987), el cual reporta que durante la madurez fisiológica del grano, es la etapa óptima para cosechar las líneas para producción de forraje verde palatable ó ensilaje, para lo cual, las líneas 90520R y LES154R son las más recomendadas para este propósito de acuerdo a los resultados de este trabajo de investigación.

Cuadro 8. Comparación de medias para contenido de azúcares grados brix, en líneas R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea R	Media
90520	18,8 a
LES154 R	18,2 a
LES40 R	17,7 ab
LES163 R	17,6 ab
LES124 R	17,2 ab
LES162 R	17,0 ab
LES151 R	14,6 bc
10351	14,4 bc
LES88 R	13,3 bcd
90538	12,2 bcd
LES150 R	11,5 cd
10475	10,2 d

DMS= Diferencia mínima significativa $P \leq 0.05$. Letras similares en columna, significa que no existe diferencia estadística, letra distinta indica diferencia entre tratamientos.

I.3.10. Rendimiento de grano en gramos por planta en líneas R

En el Cuadro 9 se presenta la comparación de medias para rendimiento de grano.

Cuadro 9. Comparación de medias para rendimiento de grano promedio en gramos por planta en líneas R de sorgo en Marín, N.L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Rendimiento de semilla
90538	62,7 a
10475	61,1 a
10351	51,1 ab
LES151 R	42,3 bc
90520	41,1 bc
LES162 R	40,6 bc
LES163 R	37,0 bc
LES154 R	33,6 c
LES40 R	32,2 c
LES88 R	27,4 c

DMS= Diferencia mínima significativa $P \leq 0.05$. Letras similares en columna, significa que no existe diferencia estadística, letra distinta indica diferencia entre tratamientos.

Para la variable rendimiento de grano por planta en líneas R (Cuadro 9) el análisis de varianza detectó diferencia significativa entre tratamientos. Por lo tanto, se realizó la comparación de medias en donde se observa que las líneas 90538, 10475 y 10351 presentan los mayores rendimientos promedio, por lo que estas líneas pueden recomendarse para su utilización como variedades en la producción de grano.

I.3.11. Peso de 1000 semillas en líneas R

El análisis de varianza para la variable peso de 1000 semillas en líneas R de sorgo Cuadro 10, detectó diferencia significativa entre tratamientos. La línea 90538 presentó el mayor peso de 1000 semillas con un promedio de 36.7 gramos y la línea LES151 R presento un peso mínimo de 20.8 g estas líneas se encuentran en el promedio de acuerdo como lo reporta la ISTA (2003) para el cultivo de sorgo de 20 a 35 gramos.

Cuadro 10. Comparación de medias para peso promedio de 1000 semillas, en líneas R de sorgo en Marín, Nuevo León. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Peso de 1000 semillas
90538	36,7 a
10351	34,0 b
LES163 R	33,2 bc
LES162 R	32,9 bc
90520	32,5 c
LES124 R	32,1 c
LES88 R	28,5 d
LES150 R	27,8 d
LES154 R	27,8 d
10475	27,7 d
LES40 R	24,3 e
LES151 R	20,8 f

DMS= Diferencia mínima significativa $P \leq 0.05$. Letras similares en columna, significa que no existe diferencia estadística, letra distinta indica diferencia entre tratamientos.

I.3.12. Rendimiento de grano por planta en líneas B y R

En el Cuadro 11, se muestra el análisis conjunto del rendimiento de semilla por planta en gramos de las líneas B y R de sorgo, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, por lo tanto, se realizó la comparación de medias. En donde se observa que la línea 1831B y las líneas 90538 y 10475 presentan el mayor rendimiento y la línea 398 B con 23.6 g presentó el menor rendimiento, estas diferencias en peso están asociadas a que las líneas 1831B, 90538, 10475, son más tardías que la línea 398B, no obstante, estos rendimientos por planta indican un alto potencial para utilizar estas líneas como variedades.

Cuadro 11. Comparación de medias para rendimiento de semilla promedio en gramos por planta de líneas B y R de sorgo en Marín, N. L. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Línea	Rendimiento promedio de semilla	
1831 B	71,37	a
90538	62,70	ab
10475	61,16	ab
10351	51,11	bc
1829 B	44,91	cd
LES151 R	42,36	cde
1823 B	41,47	cde
90520	41,16	cde
LES162 R	40,66	cde
1832 B	40,37	cde
LES163 R	37,00	cdef
LES154 R	33,63	def
LES40 R	32,23	def
LES88 R	27,40	ef
398 B	23,68	f

DMS= Diferencia mínima significativa $P \leq 0.05$. Letras similares en columna, significa que no existe diferencia estadística, letra distinta indica diferencia entre tratamientos.

I.3.13. Splits de siembra entre líneas A y R para producción de semilla híbrida

Mediante el conocimiento de los días a floración de las líneas A y R se pudieron establecer los split de siembra para la sincronización de la floración entre las líneas progenitoras para la producción de semilla híbrida de sorgo.

En el Cuadro 12, se presentan los días a floración de las líneas A y R, así como los splits de siembra entre las líneas progenitoras para la producción de semilla híbrida de sorgo en 60 cruzas posibles entre las líneas androestériles A y las líneas restauradoras R. Se observa que cuatro combinaciones de las líneas progenitoras A x R podrían sembrarse el mismo día en trece cruzas la línea R se tiene que sembrar un día antes de la línea A. Para el grupo restante de líneas, el split de siembra se incrementa y solo se presentan dos cruzas con un split de 11 días, lo que dificultaría la sincronización floral entre los progenitores A x R, para la producción de semilla híbrida. Por lo anterior, se identificaron splits con diferencias mínimas en días a floración entre las líneas A y R que permiten una fácil producción de semilla de 17 híbridos de sorgo para grano a escala experimental y comercial.

En cualquier programa de producción de semilla híbrida es fundamental, la sincronización de la floración (Imre, 1966; Belum *et al.*, 2006). En sorgo, las líneas parentales A y R deben tener una polinización cruzada natural y coincidente en los mismos días a floración entre el macho polinizador y la línea hembra para asegurar una buena producción de semilla híbrida en la línea A.

Cuadro 12. Días a floración y splits de siembra en líneas androestériles A y líneas restauradoras R, para la producción de semilla híbrida de sorgo. Marín, Nuevo León, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

Líneas R Macho (♂)	1823 A Hembra (♀) (64)	1829 A Hembra (♀) (64)	1831 A Hembra (♀) (69)	1832 A Hembra (♀) (63)	398 A Hembra (♀) (60)
10475 (68 días)	Siembra R, 4 días < A	Siembra A, 4 días < R	Siembra R, 1 día < A	Siembra A, 5 días > R	Siembra R, 8 días < A
10351 (61 días)	Siembra R, 3 días < A	Siembra R, 3 días < A	Siembra R, 8 días < A	Siembra R, 2 días < A	Siembra R, 1 día < A
90538 (64 días)	Siembra el mismo día	Siembra el mismo día	Siembra R, 5 días < A	Siembra A, 1 día < R	Siembra R, 4 días < A
90520 (63 días)	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 6 días < A	Siembra el mismo día	Siembra R, 3 días < A
LES40 R (63 días)	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 6 días < A	Siembra el mismo día	Siembra R, 3 días < A
LES88 R (58 días)	Siembra R, 6 días < A	Siembra R, 6 días < A	Siembra R, 11 días < A	Siembra A, 5 días < R	Siembra A, 2 días < R
LES124 R (58 días)	Siembra R, 6 días < A	Siembra R, 6 días < A	Siembra R, 11 días < A	Siembra A, 5 días < R	Siembra A, 2 días < R
LES150 R (62 días)	Siembra R, 2 días < A	Siembra R, 2 días < A	Siembra R, 7 días < A	Siembra A, 1 día < R	Siembra R, 2 días < A
LES151 R (68 días)	Siembra A, 4 días < R	Siembra A, 4 días < R	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 5 días < A	Siembra R, 8 días < A
LES154 R (68 días)	Siembra A, 4 días < R	Siembra A, 4 días < R	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 5 días < A	Siembra R, 8 días < A
LES162 R (62 días)	Siembra R, 2 días < A	Siembra R, 2 días < A	Siembra R, 2 días < A	Siembra A, 1 día < R	Siembra R, 2 días < A
LES163 R (63 días)	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 1 día < A	Siembra R, 1 día < A	Siembra el mismo día	Siembra R, 3 días < A

Línea R (♂) = Progenitor masculino (Macho), Línea R = Línea restauradora de la androfertilidad. Línea A (♀) = Progenitor femenino (Hembra). Línea A = Línea Androestéril.

< Indica los días antes de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

> Indica los días después de siembra de la línea correspondiente para una adecuada sincronización floral entre los progenitores.

I.4. CONCLUSIONES

En las líneas isogénicas A y B evaluadas por isogenicidad para días a floración, solo la línea 1832 A₂ y 1832 B₂, no fueron completamente isogénicas.

Se incrementó semilla básica de las líneas A, B, R durante el ciclo P-V, 2009 y se caracterizaron agronómicamente, por su alta expresión para rendimiento de semilla por planta, grados brix y peso de 1000 semillas, por tanto estas líneas pueden utilizarse para:

- a) dirigir cruzas A x R para obtener híbridos potencialmente superiores.
- b) utilizar las líneas B y R de mayor rendimiento de grano para su posible liberación como variedades de sorgo.

Se identificaron splits con diferencias mínimas en días a floración entre las líneas A y R evaluadas, para realizar una adecuada producción de semilla híbrida de sorgo a escala experimental y comercial en 17 de 60 híbridos posibles.

Se cosechó semilla experimental del híbrido androestéril 1832A₂ x LES10351R de sorgo, la cual será utilizada para estudios en próximos ciclos agrícolas.

I.5. LITERATURA CITADA

- Asfaw, A., and T. Tesfaye. 2008. Seed production potential of ICRISAT bred parental lines of two sorghum hybrids in the central Rift-Valley of Ethiopia. *Journal of SAT Agricultural Research*. 6 p.
- Belum, R., Sharma, H. C, Thakur, R. P, Ramesh, S, Rattunde, F, Mgonja, M. 2006. Sorghum hybrid parents research at ICRISAT. Retrospect and Prospects. *International Sorghum and Millets Newsletter No. 47*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. ICRISAT, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India. 182 p.
- Cisneros-López, M.E., Mendoza-Onofre, L. E, Gonzalez-Hernandez, V. A. 2012. Male parent effects on stigma receptivity and seed set of sorghum A-lines under chilling field temperatures. *Plant Breeding*. 131 (1) 88-93 p.
- Douglas, J. E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia.
- Ferrari, R. 1986. A comparative analysis of the growth of sweet and forage Sorghum crops. Dry matter production, phenology and morphology. *Australian Journal of Agricultural Research*. 37: 495-512.
- Finch-Savage, W. E 1995. Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In: Basra, A.S. (ed). *Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications*. Food Products Press, N.Y. pp: 361-384.
- Flores, N. A., Valdés, L. C. G. S. 2009. Formación de líneas de sorgo tolerantes a sequía para la sostenibilidad de los Agroecosistemas Norestenses. *Sociedad Mexicana de Agricultura sostenible. Agricultura Sostenible. Volumen 6*. Primera edición. 2009. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 423 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. Quinta Edición. Ed. UNAM. Instituto de geografía. México, D.F. 90 p.
- Helms, T. C. Deckard, P. A. Gregoire 1997. Corn, sunflower and soybean emergence influenced by soil temperature and soil water content. *Agronomy. J.* 89: 59-63.

- Hoffmann-Thoma, G., Hinkel, K, Nicolay, P, Willenbrink, J. 1996. Sucrose accumulation in sweet sorghum stem internodes in relation to growth. *Physiologia plantarum* 97 (2): 277-284.
- House, L. R. 1985. A guide to Sorghum breeding. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. Segunda edición. Patancheru, Andhra Pradesh, India. 206 p.
- Imre, B. C. 1966. Stigma receptivity in cytoplasmic male sterile wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 6:175-178.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2003. International rules for seed testing. Ed. ISTA, Suiza, 550 p.
- Lingle, E. S. 1987. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. *Crop Science*. 27: 1214-1219.
- Muminov, N. S. H. 1997. Dynamics of the accumulation of sugar in sweet sorghum. *Chemistry of natural compounds*. 33 (3): 353-354.
- Murty, U. R. 1999. Hybrid seed production in sorghum. In heterosis and hybrid seed production in agronomic crops. Ed. A. S. Barsa. Haworth Press, Inc. USA. 119-148 p.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marín, Nuevo León. México.
- Patil, R. C. and Goud, J. V. 1980. Viability of pollen and receptivity of stigma in sorghum. *Japan Journal of Agricultural Science*. 50:522-526.
- Pfeiffer, T. W., Bitzer, M. J, Toy, Pedersen, J. J. 2009. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in A. *Crop Sci*. 50: 1788-1794.
- Poehlman, J. M. 2005. Mejoramiento genético de las cosechas. Segunda edición. Editorial Limusa. México. D.F. 511 p.
- Puttarudrappa, A. and Goud, J. V. 1970. Efficient method for producing hybrid seeds in male-sterile lines. *International Sorghum and Millets Newsletter* 13:38-39.
- Schertz, K. F., and L. G. Dalton. 1980. Sorghum. Pages 577-588 *in* Hybridization of crop plants. Madison, USA. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America.

- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal (en línea). Consultado en Noviembre del 2009. Disponible en http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap
- Valdés, L. C. G. S., Olivares, S. E. 1989. Formación y evaluación de híbridos experimentales de sorgo para grano. Avances de investigación. Facultad de Agronomía. Marín, N.L. p 100-103.
- Valdés, L. C. G. S., Gómez-Rodríguez, I, Pedroza-Flores, J. A. 1997. Practical use of heterosis in sorghum x sudan grass hybrids. In the genetics and exploitation of heterosis in crops, Book of abstracts. An International Symposium, CIMMYT. 17-22 August, 1997. México, D. F. 354 p.
- Valdés, L. C. G. S., Pedroza, Jesús A. F, José E. C. M, Zavala, G. F, Juan V. G. 2004. Variedades e híbridos de sorgo de doble propósito vs. Híbridos de grano utilizados en sistemas de sorgo-ganado en Nuevo León. Memoria del XXI Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México, Septiembre del 2004.
- Vásquez, Ch. A. 1995. Pruebas de respuesta de líneas androfértiles en genotipos androestériles con diferentes tipos de citoplasma y estimación de heterosis en caracteres de la planta de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Marín, N. L. Otoño-Invierno. 1994-1995. Tesis de Licenciatura. FAUANL. Marín, N.L. 130 p.

CAPÍTULO II: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LÍNEAS B, R DE SORGO BAJO RIEGO Y PUNTA DE RIEGO CICLO OTOÑO-INVIERNO 2010 MARÍN, N. L.

II.1. INTRODUCCIÓN

El uso de semillas mejoradas en la agricultura actual es una práctica establecida en donde las variedades híbridas representan una mayor importancia comercial en el contexto de la tecnología agrícola. Mediante las técnicas de mejoramiento se obtiene semilla híbrida y variedades mejoradas, las primeras son útiles para producirse en la primera generación y solamente pueden ser reproducidas por aquéllos que tienen bajo control las líneas que constituyen los progenitores del híbrido, en tanto que las variedades mejoradas son aprovechables, tanto en la primera como en las siguientes generaciones sin que pierdan sus características genéticas y en comparación con los híbridos pueden ser reproducidas con más facilidad (Muñoz, 1979).

Si la semilla cosechada en un híbrido es utilizada como semilla para siembra, se reducirá el rendimiento de un 15 a 20% además se presentará variación en características agronómicas, tales como altura de planta, días a floración, madurez fisiológica, por lo cual es necesario que el agricultor compre semilla híbrida continuamente. Por lo contrario, en una variedad, no se reduce el rendimiento y se presenta uniformidad en las plantas, para lo cual es importante considerar los aislamientos por tiempo o distancias de otras siembras de sorgo, además se recomienda sembrar en terrenos libres de malezas como el pasto Johnson para evitar cruza indeseables y variabilidad genética.

Por lo anterior, en el cultivo de sorgo donde predominan las siembras con semillas híbridas y las condiciones de producción son limitantes, como es el caso de las siembras en temporal, una alternativa es utilizar semilla de variedades tipo línea pura, ya que ofrecen ciertas ventajas sobre los híbridos, donde la semilla es más económica y fácil de producir, por lo tanto puede ser utilizada por los agricultores en sus próximos ciclos agrícolas.

Además en ambientes no favorables para los híbridos, las variedades si son seleccionadas bajo estos ambientes pueden igualar ó superar en rendimiento a los híbridos comerciales.

El sorgo a nivel mundial se cultiva principalmente bajo condiciones de temporal (Ali, 2009), ya que la planta se caracteriza por su rusticidad y por presentar tolerancia a factores limitantes, como el déficit de agua, altas temperaturas y salinidad (Flores y Valdés, 2009), lo que le permite prosperar a la planta en estos ambientes adversos (Castro *et al.*, 2000).

Un ejemplo de estos ambientes de producción, lo representa el Noreste de México que es la región con mayor producción de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) del país, en donde se siembran anualmente alrededor de un millón de hectáreas (Williams *et al.*, 2006) siendo Tamaulipas el principal estado productor de sorgo en México y donde casi el 90% de la superficie que se siembra con este cereal se cultiva en condiciones de temporal ó secano en una superficie de 693,660 hectáreas (SIAP, 2009) y bajo riego se sembraron 268,395 has durante el año agrícola 2009. En esta región se siembran principalmente híbridos, los cuales bajo riego su rendimiento oscila de 3.0 a 5.0 ton ha⁻¹ y en temporal presentan un rendimiento menor y cuando se presentan condiciones limitantes de humedad el rendimiento llega a ser como máximo de 0.8 a 1.0 ton ha⁻¹.

Por lo anterior, en estas regiones donde un problema importante es la poca humedad del suelo causada por lluvias escasas y erráticas, es necesario disponer de genotipos que presenten rendimientos aceptables, bajo tales condiciones de estrés hídrico y a un precio bajo de venta de semilla para siembra, es aquí donde las variedades tipo línea pura pueden ser una opción en lugar de utilizar semilla híbrida, la cual tiene un precio mayor en el mercado.

Bajo estas condiciones de temporal no hay otro cultivo que se adapte, ya que el sorgo es una planta con crecimiento inicial rápido con hojas y tallos cerosos, lo que favorece la retención de agua y por tanto el desarrollo del cultivo. La no senescencia “stay green” permite permanecer verde la planta del sorgo después de floración y del llenado de grano, éste carácter ha sido reconocido como un mecanismo importante de tolerancia al estrés por sequía (Rosenow, 1996).

Estos mecanismos de tolerancia al estrés hídrico en sorgo favorecen la producción comercial del grano en las siembras de temporal pobre del Noreste de México, no obstante, estos mecanismos de tolerancia a estrés hídrico severo, durante la etapa reproductiva afectan la floración y antesis (Tuinstra *et al.*, 1997) con impacto negativo en la polinización y el llenado del grano, por lo tanto, se reduce el rendimiento de grano (Kebede *et al.*, 2001).

En la producción de semilla híbrida bajo el esquema de la androesterilidad genética-citoplasmática en sorgo, donde participan las cruzas entre una línea A androesteril y su línea isogénica B mantenedora androfértil, para obtener semilla nuevamente de la línea A, la cual después se cruzará con una línea R ó restauradora de la androfertilidad, para cosechar en la línea A, la semilla híbrida. Es necesario en estas líneas progenitoras de híbridos, conocer el efecto del rendimiento de grano, bajo condiciones favorables de riego y su efecto en riego limitado, la respuesta permitirá definir las líneas de buen rendimiento de grano para cada condición, las cuales eventualmente podrán ser utilizadas como variedades tipo línea pura, lo anterior permitirá, conocer a través de las líneas isogénicas B los potenciales de producción de semilla híbrida de las líneas A en riego y su respuesta al enfrentar condiciones de déficit hídrico.

Con los antecedentes mencionados, el presente estudio planteó la hipótesis de trabajo de que las líneas progenitoras B y R de sorgo difieren en el comportamiento del rendimiento de grano bajo riego y punta de riego bajo el ambiente de producción del ciclo Otoño-Invierno, 2010 en Marín, N. L. Por lo cual, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

Evaluar el rendimiento de grano bajo riego y punta de riego de líneas B como indicador del comportamiento de las líneas isogénicas A en la producción de semilla híbrida y como variedades tipo línea pura.

Evaluar el potencial de rendimiento bajo riego y punta de riego de líneas R progenitoras de híbridos y como posibles variedades tipo línea pura.

II.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía en Marín, N.L., el cual consistió en dos ensayos, el ensayo uno fue con líneas B, como estimadoras del rendimiento de sus isogénicas A, con las líneas isogénicas: 1823B, 1829B, 1831B, 1832B₂, TXARGB, TX2921B, TX2923B, TX2924B, TX378B, TX2926B, TX2927B, TX2928B, Wheatland B y como testigo el híbrido comercial P-82G63. El ensayo dos fue de líneas R, en donde se evaluaron las líneas: 10351R, 90538R, 90520R, LES40R, LES88R, LES124R, LES150R, LES151R, LES154R, LES162R, LES163R y el híbrido P-82G63. Algunas de estas líneas A, B, y R han formado híbridos experimentales con potencial aceptable de rendimiento de grano.

Ambos ensayos se manejaron bajo condiciones de riego y punta de riego durante el ciclo Otoño-Invierno, 2010. La siembra de los genotipos se realizó el día 30 de abril del 2010. Las parcelas se establecieron en un surco de 5 m x 0.80 m, con calles de 1.0 m por cada parcela para los ensayos de líneas B y R bajo un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas con tres repeticiones, donde las parcelas grandes fueron las condiciones de riego y punta de riego y las parcelas chicas fueron las líneas B y R respectivamente en el ensayo uno y dos.

Para los dos ensayos de líneas B y R bajo condiciones de riego, se aplicaron tres riegos, uno de presembrado y dos de auxilio y bajo punta de riego, solo se aplicó el riego de presembrado. No obstante, se presentaron durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, lluvias de 20.8, 89.2, 244.2 mm respectivamente, acumulando 354.2 mm adicionales a los tres riegos de 12 cm cada uno con 360 mm en riego, para un total de 714 mm en riego y 474 en punta de riego (INIFAP, 2010).

Para el control de malezas se realizaron dos labores de cultivo y una aplicación de 2,4-D amina. Para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y mosca de la panícula (*Contarinia sorghicola*), se realizaron aplicaciones preventivas con cipermetrina 200 CE®. La fertilización se realizó mediante dos aplicaciones foliares con el producto Bayfolán®.

II.2.1. Variables evaluadas

Se evaluaron para los ensayos de líneas B y R, las siguientes variables:

Altura de planta. Se tomaron plantas de sorgo al azar que se encontraran en competencia completa dentro de la parcela y se midió la altura desde la base del tallo hasta el ápice de la panícula y se expresó en centímetros.

Longitud de panícula. Se tomaron plantas de sorgo al azar que se encontraran en competencia completa dentro de cada parcela, en donde la longitud se midió en cm desde la base del raquis hasta al ápice de la panoja.

Longitud de excursión. Se midió en la planta la longitud desde la lígula de la hoja bandera hasta la parte basal de la panícula de sorgo.

Días a floración. Se evaluó, cuando en la parcela las plantas de sorgo, presentaban el 50% de las panículas en anthesis media.

Rendimiento de semilla en gramos por planta. Después de realizarse el trillado de las panículas cosechadas en cada parcela experimental, se tomó el peso total, el cual se dividió entre el número de panojas cosechadas, para obtener el rendimiento promedio en gramos de semilla por planta en cada parcela experimental.

Peso de 100 semillas. En las muestras de grano de semilla de cada parcela experimental se contaron al azar 100 semillas a las cuales se le registró su peso en gramos y se registró el promedio. Para el análisis de las variables evaluadas, se utilizó el paquete de diseños experimentales FAUANL, versión 2.5 (Olivares, 1994).

II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, el cultivo manifestó diferencias marcadas en su desarrollo, entre las parcelas de riego y las de punta de riego, en donde estas últimas, presentaron marcados síntomas de estrés hídrico el cual desapareció, después de la fuerte precipitación del mes de Julio como resultado del huracán Alex, presentado durante el manejo del experimento en campo.

A continuación, se presentan los resultados de las variables evaluadas en los dos ensayos, bajo la modalidad de riego y punta de riego en 14 líneas B y 12 líneas R de sorgo, bajo un diseño de bloques completos al azar en un arreglo de parcelas divididas, evaluadas durante el ciclo Otoño-Invierno, 2010 en el Campo Experimental FAUANL en Marín, N. L.

II.3.1. Ensayo líneas B

II.3.2 Altura de planta. Líneas B

Se observa en el Cuadro 1, que se detectaron diferencias significativas para el factor A (riego y punta de riego), en donde para ambas condiciones, el mayor valor el promedio para altura de planta, lo presenta la línea 1823B, también se detectó diferencia significativa entre las líneas B (factor B) y la interacción no fue significativa.

Cuadro 1. ANVA para altura de planta de 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	37.18	18.59	0.226	0.815
Factor A (R y PR)	1	2819.0	2819.0	34.27	0.024
Error A	2	164.5	82.25		
Factor B (Líneas B)	13	5125.0	394.2	9.51	0.000
Interacción (AxB)	13	676.8	52.06	1.25	0.269
Error B	52	2155.1	41.44		
Total	83	10977.7			
C.V. (Error B)	6.40 %				

En el Cuadro 2 se comparan las líneas en cuanto a su altura de planta, considerando el promedio de las alturas, tanto en riego como en punta de riego.

Cuadro 2. Comparación de medias para altura de planta en 14 líneas B, promedios bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

Tratamiento	Línea B	Altura en cm	Vs. Testigo
1	1823 B	112.7 a	A
3	1831 B	108.1 ab	B
8	TX2924 B	107.0 abc	B
10	TX2926 B	106.5 abc	B
5	TXARG B	106.3 abc	B
2	1829 B	104.8 abc	B
6	TX2921 B	102.2 abc	B
14	Testigo P82G63	101.0 bcd	-
11	TX2927 B	100.2 bcd	B
9	TX378 B	99.5 bcd	B
7	TX2923 B	96.8 cde	B
12	TX2928 B	90.8 de	B
13	Wheatland B	86.4 e	C
4	1832 B	86.1 e	C
	DMS = 11.0		
	DMS superior = 101.0 + 11.0 = 112		
	DMS inferior = 101.0 - 11.0 = 90		

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

Se observa en el Cuadro 2, que las líneas Wheatland B y 1832B presentaron menor altura que el testigo y solo la línea 1823B supero al resto de los tratamientos.

II.3.3. Longitud de panícula. Líneas B

En el Cuadro 3 se observa que la interacción fue significativa para la longitud de panícula, por lo que se procedió a comparar la media de los tratamientos bajo riego y punta de riego.

Cuadro 3. ANVA para longitud de panícula en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	3.406	1.703	0.129	0.885
Factor A (R y PR)	1	129.74	129.74	9.845	0.087 *
Error A	2	26.35	13.17		
Factor B (Líneas B)	13	290.16	22.32	7.407	0.000 *
Interacción (AxB)	13	83.45	6.41	2.130	0.027
Error B	52	156.68	3.01		
Total	83	689.80			
C.V. (Error B)	6.83 %				

En el Cuadro 4 se observa que en riego el testigo presentó numéricamente la panícula más larga y cuatro líneas estadísticamente presentaron panícula más corta que el testigo, en tanto que bajo punta de riego solo dos líneas fueron inferiores al testigo en longitud de panícula.

En el Cuadro 5 se puede observar que solo para el factor B (líneas B) se detectó diferencia significativa, no así para el factor A y la interacción, por lo anterior, se procedió a conjuntar el promedio para excursión bajo riego y punta de riego en las líneas B, el cual se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 4. Comparación de medias para longitud de panícula en 14 líneas B, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea B	Longitud en cm		Trat	Línea B	Longitud en cm	
14	P82G63	29.6 a	-	5	TXARG B	27.7 a	B
10	TX2926 B	29.0 ab	B	3	1831 B	27.6 a	B
3	1831 B	28.8 abc	B	12	TX2928 B	26.4 ab	B
7	TX2923 B	28.4 abc	B	6	TX2921 B	25.6 ab	B
5	TXARG B	28.0 abc	B	14	P82G63	25.2 ab	-
8	TX2924 B	27.1 abcd	B	8	TX2924 B	24.7 abc	B
12	TX2928 B	27.0 abcd	B	11	TX2927 B	24.2 abc	B
6	TX2921 B	27.0 abcd	B	1	1823 B	24.1 abc	B
11	TX2927 B	26.4 abcd	B	10	TX2926 B	22.8 bc	B
9	TX378 B	25.8 abcde	B	7	TX2923 B	22.8 bc	B
2	1829 B	25.0 bcde	C	2	1829 B	22.8 bc	B
1	1823 B	24.8 cde	C	13	Wheatland B	22.4 bc	B
4	1832 B	23.8 de	C	9	TX378 B	20.9 c	C
13	Wheatland B	22.0 e	C	4	1832 B	20.8 c	C
	DMS	4.18			DMS	4.18	
	DMS superior	29.6 + 4.18= 33.7			DMS superior	25.2 + 4.18 = 29.3	
	DMS inferior	29.6 - 4.18= 25.4			DMS inferior	25.2 - 4.18 = 21.0	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.3.4. Excursión. Líneas B

Cuadro 5. ANVA para excursión en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	14.8	7.40	0.158	0.862
Factor A (R y PR)	1	282.3	282.3	6.027	0.134
Error A	2	93.6	46.8		
Factor B (Líneas B)	13	708.5	54.5	4.329	0.000 *
Interacción (AxB)	13	237.9	18.3	1.454	0.167 **
Error B	52	654.5	12.58		
Total	83	1991.9			
C.V. (Error B)		44.32 %			

En el Cuadro 6 se observa que solo la línea 1823B presentó una excersión superior al testigo y el resto de las líneas fueron estadísticamente iguales a éste.

Cuadro 6. Comparación de medias para excersión de planta en 14 líneas B, bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

Tratamiento	Línea B	Excursión en cm	
1	1823 B	13.46 a	A
9	TX378 B	11.0 ab	B
10	TX2926 B	10.9 abc	B
8	TX2924 B	10.6 abc	B
2	1829 B	10.5 abcd	B
13	Wheatland B	8.8 abcde	B
4	1832 B	8.7 abcde	B
14	P82G63	7.8 abcde	-
3	1831 B	6.0 bcde	B
6	TX2921 B	5.6 bcde	B
7	TX2923 B	5.1 bcde	B
11	TX2927 B	4.8 cde	B
5	TXARG B	4.5 de	B
12	TX2928 B	4.0 e	B
	DMS = 6.0		
	DMS superior = 7.8 + 6.0 = 13.8		
	DMS inferior = 7.8 - 6.0 = 1.8		

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.3.5. Días a floración. Líneas B

Como se puede observar en el Cuadro 7, el factor A, el factor B y la interacción fueron significativos para días a floración, por lo tanto, el comportamiento de los niveles del factor B (líneas B) no fue el mismo dentro de los niveles del factor A (riego y punta de riego), por lo que se procedió a comparar en el Cuadro 8 las medias de las líneas B por separado.

En donde se observa que bajo condiciones de riego, los días a floración presentaron un promedio de 73.4 días y bajo punta de riego 70.6, por lo que en general, las líneas fueron más tardías en riego que en punta de riego, esto se explica debido al momento en que la condición de estrés hídrico ocurrió, siendo posible que en punta de riego, haya ocurrido durante la formación de la panícula, lo que aceleró que emergiera.

Bajo la condición de riego once líneas estadísticamente presentaron mayor número de días a floración que el testigo, una fue igual y una más precoz.

Bajo la condición de punta de riego, diez líneas B fueron más tardías que el testigo P-82G63 y tres líneas: Wheatland B, 1823B y TX378B fueron más precoces. La línea TX378B se comportó estable en sus días a floración, bajo condiciones de riego y punta de riego, siendo esta la de mayor precocidad.

Cuadro 7. ANVA para días a floración en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	292.5	146.2	1170.3	0.001
Factor A (R y PR)	1	162.9	162.9	1303.7	0.001 *
Error A	2	0.250	0.125		
Factor B (Líneas B)	13	5989.4	460.7	882.2	0.000 *
Interacción (AxB)	13	918.5	70.6	135.2	0.000 *
Error B	52	27.1	0.522		
Total	83	7390.9			
C.V. (Error B)	1.00 %				

Cuadro 8. Comparación de medias para días a floración de 14 líneas B bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea B	Días		Trat	Línea B	Días	
3	1831B	84 a	A	5	TXARG B	82 a	A
6	TX2921 B	83 ab	A	8	TX2924 B	82 a	A
7	TX2923 B	83 ab	A	3	1831 B	79 b	A
8	TX2924 B	82 b	A	4	1832 B	79 b	A
5	TXARG B	80 c	A	6	TX2921 B	76 c	A
1	1823 B	78 d	A	7	TX2923 B	73 d	A
11	TX2927 B	78 d	A	11	TX2927 B	73 d	A
12	TX2928 B	77 d	A	12	TX2928 B	72 d	A
4	1832 B	71 e	A	2	1829 B	69 e	A
10	TX2926 B	71 e	A	10	TX2926 B	68 e	A
2	1829 B	68 f	A	14	P82G63	65 f	-
13	Wheatland B	59 g	B	1	1823 B	59 g	C
14	P82G63	58 g	-	13	Wheatland B	56 h	C
9	TX378 B	56 h	C	9	TX378 B	56 h	C
	Promedio =	70.4			Promedio =	70.6	
	DMS	1.74			DMS	1.74	
	DMS superior	58 + 1.74 = 59.74			DMS superior	65 + 1.74 = 66.74	
	DMS inferior	58 - 1.74 = 56.26			DMS inferior	65 - 1.74 = 63.26	
	Promedio R=	73.4			Promedio PR=	70.6	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.3.6. Rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Líneas B

El análisis de varianza para la variable rendimiento de grano en gramos por planta (Cuadro 9) se observa que la interacción fue significativa, lo que indica que el comportamiento de las líneas B no fue el mismo en riego y punta de riego, por lo tanto, se procedió a comparar por separado las medias de las líneas B en riego y punta de riego.

Cuadro 9. ANVA para rendimiento de grano en gramos por planta de 14 líneas B. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	601.0	300.5	2.09	0.322
Factor A (R y PR)	1	913.1	913.1	6.38	0.128 NS
Error A	2	286.2	143.1		
Factor B (Líneas B)	13	4014.0	308.7	9.58	0.000 **
Interacción (AxB)	13	3405.7	261.9	8.12	0.000 **
Error B	52	1675.9	32.2		
Total	83	10896.1			
C.V. (Error B)	21.90 %				

En el Cuadro 10, se observa un comportamiento esperado de las líneas B, ya que su rendimiento fue mayor en riego que en punta de riego, considerando el rendimiento de estas líneas B como un estimador del rendimiento de sus líneas isogénicas A, es posible que aquellas que fueron superiores ó iguales al testigo, podrían tener un buen potencial de rendimiento de semilla híbrida en cruzas con líneas R, bajo condiciones de punta de riego y también para producir híbridos de rendimiento aceptable bajo temporal ó en su caso podrán utilizarse como variedades tipo línea pura para la producción de grano de sorgo bajo esta condición.

En riego seis líneas B fueron estadísticamente superiores, en tanto que en punta de riego, solo una línea fue superior al testigo, sin embargo, diez líneas fueron iguales al testigo, lo que indica que bajo condiciones limitantes de humedad, el vigor híbrido no alcanza una máxima expresión para el rendimiento de grano, lo que hace indistinto sembrar un híbrido ó una línea pura.

Cuadro 10. Comparación de medias para rendimiento de grano en gramos por planta de 14 líneas B bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea B	g/planta		Trat	Línea B	g/planta	
6	TX2921 B	50.8 a	A	5	TXARG B	40.3 a	A
11	TX2927 B	46.8 a	A	6	TX2921 B	27.4 ab	B
1	1823 B	39.4 ab	A	3	1831 B	26.4 b	B
12	TX2928 B	38.9 ab	A	10	TX2926 B	25.1 bc	B
7	TX2923 B	32.1 bc	A	12	TX2928 B	25.1 bc	B
9	TX378 B	31.0 bcd	A	8	TX2924 B	23.6 bc	B
13	Wheatland B	29.9 bcde	B	2	1829 B	23.4 bc	B
5	TXARG B	29.2 bcde	B	1	1823 B	23.2 bc	B
8	TX2924 B	27.8 bcde	B	11	TX2927 B	22.1 bc	B
4	1832 B	23.6 cdef	B	7	TX2923 B	18.2 bc	B
2	1829 B	17.5 def	B	9	TX378 B	17.9 bc	B
14	P82G63	16.6 ef	-	14	P82G63	16.1 bc	-
10	TX2926 B	13.4 f	B	4	1832 B	15.4 bc	B
3	1831 B	11.8 f	B	13	Wheatland B	12.2 c	B
	DMS	13.7			DMS	13.7	
	DMS superior	16.6 + 13.7 =			DMS superior	16.1 + 13.7 =	
		30.3				29.8	
	DMS inferior	16.6 – 13.7 = 2.9			DMS inferior	16.1 – 13.7 = 2.4	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.3.7. Peso de 100 semillas. Líneas B

Como se aprecia en el Cuadro 11, se detectaron diferencias significativas para el factor B y la interacción, por lo que se procedió a comparar tanto en riego como en punta de riego el peso de 100 semillas promedio entre las líneas B, tal comparación se presenta en el Cuadro 12.

Como se observa en el Cuadro 12, en riego solo la línea Wheatland B superó en peso de 100 semillas al testigo, la línea TX2921 fue inferior y las once líneas restantes lo igualaron, en tanto que en punta de riego ocho líneas igualaron al testigo y cinco presentaron menor peso de 100 semillas, esto indica que este carácter en algunas líneas se vio reducido al pasar de riego a punta de riego.

Cuadro 11. ANVA para peso de 100 semillas en 14 líneas B de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	0.00604	0.00302	0.031	0.972
Factor A (R y PR)	1	0.17199	0.17199	1.770	0.315
Error A	2	0.19427	0.09713		
Factor B (Líneas B)	13	7.41619	0.57047	13.65	0.000 *
Interacción (AxB)	13	1.78790	0.13753	3.29	0.001 *
Error B	52	2.17303	0.04178		
Total	83	11.74			
C.V. (Error B)	6.55 %				

Cuadro 12. Comparación de medias para peso de 100 semillas en 14 líneas B, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1			PUNTA DE RIEGO (PR) A2				
Trat	Línea B	Peso en gramos		Trat	Línea B	Peso en gramos	
13	Wheatland B	3.96 a	A	14	P82G63	3.63 a	-
3	1831 B	3.40 b	B	4	1832 B	3.60 a	A
14	P82G63	3.26 bc	-	2	1829 B	3.43 ab	B
9	TX378 B	3.23 bc	B	13	Wheatland B	3.40 ab	B
2	1829 B	3.20 bc	B	10	TX2926 B	3.33 ab	B
4	1832 B	3.06 bc	B	7	TX2923 B	3.20 abc	B
1	1823 B	3.03 bc	B	3	1831 B	3.20 abc	B
10	TX2926 B	3.03 bc	B	8	TX2924 B	3.20 abc	B
11	TX2927 B	2.93 bcd	B	1	1823 B	3.16 abc	B
8	TX2924 B	2.90 cd	B	12	TX2928 B	3.10 bc	C
7	TX2923 B	2.90 cd	B	11	TX2927 B	2.96 bc	C
5	TXARG B	2.83 cd	B	9	TX378 B	2.96 bc	C
12	TX2928 B	2.80 cd	B	5	TXARG B	2.76 cd	C
6	TX2921 B	2.46 d	C	6	TX2921 B	2.33 d	C
	DMS	0.4924			DMS	0.4924	
	DMS superior	3.26 + 0.49= 3.75			DMS superior	3.63 + 0.49 = 4.12	
	DMS inferior	3.26 - 0.49= 2.76			DMS inferior	3.63 - 0.49 = 3.13	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.4. Ensayo líneas R

Los resultados de las variables evaluadas en 12 líneas R de sorgo, se presentan a continuación.

II.4.1. Altura de planta. Líneas R

En el Cuadro 13, se observa que se detectaron diferencias altamente significativas para el factor B y la interacción.

Cuadro 13. ANVA para altura de planta en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	167.87	83.93	1.484	0.042
Factor A (R y PR)	1	12.25	12.25	0.216	0.684
Error A	2	113.06	56.53		
Factor B (Líneas R)	11	31985.6	2907.7	122.7	0.000 *
Interacción (AxB)	11	2571.0	233.7	9.867	0.000 *
Error B	44	1042.1	23.68		
Total	71	35892.0			
C.V. (Error B)		4.52 %			

Dado que la interacción fue significativa, las medias para altura de planta de las líneas R, se comparan entre sí, tanto en riego como en punta de riego, estas comparaciones se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Comparación de medias para altura de planta en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

Trat	RIEGO (R) A1			PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
	Línea R	Altura en cm		Trat	Línea R	Altura en cm	
2	90538	158.2 a	A	2	90538	147.6 a	A
1	10351	155.2 a	A	1	10351	137.5 a	A
3	90520	111.6 b	B	11	LES163 R	114.8 b	B
9	LES154 R	109.0 bc	B	3	90520	113.4 bc	B
10	LES162 R	107.6 bc	B	12	P82G63	107.4 bcd	-
8	LES151 R	107.4 bc	B	9	LES154 R	102.0 cde	B
12	P82G63	106.6 bc	-	7	LES150 R	101.6 de	B
4	LES40 R	105.0 bc	B	10	LES162 R	99.2 de	B
7	LES150 R	97.5 c	B	8	LES151 R	98.0 de	B
11	LES163 R	85.0 d	C	4	LES40 R	96.6 de	B
6	LES124 R	83.3 d	C	6	LES124 R	92.0 e	B
5	LES88 R	70.8 e	C	5	LES88 R	76.8 f	C
	DMS	11.64			DMS	11.64	
	DMS superior	106 + 11.6= 118.2			DMS superior	107 + 11.6= 119	
	DMS inferior	106 - 11.6= 95.0			DMS inferior	107 - 11.6= 95.8	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

En el Cuadro 14, se observa que tanto en riego como en punta de riego, las líneas 90538 y 10351 superaron en altura de planta al testigo bajo riego y punta de riego, tres y una línea respectivamente, fueron inferiores al testigo y que el resto de las líneas, lo igualaron en altura de planta. Considerando que la mayor altura de planta está relacionada con mayor número de entrenudos y por tanto mayor número de hojas, 90538 y 10351 pueden recomendarse para grano y forraje.

II.4.2. Longitud de panícula. Líneas R

En el Cuadro 15, se aprecia que en todas las fuentes de variación, se detectó diferencia significativa para longitud de panícula. En cuanto el factor A, la media de longitud de panícula en riego fue de 24.9 cm y en punta de riego con 23.1 cm, por lo que este carácter se redujo en 1.8 cm al pasar de riego a punta de riego.

Cuadro 15. ANVA para longitud de panícula en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	4.199	2.099	24.43	0.038
Factor A (R y PR)	1	59.02	59.02	686.8	0.001 *
Error A	2	0.171	0.085		
Factor B (Líneas R)	11	836.2	76.02	60.7	0.000 *
Interacción (AxB)	11	63.94	5.813	4.64	0.000 *
Error B	44	55.07	1.251		
Total	71	1018.7			
C.V. (Error B)	4.65 %				

En el Cuadro 16 se presenta la comparación de medias bajo riego y punta de riego para longitud de panícula en líneas R de sorgo para grano.

Cuadro 16. Comparación de medias para longitud de panícula en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea R	Longitud en cm		Trat	Línea R	Longitud en cm	
12	P82G63	31.4	a -	12	P82G63	29.7	a -
9	LES154 R	30.0	ab A	8	LES151 R	27.0	b A
1	10351	28.0	bc B	9	LES154 R	26.8	b B
8	LES151 R	27.4	bc B	11	LES163 R	25.2	bc B
11	LES163 R	25.6	cd B	10	LES162 R	24.1	cd B
10	LES162 R	24.1	de B	2	90538	23.2	cd B
3	90520	23.6	de B	3	90520	23.0	cd B
4	LES40 R	23.0	de B	1	10351	22.5	cde B
6	LES124 R	22.5	e B	4	LES40 R	21.6	de B
7	LES150 R	22.1	ef B	7	LES150 R	20.1	ef B
2	90538	22.0	ef B	6	LES124 R	18.1	fg B
5	LES88 R	19.8	f C	5	LES88 R	16.2	g C
	DMS	2.67			DMS	2.67	
	Promedio R=	24.9			Promedio PR=	23.1	
	DMS superior	31.4 + 2.6 = 34.0			DMS superior	29.7 + 2.67 = 32.3	
	DMS inferior	31.4 - 2.6 = 28.7			DMS inferior	29.7 - 2.67 = 27.0	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

En el Cuadro 16, al comparar la longitud de panícula promedio de las líneas R por separado bajo riego y punta de riego, se observa que en ambas condiciones se presentaron diferencias entre las líneas R, sin embargo, respecto al testigo la longitud de panícula de diez líneas fue estadísticamente igual al testigo y solo LES88 R fue más corta.

II.4.3. Excursión. Líneas R

En el Cuadro 17, todas las fuentes de variación fueron significativas para excursión y para riego se obtuvo una media de 6.5 cm y en punta de riego la media fue de 14.1 cm de excursión, por lo que en esta última condición la excursión se incremento en 7.6 cm, un resultado no esperado.

Cuadro 17. ANVA para excersión en 12 líneas R de sorgo, bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	2.579	1.289	0.361	0.735
Factor A (R y PR)	1	962.14	962.14	269.4	0.003 *
Error A	2	7.141	3.570		
Factor B (Líneas R)	11	480.2	43.66	9.481	0.000 *
Interacción (AxB)	11	270.8	24.62	5.346	0.000 *
Error B	44	202.6	4.60		
Total	71	1925.5			
C.V. (Error B)	21.11 %				

En el Cuadro 18, se presentan las comparaciones de medias para excersión entre los doce tratamientos bajo la condición de riego y punta de riego.

Cuadro 18. Comparación de medias para excersión entren 12 tratamientos, 11 líneas R y un testigo bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea R	Excersión en cm		Trat	Línea R	Excersión en cm	
9	LES154 R	11.0	a A	5	LES88 R	19.0	a A
10	LES162 R	10.4	ab B	9	LES154 R	18.2	a A
2	90538	9.7	ab B	6	LES124 R	17.6	ab A
12	P82G63	8.0	abc B	11	LES163 R	17.0	abc A
7	LES150 R	6.2	abcd B	7	LES150 R	16.7	abc A
8	LES151 R	6.0	abcd B	2	90538	14.6	abcd B
4	LES40 R	5.8	bcd B	10	LES162 R	12.5	bcd B
6	LES124 R	5.6	bcd B	8	LES151 R	12.0	cde B
11	LES163 R	5.4	bcd B	4	LES40 R	10.8	de B
5	LES88 R	4.0	cd B	12	P82G63	10.7	de -
3	90520	3.6	cd B	3	90520	9.5	de B
1	10351	2.4	d C	1	10351	7.0	e B
	DMS	5.13			DMS	5.13	
	Promedio R=	6.5			Promedio PR=	14.1	
	DMS superior	8.0 + 5.13 = 13.13			DMS superior	10.7 + 5.13 = 15.8	
	DMS inferior	8.0 - 5.13 = 2.87			DMS inferior	10.7 - 5.13 = 5.57	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

En el Cuadro 18 se aprecia que bajo riego todas las líneas R presentan una excursión similar al testigo y solo 10351 fue la línea con menor excursión, respecto al resto de las líneas. En punta de riego cinco líneas R presentaron mayor excursión que el testigo y seis líneas fueron iguales, lo anterior implica que bajo temporal el presentar mayor excursión, la cosecha mecánica de estas líneas R como variedades pueden tener una trilla más limpia.

II.4.4. Días a floración. Líneas R

En el Cuadro 19, para la variable días a floración el análisis de varianza detectó diferencia significativa para todas las fuentes de variación. En cuanto al promedio de las líneas R en riego, este fue de 70.4 y bajo punta de riego 76.1 días, por lo que bajo esta condición se incremento en 5.7 días la floración de las líneas R, lo cual se puede explicar, debido a que en punta de riego la interacción fue significativa para la variable días a floración, por lo tanto se procedió a comparar las medias por separado en riego y en punta de riego (Cuadro 20), bajo la condición de punta de riego, en la etapa de diferenciación floral, las líneas R estuvieron sometidas a un periodo de estrés hídrico que retardo la formación de la panícula y su emergencia.

Cuadro 19. ANVA para días a floración en 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	140.0	70.0	20.75	0.045
Factor A (R y PR)	1	578.0	578.0	171.2	0.004 *
Error A	2	6.75	3.37		
Factor B (Líneas R)	11	328.5	29.8	13.80	0.000 *
Interacción (AxB)	11	133.0	12.0	5.59	0.000 *
Error B	44	95.1	2.1		
Total	71	1281.5			
C.V. (Error B)	2.01 %				

En el Cuadro 20 se puede apreciar que bajo riego, la línea 10351 R fue estadísticamente la más tardía con 76 días a floración y el resto fueron iguales al testigo, en punta de riego cuatro líneas fueron más tardías que el testigo y siete fueron iguales.

Cuadro 20. Comparación de medias para días a floración de 12 líneas R bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1			PUNTA DE RIEGO (PR) A2				
Trat	Línea R	Días		Trat	Línea R	Días	
1	10351R	76 a	A	10	LES162 R	81 a	A
8	LES151 R	73 ab	B	8	LES151 R	79 ab	A
3	90520R	71 bc	B	1	10351R	79 ab	A
2	90538R	71 bc	B	9	LES154 R	78 ab	A
5	LES88 R	70 bc	B	2	90538R	77 bc	B
4	LES40 R	70 bc	B	4	LES40 R	77 bc	B
10	LES162 R	70 bc	B	6	LES124 R	77 bc	B
12	P82G63	70 bc	-	3	90520R	74 cd	B
11	LES163 R	69 c	B	12	P82G63	74 cd	-
6	LES124 R	69 c	B	5	LES88 R	73 d	B
9	LES154 R	68 c	B	11	LES163 R	72 d	B
7	LES150 R	68 c	B	7	LES150 R	72 d	B
	DMS	3.5			DMS	3.5	
	Promedio R =	70.4			Promedio PR=	76.1	
	DMS superior	70 + 3.5 = 73.5			DMS superior	74 + 3.5 = 77.5	
	DMS inferior	70 - 3.5 = 66.5			DMS inferior	74 - 3.5 = 70.5	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.4.5. Rendimiento de grano de sorgo. Líneas R

En el Cuadro 21, se observa que en todas las fuentes de variación se detectaron diferencias significativas, excepto para repeticiones.

Cuadro 21. ANVA para rendimiento de grano en (g) por planta de 12 líneas R. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	98.59	49.29	0.5061	0.664
Factor A (R y PR)	1	4077.3	4077.3	41.859	0.019 *
Error A	2	194.8	97.40		
Factor B (Líneas R)	11	9376.4	852.40	21.577	0.000 *
Interacción (AxB)	11	1600.3	145.48	3.6829	0.001 *
Error B	44	1738.1	39.50		
Total	71	17085.6			
C.V (Error B)	23.44%				

Considerando el rendimiento promedio de grano de todas las líneas R, en riego fue de 34.3 g por planta y en punta de riego fue 19.3 g por planta, por lo que, en general, las líneas R redujeron en promedio su rendimiento de grano en 15 g por planta. En el Cuadro 22, se observa que bajo riego las líneas superaron al testigo y en punta de riego solo una, destacando que bajo ambas condiciones la línea 90538, superó significativamente en rendimiento de grano al testigo y al resto de las líneas R evaluadas, por lo tanto, esta línea se puede recomendar para la producción comercial bajo las dos modalidades de producción y para riego, se pueden considerar como posibles variedades, las seis líneas adicionales a 90538R que superaron al testigo y en todo caso, además de 90538R el resto de las líneas R, podrían utilizarse bajo temporal dado que todas estadísticamente rindieron igual que el testigo P-82G63.

Cuadro 22. Comparación de medias para rendimiento de grano en gramos por planta de 12 líneas R bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea R	g/planta		Trat	Línea R	g/planta	
2	90538R	62.5 a	A	2	90538R	44.6 a	A
4	LES40 R	48.6 ab	A	10	LES162 R	25.6 b	B
10	LES162 R	46.8 b	A	8	LES151 R	24.6 bc	B
9	LES154 R	44.4 bc	A	9	LES154 R	22.6 bc	B
11	LES163 R	44.0 bc	A	7	LES150 R	21.1 bc	B
8	LES151 R	38.0 bcd	A	4	LES40 R	20.5 bc	B
7	LES150 R	29.5 cde	A	6	LES124 R	14.9 bc	B
1	10351R	27.6 def	B	12	P82G63	12.6 bc	-
3	90520R	22.0 ef	B	11	LES163 R	12.3 bc	B
5	LES88 R	21.0 ef	B	1	10351R	12.3 bc	B
12	P82G63	13.8 f	-	3	90520R	10.6 bc	B
6	LES124 R	13.7 f	B	5	LES88 R	9.6 c	B
	DMS	15.0			DMS	15.0	
	DMS superior	15.0 + 13.8 = 28.8			DMS superior	15.0 + 12.6 = 27.6	
	DMS inferior	15.0 - 13.8 = 1.2			DMS inferior	15.0 - 12.6 = 2.4	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

II.4.6. Peso de 100 semillas. Líneas R

Para esta variable el análisis de varianza detectó diferencia significativa para el factor A, el factor B y la interacción, lo anterior se presenta en el Cuadro 23.

Cuadro 23. ANVA para peso de 100 semillas en (g) de 12 líneas R de sorgo. Bajo riego y punta de riego. Ciclo OI-2010. Campo Experimental FAUANL. Marín, N.L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Repeticiones	2	0.187	0.093	2.63	0.275
Factor A (R y PR)	1	0.823	0.823	23.09	0.037 *
Error A	2	0.071	0.035		
Factor B (Líneas R)	11	8.764	0.796	26.40	0.000 *
Interacción (AxB)	11	1.695	0.154	5.10	0.000 *
Error B	44	1.327	0.030		
Total	71	12.86			
C.V. (Error B)	5.94 %				

En el Cuadro 24 al comparar la media de todas las líneas R bajo riego respecto a punta de riego, se observa que en riego se presenta un peso promedio de 100 semillas de 3.0 g y en punta de riego de 2.8, por lo que al pasar de riego a punta de riego, se presentó una reducción de 0.2 g, la cual fue significativa.

Cuadro 24. Comparación de medias para peso de 100 semillas en 12 líneas R, bajo riego nivel (A1) y punta de riego nivel (A2).

RIEGO (R) A1				PUNTA DE RIEGO (PR) A2			
Trat	Línea R	Peso en gramos		Trat	Línea R	Peso en gramos	
2	90538	3.56	a B	6	LES124 R	3.43	a B
10	LES162 R	3.30	ab B	12	P82G63	3.36	ab B
6	LES124 R	3.26	abc B	11	LES163 R	3.10	abc B
3	90520	3.23	abc B	10	LES162 R	3.06	abcd B
12	P82G63	3.23	abc B	2	90538	3.00	bcd B
8	LES151 R	3.10	bcd B	9	LES154 R	2.96	bcd B
9	LES154 R	3.06	bcd B	5	LES88 R	2.90	cde B
11	LES163 R	2.90	bcd B	4	LES40 R	2.66	def B
5	LES88 R	2.90	bcd B	8	LES151 R	2.53	ef B
7	LES150 R	2.86	cd B	3	90520	2.50	ef B
4	LES40 R	2.76	d B	7	LES150 R	2.33	fg C
1	10351	2.16	e C	1	10351	1.93	g C
	DMS	0.4156			DMS	0.4156	
	Promedio R=	3.0			Promedio PR=	2.8	
	DMS superior	3.56 + 0.41= 3.97			DMS superior	3.43 + 0.41 = 3.84	
	DMS inferior	3.56 - 0.41= 3.14			DMS inferior	3.43 - 0.41 = 3.01	

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. DMS= Diferencia mínima significativa. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo. A un nivel de significancia de ($P \leq 0.01$).

Al comparar las líneas R por separado en riego y en punta de riego, se observa en el Cuadro 24, que el orden descendente de las medias del peso de 100 semillas para las líneas en cada condición, no fue el mismo, por lo que la interacción fue significativa, no obstante, solo 10351 R en riego y 10351R y LES150R en ambas condiciones fueron inferiores a la media del peso de 100 semillas del testigo P-82G63, en tanto que el resto de las líneas fueron estadísticamente iguales al testigo.

II.5. CONCLUSIONES

La hipótesis planteada de que las líneas B y R evaluadas bajo riego y punta de riego presentarían respuestas diferentes para días a floración y rendimiento de grano por planta se acepta.

Las líneas TX2921B y TXARGB, por su aceptable rendimiento de semilla en gramos por planta, son un buen indicador del rendimiento de semilla híbrida de sus líneas isogénicas A, por lo tanto, se recomiendan estas líneas para la formación de híbridos bajo riego y temporal en cruzas con las líneas 90538R, LES40R, LES150R, LES151R, LES154R, LES162R. Además estas líneas B y R, se pueden utilizar como variedades tipo línea pura, por su aceptable rendimiento de grano por planta para siembras en riego y temporal, destacando entre ellas TX2921B y 90538R.

Por su aceptable rendimiento de grano por planta bajo la condición de riego y punta de riego, el cual estima *per se* que es una línea con buena aptitud combinatoria general para rendimiento de grano por planta, la línea 90538R, se propone como progenitor macho restaurador para la producción de semilla híbrida de cruza A x R, con la ventaja de utilizar esta línea como variedad tipo línea pura bajo condiciones de riego y temporal.

II.6. LITERATURA CITADA

- Ali, M. A., A. Abbas, S. Niaz, M. Zulkiffal and S. Ali, 2009. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in Sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages. Agricultural Biotechnology Research Institute. Int. J. Agric. Biol., 11:674-680.
- Castro, N. S., Ortiz, C. J, Mendoza, C. Ma. Del C, Zavala, G. F. 2000. Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. Rev. Fitotec. Mex. 23: 321-334.

- Flores, N. A., Valdés, L. C. G. S. 2009. Formación de líneas de sorgo tolerantes a sequía para la sostenibilidad de los Agroecosistemas Norestenses. Sociedad Mexicana de Agricultura sostenible. Agricultura Sostenible. Volumen 6. Primera edición. 2009. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 423 p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2010. Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas. Resumen mensual de precipitación 2010. Estación. UANL. Municipio, Marín, N.L.
- Kebede, H., P. K. Subudhi, D.T. Rosenow and H.T. Nguyen, 2001. Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Theor. Appl. Genet, 103:266-276.
- Muñoz, P. G. 1979. Estimación de las funciones de demanda de semillas mejoradas en México, para los cultivos de: arroz, frijol, maíz, sorgo, soya y trigo. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México. 151 p.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía. Marín, N.L. México.
- Rosenow, D. T, Ejeta, G, Clark, L. E, Gilbert, M. L, Henzell, R. G, Borell, A. K, Muchow, R. C. 1996. Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. In: Proc Int. Conf. on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet. Sept 23-27, 1996, Lubbock, Texas, pp 400-411.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal (en línea). Consultado Diciembre del 2009. Disponible en http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap
- Tuinstra, M. R., E. M. Grote, P. B. Goldsbrough and G. Ejeta. 1997. Genetic analysis of post-flowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Mol. Breed, 3: 439-348.
- Williams, A. H., G. N. Montes, Q. V. Pecina. 2006. Sorgo pp. 32-54. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.). Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 3. Libro Técnico No. 1. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.

CAPÍTULO III: COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO PARCIAL DE LÍNEAS DE SORGO PARA GRANO EN MARÍN, N. L. CICLO PRIMAVERA-VERANO 2010

III.1. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (Zhao, 2006) (FAO, 2007), siendo utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países (ICRISAT, 2009). En Asia y África es utilizado como cultivo alimenticio (Gous, 1989; Anglani, 1998), (Dykes *et al.*, 2005). En África, el sorgo es el segundo cereal más importante con una producción de 20 millones de toneladas por año (Taylor, 2003).

El sorgo es cultivado en regiones áridas y semi-áridas (Doggett, 1965), por ser el cereal con mayor resistencia a la sequía, a las altas temperaturas y se puede cultivar en suelos pobres (Elkin *et al.*, 1996), en consecuencia en el Noreste de México, el sorgo es el cultivo más sembrado y con mayor producción de sorgo del país, en donde se siembran anualmente alrededor de un millón de hectáreas (Williams *et al.*, 2006). La superficie sembrada del cultivo de sorgo para grano en esta región, durante el año agrícola 2010 fue de 932,054 hectáreas en la modalidad de riego mas temporal con un rendimiento promedio de 2.9 ton ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2010).

El uso de semillas mejoradas en la agricultura actual representa una mayor importancia comercial en el contexto de la tecnología agrícola, mediante las técnicas de mejoramiento se obtiene semilla híbrida y variedades mejoradas, las primeras son útiles para producirse en la primera generación y solamente pueden ser reproducidas por aquéllos que tienen bajo control las líneas que constituyen los progenitores del híbrido. Las variedades mejoradas son aprovechables, tanto en la primera como en las siguientes generaciones, sin que pierdan sus características genéticas y en comparación con los híbridos pueden ser reproducidas con más facilidad (Muñoz, 1979).

En el Noreste de México predominan las siembras del cultivo de sorgo con la utilización de semillas híbridas desarrolladas para ambientes favorables al cultivo, por lo que una alternativa puede ser la utilización de semilla de variedades tipo línea pura, ya que la semilla de una variedad es más económica y fácil de producir, por lo tanto, puede ser utilizada por los agricultores en sus próximos ciclos agrícolas, además puede competir con los híbridos en ambientes no favorables, si son seleccionadas bajo estos ambientes, pudiendo incluso superar en rendimiento a los híbridos comerciales.

En la FAUANL se han desarrollado variedades e híbridos sobresalientes de sorgo para grano que han sido ensayados en diversas localidades del Noreste de México y han demostrado buena competitividad, respecto a los híbridos comerciales sembrados. Los ocho híbridos sobresalientes son los siguientes: 1823x10475, 1823x10351, 1823x90538, 1823x162R, 1829x10475, 1829x10351, 1829x90538 y 1831x151R (Valdés *et al.*, 2004) y en el ciclo Primavera-Verano, 2009 se definieron splits para la formación de estos híbridos, bajo condiciones de bancales (Flores *et al.*, 2010), por lo que en este trabajo, se planeó obtener estos splits para el ciclo P-V, 2010 bajo condiciones de campo. Por lo tanto, el presente estudio planteó tres objetivos: 1) incrementar semilla de líneas B y R de sorgo sobresalientes, tanto en la formación de híbridos experimentales, así como de variedades que han mostrado ser competitivos contra los híbridos comerciales sembrados en el Noreste de México. 2) caracterizar agronómicamente estas líneas y 3) para el ciclo Primavera-Verano definir los splits de siembra entre las líneas A y R, utilizando los días a floración de sus isogénicas B, que han formado híbridos sobresalientes en el Noreste de México.

III.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía en Marín, N.L., el cual consistió en un ensayo de líneas B y R de sorgo para grano en las líneas: 10351R, 90538R, 90520R, LES40R, LES88R, LES124R, LES150R, LES151R, LES154R, LES162R, LES163R, 1823B, 1829B,

1831B, 1832B₂, Wheatland B y como testigo el híbrido comercial P-82G63. Algunas de estas líneas, han formado híbridos experimentales de sorgo con potencial aceptable de rendimiento de grano y han mostrado un buen comportamiento agronómico como variedades tipo línea pura. El ensayo se realizó bajo condiciones de riego durante el ciclo Primavera-Verano, 2010. La siembra se realizó el día 20 de Julio del 2010. Las parcelas experimentales se manejaron en 1 surco de 5 m x 0.80 m, con calles de 1.0 m. El ensayo de líneas B y R en campo se estableció, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

III.2.1. Manejo agronómico del cultivo

En las etapas iniciales del cultivo se realizó un raleo de plántulas con la finalidad de establecer una densidad de 18 a 20 plantas por metro lineal en cada parcela experimental. Durante la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo, se aplicaron tres riegos de auxilio y se realizó el control de malezas mediante escardas.

El control de plagas se realizó con cipermetrina 200 CE®, debido a la presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y mosca de la panícula (*Contarinia sorghicola*). La fertilización se realizó aplicando fertilizante granulado en banda 18-46-0 y se realizaron tres aplicaciones foliares con el fertilizante Bayfolán®.

Previo a la floración, se identificaron las plantas fuera de tipo y se procedió a realizar su desmezcle. Durante la etapa de floración, se realizaron aplicaciones preventivas, del fungicida agrícola Tilt Propiconazol 250 CE® para evitar incidencia e infestación de las inflorescencias por Ergot del sorgo (*Claviceps africana*).

III.2.2. Variables evaluadas

Días a floración. Se cuantificaron los días en base a la fecha de siembra y se realizó la evaluación cuando las plantas de sorgo presentaban el 50% de las panículas en antésis media.

Altura de planta. Se tomaron cuatro plantas de sorgo al azar que se encontraran en competencia completa dentro de cada parcela y se les midió en cm la altura desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja.

Longitud de panícula. A las cuatro plantas seleccionadas para medir esta variable, se les midió la longitud de la panícula en centímetros desde la base del raquis hasta el ápice.

Longitud de excursión. En las cuatro plantas utilizadas para medir las dos variables anteriores, se midió la longitud del tallo desde la lígula de la hoja bandera hasta la base del raquis de la panícula.

Rendimiento de grano por planta. Se programó tomar una muestra de panículas de las plantas con competencia completa, desgranarlas, pesar el grano de sorgo en gramos y dividirlo entre el número de plantas por parcela y expresarlo como rendimiento promedio por planta.

Incremento de semilla. Se programó cubrir con bolsas de papel las panículas de cada línea en cinco plantas fenotípicamente similares para cosecharlas en masa y conservar las líneas con semilla de autofecundación.

III.2.3. Splits de siembra para la formación de híbridos de sorgo

En el ciclo Otoño-Invierno, 2009 se establecieron los días a floración de las líneas B como equivalentes a sus líneas isogénicas A, así como de las líneas R, para de esta manera establecer los splits de siembra de las líneas progenitoras A y R, para una sincronización de la floración. Durante el ciclo Primavera-Verano, 2010 bajo condiciones de campo, se planteó como objetivo definir los splits de siembra de las líneas A y R progenitoras de híbridos sobresalientes para la producción de semilla híbrida de sorgo, para así tener los splits de las líneas en los dos ciclos agrícolas, tanto en Otoño-Invierno como en Primavera-Verano.

III.2.4. Análisis estadístico

El análisis de varianza de las variables evaluadas y la prueba DMS ($P \leq 0.05$) se realizó con el paquete de cómputo de diseños experimentales, FAUANL versión 2.5 (Olivares, 1994).

III.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de las variables que pudieron medirse, ya que no se obtuvieron datos de rendimiento de grano, debido a que el experimento en campo, al inicio de llenado de grano fue totalmente destruido por una manada de jabalíes que se encontraban en los terrenos del Campo Experimental de la FAUANL, en Marín, Nuevo León.

Días a floración

El análisis de varianza se presenta en el Cuadro 1, donde se observa una diferencia significativa entre tratamientos, para lo cual se realizó la comparación de medias para esta variable.

Cuadro 1. ANVA para días a floración ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	16	778.2	48.63	368.03	0.00
Bloques	3	0.40	0.13	1.02	0.39
Error	48	6.34	0.13		
Total	67	784.9			

C.V = 0.59%

En el Cuadro 2 se observa que la línea más precoz fue LES88 R con 56 días a floración y la más tardía LES1831 B con 68 días. En general las líneas se encuentran en el rango de 55 a 70 días a floración del sorgo como lo menciona (House, 1985).

Estos materiales presentan una gran variabilidad en precocidad, por lo que hay germoplasma disponible para seleccionar líneas de acuerdo a esta característica.

Cuadro 2. Comparación de medias para días a floración, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo Experimental de la FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Días	
14	LES1831 B	68.0 a	A
9	LES154 R	67.2 b	A
8	LES151 R	67.0 b	A
2	90538 R	64.0 c	A
4	LES40 R	63.0 d	A
11	LES163 R	63.0 d	A
3	90520 R	63.0 d	A
13	LES1829 B	62.5 de	A
12	LES1823 B	62.2 e	A
7	LES150 R	62.0 e	A
10	LES162 R	62.0 e	A
1	10351R	61.2 f	A
15	LES1832 B	60.2 g	A
17	P-82G63	58.0 h	-
6	LES124 R	57.7 h	B
16	Wheatland B	57.0 i	C
5	LES88 R	56.0 j	C
	DMS= 0.51		
	DMS superior	58 + 0.5= 58.5	
	DMS inferior	58 - 0.5= 57.5	

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

Altura de planta

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para esta variable y se observa que se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 3. ANVA para altura de planta, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	16	53578.3	3348.6	33.4	0.00
Bloques	3	192.0	64.0	0.63	0.59
Error	48	4807.7	100.1		
Total	67	58578.1			
C.V = 7.63%					

En el Cuadro 3 se observan diferencias significativas entre tratamientos, por lo que se realizó a comparación de medias para esta variable, la cual se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Comparación de medias para altura de planta, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Altura	
2	90538 R	195.3 a	A
1	10351 R	189.8 b	A
3	90520 R	152.3 bc	A
12	LES1823 B	147.0 bc	B
11	LES163 R	136.5 cd	B
17	P-82G63	134.7 cd	-
9	LES154 R	134.3 cd	B
4	LES40 R	130.5 de	B
8	LES151 R	126.6 de	B
14	LES1831 B	126.3 de	B
10	LES162 R	124.6 de	B
13	LES1829 B	123.1 de	B
7	LES150 R	119.6 e	B
15	LES1832 B	104.8 f	C
6	LES124 R	103.8 f	C
5	LES88 R	93.8 fg	C
16	Wheatland B	86.8 g	C
	DMS= 14.2		
	DMS superior	134.7 + 14.2 = 148.9	
	DMS inferior	134.7 - 14.2 = 120.5	

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

Respecto al testigo, las líneas con mayor altura fueron 90538R, 10351R y 90520R y las de menor altura fueron LES150 R, LES1832 B, LES124 R, LES88 R y la línea Wheatland B, se observa que ocho líneas fueron estadísticamente similares al híbrido para altura de planta.

Longitud de panícula

El análisis de varianza se presenta en el Cuadro 5 y se observa que se detectó diferencia significativa entre tratamientos.

Cuadro 5. ANVA para longitud de panícula, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	16	714.3	44.64	7.28	0.00 *
Bloques	3	546.36	182.12	29.7	0.00
Error	48	294.32	6.13		
Total	67	1555.07			
C.V = 9.79%					

Se realizó la comparación de medias para longitud de panícula, la cual se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Comparación de medias para longitud de panícula, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Longitud de panícula	
14	LES1831 B	31.5 a	B
12	LES1823 B	28.8 ab	B
17	P-82G63	28.6 ab	-
8	LES151 R	28.3 abc	B
1	10351 R	28.3 abc	B
9	LES154 R	28.2 abcd	B
13	LES1829 B	26.8 bcde	B
2	90538 R	25.2 cdef	B
3	90520 R	24.7 def	C
11	LES163 R	23.7 efg	C
10	LES162 R	23.6 efg	C
16	Wheatland B	23.3 efg	C
4	LES40 R	23.3 efg	C
5	LES88 R	23.0 fg	C
6	LES124 R	22.0 fgh	C
7	LES150 R	21.2 gh	C
15	LES1832 B	19.0 h	C
	DMS= 3.5		
	DMS superior	$28.6 + 3.5 = 32.1$	
	DMS inferior	$28.6 - 3.5 = 25.1$	

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

En el Cuadro 6 se observa que siete líneas presentaron el mismo tamaño de panícula que el testigo y nueve presentaron menor longitud de panícula.

Longitud de excursión

El análisis de varianza se presenta en el Cuadro 7, en donde se observa que se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 7. ANVA para longitud de excersión, ensayo de líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	16	683.25	42.7	2.51	0.007 *
Bloques	3	152.19	50.7	2.98	0.039
Error	48	814.68	16.9		
Total	67	1650.13			
C.V = 48.05%					

Se realizó la comparación de medias, la cual se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación de medias para longitud de excersión en líneas B y R de sorgo. Ciclo Primavera-Verano, 2010. Campo FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Excersión	
9	LES154 R	14.8 a	A
11	LES163 R	13.8 ab	A
14	LES1831 B	13.1 abc	B
7	LES150 R	12.0 abcd	B
10	LES162 R	9.6 abcde	B
12	LES1823 B	9.3 abcde	B
8	LES151 R	8.2 bcdef	B
2	90538 R	8.2 bcdef	B
6	LES124 R	7.7 cdef	B
14	LES1831 B	7.6 cdef	B
17	P-82G63	7.6 cdef	-
5	LES88 R	6.8 def	B
4	LES40 R	6.5 def	B
3	90520 R	6.2 def	B
1	10351 R	5.6 ef	B
13	LES1829 B	5.5 ef	B
16	Wheatland B	2.6 f	B
	DMS= 5.9		
	DMS superior	$7.6 + 5.9 = 13.5$	
	DMS inferior	$7.6 - 5.9 = 1.7$	

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

En el Cuadro 8 se observa que las líneas LES154 R y LES163 R presentaron una mayor excersión respecto al testigo P-82G63, en tanto que el resto de las líneas fueron estadísticamente iguales al híbrido testigo P-82G63.

III.3.1. Splits de siembra para la producción de semilla híbrida de sorgo

En trabajos previos durante el ciclo Otoño-Invierno se establecieron los splits de siembra de líneas progenitoras A y R para la producción de semilla de ocho híbridos sobresalientes, sin embargo, en el ciclo Primavera-Verano, esto no se ha definido, por lo tanto, en el Cuadro 9 se presentan los splits para la producción de semilla de éstos híbridos durante los ciclos O-I, 2009 y P-V, 2010.

Cuadro 9. Splits para producción de semilla de ocho híbridos experimentales sobresalientes. Ciclo P-V, 2009 en bancales respecto al ciclo P-V, 2010 en Campo FAUANL, Marín, N. L.

Híbrido (♀ x ♂)	D F ♀	D F ♂	Siembra ♀	Siembra ♂	Ciclo P-V
1823 x 10475	64	68	4 días después del ♂	4 días antes de la ♀	2009
	62	-	-	-	2010
1823 x 10351	64	61	3 días antes del ♂	3 días después de la ♀	2009
	62	61	1 día antes del ♂	1 día después de la ♀	2010
1823 x 90538	64	64	Igual que el ♂	Igual que la ♀	2009
	62	64	2 días después del ♂	2 días antes de la ♀	2010
1823 x 162R	64	62	2 días antes del ♂	2 días después de la ♀	2009
	62	62	Igual que el ♂	Igual que la ♀	2010
1829 x 10475	64	68	4 días después del ♂	4 días antes de la ♀	2009
	63	-	-	-	2010
1829 x 10351	64	61	3 días antes del ♂	3 días después de la ♀	2009
	63	61	2 días antes del ♂	2 días después de la ♀	2010
1829 x 90538	64	64	Igual que el ♂	Igual que la ♀	2009
	63	64	1 día después del ♂	1 día antes de la ♀	2010
1831 x 151R	69	68	1 día antes del ♂	1 día después de la ♀	2009
	68	67	1 día antes del ♂	1 día después de la ♀	2010

DF= Días a floración, Ciclo P-V. Primavera-Verano. Línea R (♂) = Progenitor masculino (Macho), Línea R = Línea restauradora de la androfertilidad. Línea A (♀) = Progenitor femenino (Hembra). Línea A = Línea Androestéril.

En el Cuadro 9 se puede observar que para dos híbridos experimentales superiores, por no haber sido incluida la línea 10475 R en este ensayo, no fue posible definir el split de siembra para el ciclo P-V, 2010, sin embargo, sí se determinó para los cinco híbridos restantes. En general, los días a floración entre las líneas progenitoras de los híbridos superiores, no son muy diferentes, lo cual facilitará la producción de semilla híbrida de sorgo para los ciclos agrícolas: Otoño-Invierno y Primavera-Verano.

III.4. CONCLUSIONES

El primer objetivo referente a incrementar la semilla de las líneas bajo estudio, no se cumplió debido a las razones antes mencionadas.

El segundo objetivo de realizar la descripción agronómica de las líneas se cumplió parcialmente, dado que no fue posible obtener el dato referente al potencial de rendimiento de grano en el ciclo P-V, 2010.

Bajo las condiciones del Campo Experimental de la FAUANL, el tercer objetivo se cumplió al definir para seis de ocho híbridos sobresalientes seleccionados como estables, los splits de siembra entre líneas A, (representadas por sus líneas isogénicas B) y las líneas R para producir semilla de éstos híbridos superiores en el ciclo P-V, 2010, lo que permitirá la producción de semilla de estos híbridos en los ciclos O-I y P-V en regiones ecológicamente similares a los de la FAUANL en el Noreste de México.

III.5. LITERATURA CITADA

- Anglani, C. 1998. Sorghum for human food: A review. *Plant Foods Hum. Nutr.* 52: 85-95.
- Doggett, H. 1965. The development of cultivated Sorghum. Page 50 *in* Essays on crop plant evolution (Huchins, S.J.B., ed.). London, UK. Cambridge University Press.
- Dykes, L., Rooney, L. W, Waniska, R. D. and Rooney, W. L. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 53,6813-6818.
- Elkin, R. G., Freed, M. B., Hamaker, B. R., Zhang, Y. and Parsons, C. M. 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 44:848-853.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2007. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org>
- Flores, N. A., Valdés, L. C. G. S, Zavala, G. F, Olivares, S. E, Gutiérrez, D. A, Vázquez, B. M. E. 2010. Comportamiento agronómico de líneas A, B y R para la producción de semilla de sorgo. Memorias del XXXII Ciclo de Seminarios de Posgrado. Facultad de Agronomía. FAUANL, Marín, N. L.
- Gous, F. 1989. Tannins and phenols in black sorghum. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) 2009. Sorghum Biodiversity at ICRISAT. Patancheru 502324 Andhra Pradesh, India.
- Muñoz, P. G. 1979. Estimación de las funciones de demanda de semillas mejoradas en México, para los cultivos de: arroz, frijol, maíz, sorgo, soya y trigo. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México. 151 p.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía. Marín, N. L. México.

- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal (en línea). Consultado Mayo del 2010. Disponible en http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap
- Taylor, J. R. N. 2003. In AFRIPRO Proceedings of workshop on the proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Functional Properties for Africa, (Belton PS and Taylor JRN, eds.). Pretoria, South Africa. Millets. Pages 177-217.
- Valdés, L. C. G. S., Pedroza, F. J. A, José E. C. M, Zavala, G. F, Juan V. G. 2004. Variedades e híbridos de sorgo de doble propósito vs. Híbridos de grano utilizados en sistemas de sorgo-ganado en Nuevo León. Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México, Septiembre del 2004.
- Williams, A. H., Montes, G. N, Pecina, Q. V. 2006. Sorgo pp. 32-54. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.). Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 3. Libro Técnico No. 1. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.
- Zhao, Z. Y. 2006. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Methods Mol. Biol. 2006; 343: 233-244.

CAPÍTULO IV: LÍNEAS DE SORGO TOLERANTES A SEQUÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS DEL NORESTE DE MÉXICO

IV.1. INTRODUCCIÓN

En México la región agrícola más importante por su extensión y que cada año es afectada por la escasa precipitación pluvial, se ubica en la región norte, donde predomina el clima árido y semiárido (INEGI, 2003). El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es una especie de origen tropical relevante en el sector agropecuario de México, durante el año agrícola 2009 en la región semiárida del Noreste de México, se sembraron 481,923 hectáreas bajo condiciones de temporal o seco (SAGARPA, 2009).

El cultivo del sorgo presenta adaptabilidad a un rango variado de ambientes y métodos de cultivo, así como estabilidad de rendimiento, aún bajo condiciones adversas como la sequía que es una condición ambiental transitoria y extrema a la que frecuentemente se ven sometidas las plantas y en donde estas, han desarrollado múltiples mecanismos de defensa contra la desecación. El déficit hídrico puede restringir el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de temporal, ya que ocasiona una reducción en la tasa de crecimiento de la planta a través de la inhibición de la división y diferenciación celular. En sí, las deficiencias hídricas afectan cada aspecto del desarrollo, afectando el crecimiento, la diferenciación modificando la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica de la planta en una magnitud dependiente del grado y duración del déficit, así como del estado de desarrollo de la planta (Hsiao y Acevedo, 1974).

Por lo anterior, la sequía reduce la producción potencial de las cosechas que no se diseñan idealmente para maximizar la producción bajo condiciones de limitación periódica del agua (Mullet, 2008). La planta de sorgo es más susceptible a la sequía en las etapas de formación de la panícula (Manjarrez, 1986) y en la etapa de llenado

de grano (Fisher y Turner, 1978) en la primera etapa, se afecta el número de granos que es el principal componente del rendimiento y en la segunda el tamaño de los mismos.

Actualmente en gran parte del país, debido al calentamiento global, se ha observado que las precipitaciones tienden a ser escasas y por consiguiente, bajo las condiciones semiáridas del Noreste de México, esta condición se presentará más frecuentemente como un factor limitante en la producción del cultivo de sorgo para grano, por lo cual el objetivo del presente trabajo es fundamental, dado que aborda la formación mediante selección de nuevas líneas de sorgo que presenten tolerancia al estrés hídrico asociada a un aceptable nivel de rendimiento de grano. Además, estos genotipos podrían ser liberados como nuevas variedades o como líneas progenitoras de nuevos híbridos con tolerancia a estrés hídrico para de esta manera contribuir a la sostenibilidad de los agroecosistemas del Noreste de México, en donde las siembras de temporal frecuentemente enfrentan esta condición.

IV.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron cinco experimentos del cultivo de sorgo que en total incluyeron 77 líneas F_6 seleccionadas de F_2 a F_6 bajo el método genealógico y solo con la aplicación del riego de presiembra, los cinco experimentos se distribuyeron con 15 líneas en los experimentos 1 al 4 y 17 en el experimento 5, bajo un diseño de bloques completos al azar en tres repeticiones con 18, 21, 20, 20 y 23 tratamientos para los experimentos del 1 al 5 que incluyeron las líneas progenitoras y el híbrido Genex 953 como testigo.

Las parcelas se establecieron en un surco de 5 m x 0.8 m, la siembra se realizó durante el ciclo Otoño-Invierno el día 30 de Abril del 2009 en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía UANL en Marín, N.L.

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete de cómputo de diseños experimentales FAUANL, versión 2.5 (Olivares, 1994).

Durante el establecimiento del cultivo de sorgo únicamente se aplicó el riego de presembrado y no se aplicó ningún otro riego posterior, a las tres semanas después de la siembra se presentó una llovizna de no más de 5 mm, posteriormente no se presentó ninguna precipitación. En la etapa de floración se autofecundaron las plantas más precoces, respecto al híbrido comercial Genex 953 sembrado como bordo y como testigo, por lo que se esperaba que algunos tratamientos (familias F_6) pudieran ser descartadas por ser más tardías que el híbrido ó de pobre valor fenotípico para rendimiento de grano.

Las plantas autofecundadas cosechadas individualmente en cada unidad experimental se ordenaron en sus tres repeticiones por tratamientos y se procedió a seleccionar dentro de cada tratamiento ó familia F_6 la ó las panículas que fenotípicamente se autofecundaron y se cosecharon por ser fenotípicamente superiores al híbrido testigo Genex 953.

Las plantas seleccionadas y autofecundadas se desgranaron individualmente para avanzarlas a F_7 procediendo a continuar el desarrollo de su genealogía. Las panículas no seleccionadas dentro de cada unidad experimental se desgranaron para obtener el rendimiento promedio por planta por parcela, siendo esta variable la que se analizó estadísticamente, incluyendo el rendimiento de grano en las plantas seleccionadas en cada línea, después de la eliminación de tratamientos, porque no se cosechó grano, debido al extremo estrés hídrico, solo se cosecharon las líneas que prosperaron para considerar un menor número de tratamientos, los cuales se destinaron al análisis estadístico de cada experimento.

El rendimiento promedio por planta obtenido con las plantas remanentes después de la selección, dentro de cada línea se utilizó para estimar el potencial de rendimiento de las plantas de las familias F₆ que se seleccionaron y que dentro de ellas se autofecundaron plantas para generar la siguiente generación F₇ y de esta manera formar nuevas líneas F₇ con posibilidad de tolerar esta condición con un rendimiento de grano aceptable.

IV.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se observa que en los cinco experimentos evaluados para rendimiento de grano promedio por planta, solo en los experimentos 3 y 4 se detectaron diferencias significativas, no así en los experimentos 1, 2 y 5, donde no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza en cinco experimentos de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano en la FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I 2009.

Experimento	C.M.	F	P>F	C.V. %	Número de selecciones
1	246.09	1.927	0.061 NS	24.97	5
2	173.21	0.964	0.506 NS	25.77	6
3	333.88	3.277	0.001 *	30.26	14
4	226.93	2.661	0.008 *	31.23	11
5	192.53	1.987	0.053 NS	25.70	27
					Total= 63

C.V. = Coeficiente de Variación. *; Significativo al nivel de ($P \leq 0.05$).

La no diferencia significativa entre tratamientos no necesariamente se puede explicar por un coeficiente de variación bajo, ya que en los experimentos 1, 2 y 5 el valor fue del 25 al 26%. En los experimentos 3 y 4 se detectó diferencia significativa entre tratamientos, los coeficientes de variación presentaron valores del 30 y 31% respectivamente, por lo tanto, se puede considerar que las no diferencias estadísticas pudieron deberse al alto grado de parentesco entre las líneas evaluadas

dentro de cada experimento o debido a las condiciones de baja humedad edáfica presentes durante el desarrollo del cultivo.

Cabe mencionar que debido a las condiciones extremas de estrés hídrico, el testigo en los experimentos 2 y 5 no produjo grano, lo que se puede explicar de acuerdo a lo citado por Mullet (2008), donde menciona que la sequía reduce la producción potencial de una cosecha, específicamente de variedades de una variedad que no se han seleccionado y diseñado para asegurar la producción bajo condiciones de estrés hídrico, de esta manera se puede asumir que el híbrido testigo, bajo condiciones limitantes de humedad, no puede expresar su potencial de rendimiento de grano e incluso no produjo grano, lo que se podría esperar, tal como lo reportan (Hsiao y Acevedo, 1974; Manjarrez, 1986; Fisher y Turner, 1978), por otro lado, si las condiciones de humedad hubieran sido favorables, probablemente el testigo, hubiera expresado su máximo potencial de rendimiento en comparación con las líneas utilizadas. También, debido a las condiciones de estrés hídrico, no todas las líneas F_6 de los experimentos fueron cosechadas, ya que se realizó selección individual para formar las nuevas líneas F_7 .

Considerando los cinco experimentos, se observa que en el experimento 1, el testigo sí produjo grano, en tanto que 14 líneas de 15 evaluadas del experimento uno, 11 líneas de 15 del experimento 2 y 14 de las 17 líneas del experimento 5 prosperaron en tales condiciones de estrés hídrico, superando biológicamente al híbrido Genex 953 el cual se utilizó como testigo por ser el más sembrado en la región.

Las plantas bajo estrés pueden desarrollar mecanismos de defensa para tolerar la desecación, por lo tanto, es muy probable que esto haya ocurrido en las líneas seleccionadas de F_2 a F_6 bajo condiciones de humedad limitada en el suelo y que permitieron cosechar semilla para obtener líneas F_7 , en tanto que el híbrido comercial, al no sobrevivir en algunos experimentos a esta condición, se puede considerar que carece de tales mecanismos de tolerancia a estrés hídrico y que en

las plantas seleccionadas para formar nuevas líneas F₇, tales mecanismos pueden estar presentes.

En el Cuadro 2 correspondiente al experimento 1, se presentan las líneas que arrojaron selecciones individuales y se observa que los máximos rendimientos numéricos arrojaron familias con rendimientos promedios por planta de 33.9 a 58.7 gramos correspondientes a cinco familias F₆ de las cuales se obtuvieron cinco selecciones individuales.

Cuadro 2. Experimento 1. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I 2009.

Tratamiento	Genealogía	Rendimiento de grano promedio g.	No. de Selecciones
11*	WM3845-4-6(24)-4-1⊗	58.7	1
8	WM3845-4-6(24)-1-1⊗	48.8	1
4	WM3845-3-3-12-1⊗	43.1	1
6	WM3845-4-3-3(13)-5-3⊗	35.7	1
1	WM3845-3-3-4-1⊗	33.8	1
			Subtotal = 5

* Solo se presenta la genealogía de las familias F₆ que dieron selecciones a F₇.

En el Cuadro 3 correspondiente al experimento dos, se cosecharon seis líneas, de las cuales cada una arrojó una selección individual con un rango de 44.4 a 63.5 gramos por planta para un total de 6 selecciones individuales en este experimento.

Cuadro 3. Experimento 2. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I 2009.

Tratamiento	Genealogía	Rendimiento de grano promedio g.	No. de Selecciones
10	1829x10351-2-1-3-1⊗	63.5	1
11	1829x10351-2-3-6-1⊗	53.6	1
9	1829x10351-1-1-1-2pl	50.7	1
1	WM3845-4-6(24)-6-1⊗	48.2	1
12	1829x10351-1-2-4-1⊗	44.4	1
			Subtotal = 6

* Solo se presenta la genealogía de las familias F₆ que dieron selecciones a F₇.

En el Cuadro 4 se presentan 10 líneas cosechadas con un rendimiento por planta de 17.1 a 43.3 gramos, las diez familias arrojaron respectivamente 14 selecciones individuales para avance generacional a F₇.

Cuadro 4. Experimento 3. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I, 2009.

Tratamiento	Genealogía	Rendimiento de grano promedio g.	No. de Selecciones
8	398x151-5-1-2-1	43.3 ab	1
15	398x151-7-3-2-2⊗	40.8 abc	1
13	398x151-7-2-5-1⊗	37.5 bcd	1
10	398x151-5-3-6-1⊗	36.2 bcd	4
1	398x10351-1-2-5-⊗	33.5 bcde	2
4	398x150-3-4-5-2⊗	31.2 bcdeg	1
2	398x150-3-4-3-1⊗	26.5 cdeg	1
12	398x151-7-2-3-1⊗	24.5 cdeg	1
3	398x150-3-4-4-10⊗	18.7 eg	1
6	398x150-4-2-6-1⊗	17.1 g	1
		DMS (0.05) = 16.7	Subtotal = 14

* Solo se presenta la genealogía de las familias F₆ que dieron selecciones a F₇.

En el Cuadro 5 correspondiente al experimento 4, se muestran los resultados promedio del rendimiento de grano de las ocho líneas que fueron seleccionadas con rendimientos promedios por planta de 25.0 a 43.5 gramos, en donde se observa que las familias 14 y 4 arrojaron 2 y 3 selecciones respectivamente, el resto de las líneas solo una selección individual para un total de 11 selecciones individuales a F₇.

Cuadro 5. Experimento 4. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I, 2009.

Tratamiento	Genealogía	Rendimiento de grano promedio g.	No. de Selecciones
14	1823x153-8-11-2-1⊗	43.5 a	2
12	398x151-7-3-11-1⊗	41.8 ab	1
10	398x151-7-6-3-1⊗	37.3 abcd	1
15	1823x153-8-12-4-⊗	34.5 abcd	1
8	398x151-7-5-11-2⊗	33.3 abcd	1
1	398x151-7-3-5-1⊗	32.0 abcd	1
4	398x151-7-5-4-1⊗	27.5 bcd	3
3	398x151-7-5-1-1⊗	25.0 cd	1
		DMS (0.05) = 15.3	Subtotal = 11

* Solo se presenta la genealogía de las familias F₆ que dieron selecciones a F₇.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del experimento 5 con rendimientos promedios de las familias F₆ de 27.4 a 50.6 gramos por planta, el número de selecciones a F₇ que aportó cada familia fue variable con un total de 27 selecciones individuales para su avance generacional a F₇.

Cuadro 6. Experimento 5. Rendimiento de grano promedio en (g) por planta de líneas experimentales F₆ de sorgo para grano. FAUANL, Marín, N. L. Ciclo O-I, 2009.

Tratamiento	Genealogía	Rendimiento de grano promedio g.	No. de Selecciones
3	1823x154-4-5-3-1⊗	50.6	1
2	1823x154-1-6-6-1pl	50.1	1
1	1823x154-1-6-4-2pl	44.1	1
11	1829x151-5-3(11)-6-1pl	43.8	5
6	1823x154-4-5-5-1pl	42.0	2
8	1823x154-4-5-6-2⊗	39.1	3
5	1823x154-4-5-5-1⊗	36.6	2
7	1823x154-4-5-5-2pl	35.6	4
4	1823x154-4-5-4-2⊗	34.6	1
9	1829x151-5-7-4-1⊗	32.1	2
12	1829x151-5-4(12)-3-1pl	31.1	2
13	1829x151-5-4(12)-3-1⊗	29.4	1
10	1829x151-5-7-4-2⊗	27.4	2
			Subtotal = 27
			Total = 63

* Solo se presenta la genealogía de las familias F₆ que dieron selecciones a F₇.

Considerando los resultados de los cuadros anteriores, se aprecia que hubo familias, que aún bajo condiciones de estrés hídrico extremo presentaron un buen potencial fenotípico de rendimiento, el cual permitió que se realizaran selecciones individuales dentro de las familias F₆ para avanzar nuevas familias a F₇ para un total de 63. Se puede considerar que estas 63 selecciones a F₇, poseen mecanismos de tolerancia a la condición de estrés antes mencionada, ya que no se afectó la formación de la panícula, como lo ha señalado Manjarrez (1986), ni se disminuyó el llenado del grano como lo reportan Fisher y Turner (1978), además considerando los rendimientos de grano de las plantas seleccionadas es posible coincidir con lo señalado por Belum *et al.*, (2009) en el sentido de mejorar la tolerancia al estrés hídrico sin reducir drásticamente el rendimiento de grano, el cual fue aceptable bajo esta condición de estrés hídrico.

Bajo la consideración de que en los 5 experimentos el híbrido comercial Genex 953, no rindió en lo absoluto ó su rendimiento fue sumamente bajo en las condiciones de estrés hídrico que se presentan y que bajo las mismas condiciones, 41 familias fueron seleccionadas por su rendimiento de un total de 77 familias sembradas, es de esperarse que dentro de las 63 selecciones individuales realizadas en las 41 familias que se avanzaran a F₇ puedan surgir nuevas líneas de sorgo con tolerancia a estrés hídrico, como lo han demostrado las familias F₆ de las cuales provienen, se espera que estas 63 nuevas líneas F₇ sean útiles para la producción de grano bajo condiciones limitantes de humedad del suelo en localidades del Noreste de México.

IV.4. CONCLUSIONES

Se seleccionaron por producción de grano bajo condiciones de estrés hídrico, 41 familias F₆ de un total de 77 familias evaluadas, equivalente a un 53% de presión de selección.

El híbrido comercial evaluado redujo drásticamente su rendimiento e incluso no produjo grano.

Se espera que dentro del grupo de las plantas seleccionadas y autofecundadas de las 41 familias F₆, al llevarlas a F₇ puedan constituir nuevas líneas F₇ de sorgo con tolerancia a estrés hídrico y con un rendimiento de grano aceptable bajo esta condición.

IV.5. LITERATURA CITADA

- Belum, V. S. Redy, S. Ramesh, S. Reddy, and A. A. Kumar. 2009. Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum. International Crops Research Institute for the Semi-Arid-Tropics. ICRISAT. Patancheru 502 324. Andra Pradesh. India. In Plant Breeding Reviews.
- Fisher, R. A., and N.C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiologic.* 29:277-317.
- Hsiao, T. C., and E. Acevedo. 1974. Plant response to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol*, 14:59-84.
- INEGI (Información estadística. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2003. México, D.F. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>
- Manjarrez S. P. 1986. Respuesta de dos sorgos tolerantes al frío y a deficiencias hídricas en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México. 73 p.
- Mullet, J. E. 2008. Traits and Genes for Plant Drought Tolerance. IN: *Biotechnology in Agriculture and Forestry, Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement*, Vol. 63, pp. 55-64. Springer Verlag (Alan L. Kriz, Brian A. Larkins (eds.).
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marín, N.L. México.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Resumen nacional del cultivo de sorgo.

CAPÍTULO V: RENDIMIENTO DE GRANO EN GENOTIPOS DE SORGO BAJO RIEGO Y PUNTA DE RIEGO CICLO OTOÑO-INVIERNO 2011 MARÍN, N.L.

V.1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cereal de cultivo que está fuertemente adaptado a los ambientes limitados de humedad, con altas temperaturas y se puede cultivar en suelos pobres (Elkin *et al.*, 1996), por lo que es cultivado en regiones áridas y semi-áridas (Doggett, 1965). Es uno de los cultivos con mayor resistencia a sequia y no obstante, dicho estrés cuando ocurre en la etapa reproductiva y durante el llenado de grano reduce la producción del cultivo a nivel mundial (Rosenow *et al.*, 1997), el cual es muy común en diferentes regiones del mundo (Chapman *et al.*, 2000).

En México se siembran anualmente alrededor de dos millones de hectáreas de sorgo para grano (SIAP, 2011), prácticamente toda esta superficie se cultiva con híbridos y las siembras con variedades de polinización libre no son significativas, no obstante, la principal ventaja de una variedad de sorgo es que la multiplicación de semilla la puede realizar el mismo agricultor y por lo tanto se reduce el costo en la producción de semilla, haciendo este insumo más accesible a los productores.

El Noreste de México es la principal región productora de sorgo del país, en donde las siembras son de temporal y riego, predominando las siembras bajo temporal o secano, siendo la baja y errática precipitación un factor limitante en la producción de grano de sorgo. Ante esta problemática, se plantea el presente estudio con el objetivo de evaluar en el ciclo Otoño-Invierno, 2011 en la localidad de Marín, N.L., el comportamiento del rendimiento de grano por planta bajo la condición de riego y riego limitado de líneas B, R e híbridos comerciales de sorgo para grano, con el objetivo de determinar, si algunas líneas B ó R tienen potencial de rendimiento de grano bajo condiciones de riego y estrés hídrico, de tal forma que pudieran utilizarse como variedades que puedan competir con los híbridos comerciales en cualquiera de las dos condiciones.

V.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía en Marín, N.L., el cual consistió en dos ensayos con líneas B, R e híbridos comerciales de sorgo para grano bajo condiciones de riego y punta de riego. El ensayo 1 bajo riego, con las líneas: 90538R, 90520R 10351R, 10475R, LES150R, LES151R, LES154R, LES162R, 2921B, 1823B, 1829B, 1831B, LESWLB y como testigo el híbrido comercial P-84G11, para un total de 14 tratamientos. El ensayo 2, se estableció bajo punta de riego con las líneas: 90538R, 90520R, 10351R, 10475R, LES150R, LES151R, LES154R, LES162R, 2921B, 1823B, 1829B, 1831B, TXARGB, LESWLB y los híbridos P-84G11, P-83G19, P-82G63 y W-917-E, para un total de 18 tratamientos.

Los ensayos se establecieron en el ciclo Otoño-Invierno, 2011. La fecha de siembra fue el día 23 de Febrero del 2011. Las parcelas experimentales fueron de 1 surco de 5 m x 0.80 m, con calles de 1.0. Los ensayos en campo se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis estadístico de los datos se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar y en donde se detectó diferencia significativa se utilizó la comparación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) ($P \leq 0.05$) con el paquete de diseños experimentales (Olivares, 1994).

V.2.1 Rendimiento de grano en gramos por planta

Para la estimación de esta variable, después de realizarse el trillado de las panículas cosechadas en cada parcela experimental, se registró el peso total, el cual se dividió entre el número de panojas cosechadas, para obtener el rendimiento promedio de grano en gramos por planta en cada parcela experimental.

V.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.3.1. Ensayo 1. Riego. Rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de grano en gramos por planta bajo condiciones de riego.

Cuadro 1. ANVA para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 1. Riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	13	2708.2	208.3	2.49	0.014 *
Bloques	3	313.1	104.3	1.25	0.304 NS
Error	39	3253.2	83.4		
Total	55	6274.6			

C.V = 30.7 %

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias para el rendimiento de grano bajo condiciones de riego.

Cuadro 2. Comparación de medias para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 1. Riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Rendimiento g/planta	
1	90538R	46.5 a	A
11	1829B	36.4 ab	B
2	90520R	33.8 ab	B
14	P-84G11	32.9 b	-
7	LES154R	32.4 bc	B
10	1823B	31.2 bc	B
3	10351R	30.7 bc	B
6	LES151R	29.2 bcd	B
4	10475R	27.7 bcd	B
13	LESWLB	26.8 bcd	B
5	LES150R	26.5 bcd	B
9	2921B	24.3 bcd	B
12	1831B	19.5 cd	B
8	LES162R	17.2 d	C

DMS = 13.08
DMS superior = 32.9 + 13.08 = 46.05
DMS inferior = 32.9 - 13.08 = 19.8

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

En el Cuadro 1 se observa que el análisis de varianza detectó diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se procedió a comparar las medias de los tratamientos para el rendimiento de grano en gramos por planta, esta comparación se presenta en el Cuadro 2.

En el Cuadro 2 se observa que la línea 90538R presentó estadísticamente el mayor rendimiento de grano por planta bajo condiciones de riego con 46.5 gramos, superando al híbrido testigo P-84G11, solo la línea LES162 R fue la que estadísticamente rindió menos que el resto de los tratamientos, en tanto que las 11 líneas restantes rindieron estadísticamente igual que el híbrido.

En estudios previos, también se reportan algunas líneas de sorgo que presentan un rendimiento de grano igual ó mayor en comparación con híbridos de sorgo, lo que indica que 90538 R es una línea que puede competir respecto al híbrido comercial testigo, además que once líneas lo igualaron, por lo que estas líneas potencialmente pueden promoverse para siembras comerciales, bajo riego a un menor costo de semilla con un rendimiento de grano superior ó similar al de los híbridos comerciales.

V.3.2. Ensayo 2. Punta de riego. Rendimiento de grano en gramos por planta

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de grano.

Cuadro 3. ANVA para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 2. Punta de riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. Campo FAUANL, Marín, N. L.

FV	GL	SC	CM	Fc	P>F
Tratamientos	17	1785.0	105.0	3.07	0.001
Bloques	3	1622.2	540.7	15.8	0.000
Error	51	1744.2	34.2		
Total	71	5151.5			
C.V = 21.3 %					

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza de 18 tratamientos para el rendimiento de grano por planta en donde se detectó diferencia entre tratamientos.

En el Cuadro 4 se presentan los promedios del rendimiento de grano bajo condiciones de punta de riego.

Cuadro 4. Comparación de medias para rendimiento de grano de sorgo en gramos por planta. Ensayo 2. Punta de riego. Ciclo Otoño-Invierno, 2011. FAUANL, Marín, N. L.

Tratamiento	Línea	Rendimiento g/planta	
4	10475R	38.4	a B
8	LES162R	34.4	ab B
1	90538R	32.3	ab B
3	10351R	32.2	ab B
2	90520R	31.6	abc B
18	W-917-E	31.2	abc -
9	2921B	29.2	bcd B
17	P-82G63	28.4	bcde B
14	LESWLB	26.8	bcde B
7	LES154R	25.8	cde B
10	1823B	25.2	cde B
5	LES150R	24.9	cde B
11	1829B	24.0	cde B
6	LES151R	22.7	de C
13	TXARGB	22.6	de C
15	P-84G11	21.5	de C
12	1831B	21.0	de C
16	P-83G19	20.5	e C

DMS = 8.3
DMS superior = 8.3 + 31.2 = 39.5
DMS inferior = 31.2 - 8.3 = 22.9

DMS= Diferencia mínima significativa a un nivel de significancia de ($P \leq 0.05$), medias con la misma letra en columna son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior estadísticamente al testigo.

En el Cuadro 4 se observa que el híbrido testigo W-917-E fue el de mayor rendimiento numérico respecto a los otros tres híbridos que participaron como testigos, por lo que las líneas se compararon respecto a este híbrido de mayor rendimiento, en donde se aprecia que cinco líneas rindieron menos estadísticamente que W-917-E y 12 líneas lo igualaron en rendimiento de grano por planta.

Lo anterior, indica que estas líneas tienen potencial para ser sembradas bajo condiciones de baja humedad ó en punta de riego, esto con las ventajas de que el costo de la semilla sería más bajo y el rendimiento no se vería reducido respecto a un híbrido con la ventaja de producir semilla para siembra de un ciclo a otro.

V.4. CONCLUSIONES

La línea 90538 R y 11 líneas tienen un buen potencial de rendimiento de grano bajo la condición de riego y se pueden recomendar para su siembra bajo esta condición.

Doce líneas de sorgo pueden rendir igual que el mejor híbrido evaluado, por lo que se podrían considerar para su siembra bajo condiciones de punta de riego ó en localidades de temporal como las que prevalecen en el Noreste de México.

Las líneas 90538R, 10475R, 10351R, 90520R, LESWLB, LES154R, 1823B y 1829B fueron estadísticamente iguales al mejor testigo en riego y punta de riego, por lo que potencialmente podrían promoverse para sembrarlas en ambas condiciones, sin detrimento del rendimiento de grano y con las ventajas antes mencionadas, respecto a los híbridos.

V.5. LITERATURA CITADA

- Chapman, S. C., M. Cooper, G. L., Hammer, D. G. Butler. 2000. Genotype by environment interactions affecting grain sorghum. II Frequencies of different seasonal patterns of drought stress are related to location effects on hybrid yields. *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 209-221.
- Doggett, H. 1965. The development of cultivated Sorghum. Page 50 *in* Essays on crop plant evolution (Huchins, S.J.B., ed.). London, UK. Cambridge University Press.
- Elkin, R. G., M. B. Freed, B. R, Hamaker, Y. Zhang and C.M. Parsons. 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 44:848-853.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marín, Nuevo León. México.
- Rosenow, D. T., G. Ejeta, L. E. Clark, M. L. Gilbert, R. G. Henzell, A. K. Borrell and R. C. Muchow. 1997. Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. *Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet.* INTSORMIL., Lincoln, Nebraska. pp. 400-411.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2011. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano (en línea). Consultado Mayo, 2012. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>

CAPÍTULO VI: RENDIMIENTO DE GRANO EN LÍNEAS DE SORGO CULTIVADAS BAJO RIEGO Y RIEGO LIMITADO EN EL SUR DE TEXAS

VI.1. INTRODUCCIÓN

El sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2007). La semilla o cariósido de sorgo es una fuente importante de calorías y proteínas, ya que se utiliza en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países de Asia y África. (ICRISAT, 2009), (Gous, 1989), (Dykes *et al.*, 2005).

En África, el continente del cual el sorgo es originario es el segundo cereal más importante con una producción de 20 millones de toneladas por año (Taylor, 2003). Actualmente, se ha incrementado el interés en la utilización del grano de sorgo como fuente de energía en la elaboración de alimentos para consumo humano y animal, sustituyendo al trigo en la panificación y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos balanceados (Clará y Rooney, 2009).

En Texas durante el año 2007 se sembraron 2.75 millones de acres, equivalentes a 1,112, 885.5 hectáreas con una producción de 161.7 millones de búshels de grano correspondientes a 1,567.18 millones de toneladas; donde en las regiones del sureste de este estado contribuyeron con un 47% de la producción de Texas, bajo una precipitación de 625 a 900 mm (Regional IPM Centers, 2008). Esta región de Texas, colinda al sur con las regiones productoras de sorgo para grano del Noreste de México, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, donde en el año 2009 se sembraron 944,046 hectáreas, de las cuales el 97.7% fue en el estado de Tamaulipas, con una superficie de 922, 763 has bajo una precipitación entre 450 a 800 mm anuales, donde los rendimientos en riego y secano o temporal fueron respectivamente 4.5 y 2.2 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2009). Por lo anterior, al comparar la precipitación pluvial de estas dos regiones productoras de sorgo, se observa que en

la región Noreste de México se presenta una precipitación menor a 100 mm respecto al sur del estado de Texas, EE.UU.

La sequía reduce la producción potencial de los cultivos que no han evolucionado y que no se han seleccionado para maximizar la producción bajo condiciones limitantes de agua en el suelo (Mullet, 2008), el sorgo es un cultivo que está fuertemente adaptado a estos ambientes con baja precipitación, altas temperaturas y suelos pobres (Elkin *et al.*, 1996; Valdés y Flores, 2009), por lo cual es el cultivo que por su mayor resistencia a estas condiciones se siembra en regiones áridas y semi-áridas (Doggett, 1965), como las del Noreste de México y no obstante, cuando la sequía es severa el rendimiento de grano se reduce, lo cual ocurre con esta región y en diversas partes del mundo (Rosenow *et al.*, 1997).

En el cultivo de sorgo se han encontrado efectos positivos y negativos de la sequía sobre la producción de biomasa y el rendimiento de grano, entre los primeros, cuando la sequía ocurre durante la etapa vegetativa se presentan altos niveles de ajuste osmótico, presentándose una longitud de raíz 29% mayor que en riego (Sharp, 1994), así como una mayor producción de biomasa a la antesis y como consecuencia un rendimiento de grano 24% mayor (Ludlow y Muchow, 1990; Ludlow *et al.*, 1990; Sankarapandian *et al.*, 1993; Castro *et al.*, 2000) y entre los efectos negativos de la sequía en el rendimiento de grano de sorgo, depende del momento en que ésta ocurra (Jamieson *et al.*, 1995; Boonjung y Fukai, 1996) de su duración (Blum *et al.*, 1989) y de su severidad, así como del genotipo sembrado, (Lilley y Fukai, 1994); así, un estrés hídrico, durante la floración y el período de llenado de grano afecta negativamente el rendimiento, lo que implica que la planta de sorgo es más susceptible a la sequía en las etapas de formación de la panícula, (Manjarrez, 1986), llenado de grano (Fisher y Turner, 1978) y en trigo en el desarrollo de la semilla, donde se acelera la senescencia de las hojas (Yang *et al.*, 2000), por lo que el llenado del grano, el peso y el número se reducen, lo que repercute en un menor rendimiento.

En áreas de temporal ó seco, la sequía a menudo se presenta acompañada de altas temperaturas, en donde el rendimiento bajo de los cultivos se debe a la coincidencia de estas condiciones, durante la etapa reproductiva (White y Singh, 1991; White e Izquierdo, 1991), esto ocurrió con el sorgo en el ciclo Otoño-Invierno 2010-2011 en Tamaulipas, donde la producción se redujo en un 40% debido a esta causa (Sánchez y Partida, 2011).

El aprovechamiento del agua de lluvia para el cultivo del sorgo en ambientes limitados de precipitación, se ha dado bajo dos enfoques que no son excluyentes. El primero se utiliza en donde la humedad puede ser almacenada en el perfil del suelo, para ser utilizada por el cultivo durante la etapa vegetativa, cuando el consumo es bajo, de tal forma que posteriormente haya disponibilidad de humedad en el suelo para el periodo de llenado de grano (Hammer, 2006; Van Oosterom *et al.*, 2011), tal como ocurre en Tamaulipas, donde los agricultores que siembran sorgo bajo seco o temporal, empíricamente han desarrollado la técnica de utilizar arados de subsuelo para almacenar en el perfil del suelo el agua de las lluvias de los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y algunas de Diciembre, sembrando a fines de este mes o principios de Enero, prosperando el cultivo en algunos años de baja precipitación, solo con esta humedad edáfica, esto es posible, debido a la característica de tolerancia a la sequía en el cultivo de sorgo durante la etapa vegetativa, para después utilizar el agua del suelo en la etapa reproductiva, como lo mencionan (Rosenow y Clark, 1981; Chapman *et al.*, 2000; Hammer, 2006 y Van Oosterom *et al.*, 2011). El segundo enfoque, es contar con el mayor número posible de las características de tolerancia a la sequía, en la variedad de sorgo que se siembra bajo tales condiciones, en las cuales la disponibilidad de agua para el cultivo es mínima. Ambos enfoques no son excluyentes.

En el manejo de la sequía mediante la siembra de variedades tolerantes a esta condición, es necesario considerar que éste es un proceso complejo que involucra la expresión de diversos caracteres morfológicos y anatómicos que contribuyen a la adaptación de la planta a condiciones limitantes de humedad.

La resistencia al estrés por calor y sequía se debe a mecanismos que le permiten a la planta sobrevivir y funcionar normalmente en condiciones de calor y sequía, así como recuperarse lo suficiente para producir una cosecha. Los mecanismos que contribuyen a tal resistencia, incluyen el desarrollo en la extensión de la raíz para aumentar al máximo la captación de agua, lo que se ha probado al medir que bajo sequía, la biomasa radical llega a representar hasta un 44% de la biomasa total, la cual durante el período de recuperación de la sequía, se refleja en un alto rendimiento de grano (Castro *et al.*, 2000), otros mecanismos asociados con tolerancia a sequía, son los estomas más pequeños y en menor número, cutículas serosas, que reducen la pérdida de agua por las hojas y la tolerancia, después de la floración al estrés por calor y humedad (Poehlman, 2005).

Un mecanismo de resistencia a la sequía del sorgo es cuando la planta permanece con sus hojas verdes, después de floración, durante el llenado del grano y hasta la madurez fisiológica y comercial, lo cual se conoce como no senescencia o “stay green” (Rosenow y Clark, 1981), lo que permite en ocasiones que no se reduzca el rendimiento de grano o bien que su reducción sea menor (Belum *et al.*, 2009).

El rendimiento y su estabilidad en ambientes limitantes de humedad y altas temperaturas, tal como se ha empleado en la selección para tolerancia a sequía en frijol (White y Singh, 1991) se pueden emplear para el mejoramiento genético del sorgo, bajo la consideración de que la resistencia o tolerancia a la sequía, debiera ser expresada en términos de la habilidad de la planta para mantener bajo estrés el rendimiento de grano, así como una producción de biomasa e índices de cosecha altos (Fusell *et al.*, 1991).

Para la formación de nuevas líneas e híbridos de sorgo con tolerancia a la sequía en los programas de mejoramiento se tiene el problema de definir los criterios de selección para condiciones de resistencia a sequía, por un lado algunos autores como Ludlow y Muchow (1990), Fukai y Cooper (1995) y Turner (1997) consideran que la utilización del rendimiento de grano *per se* bajo estrés por falta de humedad como criterio principal para la selección de genotipos resistentes es inapropiado,

debido a que la resistencia o tolerancia a este factor adverso se encuentra influenciada por un gran número de caracteres fisiológicos y bioquímicos; no obstante, el rendimiento de grano bajo sequía es la última expresión práctica de la acción de múltiples mecanismos morfológicos y fisiológicos, incluyendo los asociados con la resistencia a la sequía., al respecto, Loren *et al.*, (2003) bajo la teoría evolucionaria, encontraron que el cruzamiento o hibridación produce una alta proporción de QTLs con efectos antagónicos, los cuales combinan de manera simultánea múltiples caracteres que han proveído grandes y rápidos mecanismos de transición evolucionaria que hacen posible la colonización de nichos extremos, tal como ha ocurrido con linajes de girasol derivados de la hibridación, a lo cual el sorgo no estaría exento.

En sorgo y trigo, con la comparación del rendimiento bajo riego y sequía, se ha calculado el índice de susceptibilidad a sequía, el cual se expresa para cada genotipo, como la reducción del rendimiento entre la condición de riego y sequía en relación a la media de reducción de todos los genotipos Blum *et al.*, (1991), Fischer y Maurer, (1978), lo cual resulta como un criterio útil para seleccionar nuevos genotipos con un rendimiento aceptable bajo sequía.

En México el sorgo para grano se produce con híbridos y las líneas que los forman se han seleccionado en EE.UU. bajo condiciones de humedad, menos limitantes que las de la región del Noreste de México, en consecuencia el potencial de rendimiento de los híbridos se expresa bien bajo condiciones favorables de humedad como ocurre en Texas, pero al pasar a condiciones de menor precipitación como el Noreste de México, el rendimiento de los híbridos se reduce, siendo mínima y frecuentemente no significativa, la diferencia respecto a las líneas que los forman. La semilla híbrida representa un alto costo y bajo condiciones limitantes de humedad al reducirse el rendimiento representa un costo difícil de recuperar, por lo que las líneas como variedades pueden ser una opción de producción, sin detrimento en el rendimiento de grano, tal como ocurre en otras regiones del mundo como África y la India, donde se siembran variedades no híbridas en nichos ecológicos bien definidos, siendo

además, la semilla de una variedad más económica y fácil de producir que los híbridos, pudiendo además ser cosechada y utilizada nuevamente por los agricultores en el siguiente ciclo agrícola. Por lo anterior, se ha considerado que líneas seleccionadas bajo estos ambientes limitantes, pueden no diferir en rendimiento a los híbridos comerciales, incrementando así el ingreso del agricultor. Adicionalmente, dichas líneas seleccionadas podrían utilizarse como progenitoras de nuevos híbridos de sorgo para grano.

Por lo anterior, en la Facultad de Agronomía (FAUANL) en Marín, N.L., del año 2003 al 2009, en el ciclo agrícola de Otoño-Invierno (O-I) de Febrero a Julio, aplicando solo un riego de presiembra y mínima o ausente precipitación posterior de F_2 a F_7 , se seleccionaron y autofecundaron, bajo estrés hídrico plantas que florecían y producían grano bajo esta condición, hasta formar líneas experimentales F_7 de sorgo, (Valdés y Flores, 2009) y con 40 de estas líneas se plantearon los objetivos de evaluar el rendimiento de grano por planta en el ciclo Otoño-Invierno 2011 (Marzo a Julio) en College Station y en el ciclo Primavera-Verano (Mayo a Septiembre) en Lubbock, Texas, EE.UU., bajo condiciones de riego (R) y riego limitado (RL) a partir del inicio de la floración respecto a un híbrido comercial mayormente sembrado en el Noreste de México y en Texas, respecto a las líneas que participaron como progenitores en la cruce de la cual se seleccionaron.

VI.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en las localidades de College Station y Lubbock, Texas. En College Station (Field Texas AgriLife Research Extension) en el ciclo Otoño-Invierno 2011, que se encuentra ubicado en las coordenadas 30°35'19" Norte 96°17'46" oeste a una altura de 112 metros sobre el nivel mar. El clima es subtropical templado, con verano cálido, temperatura promedio anual de 20°C y un promedio de precipitación anual de 39 pulgadas (990 mm).

En Lubbock, Texas, durante el ciclo Primavera-Verano 2011, se realizó el trabajo de investigación en Texas A&M Agricultural Research & Extension Center, que se encuentra ubicado en las coordenadas 33°33'59" Norte y 101°53'12" oeste, en esta localidad se presentan temperaturas extremas durante el verano y precipitaciones con un promedio anual de 18.69 pulgadas (475 mm).

El germoplasma utilizado fueron las 40 líneas F₇ de sorgo seleccionadas por su capacidad de producir grano bajo sequía en la FAUANL en Marín, N. L. México. Las líneas se dividieron en dos juegos de 20 líneas para integrar dos ensayos, donde se incluyeron cinco líneas progenitoras de las cruzas involucradas, de las cual se obtuvieron las líneas de cada ensayo, así como el híbrido comercial Pioneer-84G11 como testigo por ser frecuentemente sembrado en el Sur de Texas, EE.UU, Tamaulipas y Nuevo León, México, de tal forma que tanto el experimento uno como el dos contaron con un total de 26 tratamientos bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones, sembrados ambos ensayos en riego (R) y riego limitado (RL) a partir del inicio de la floración. Las unidades experimentales fueron de un surco de 5.48 m de largo por 0.76 m de ancho, se prepararon 3 gramos de semilla de sorgo para cada parcela experimental.

La siembra se realizó el día 23 de Marzo del 2011 en College Station y el 17 de Mayo en Lubbock, Texas. La cosecha del grano se realizó el día 20 de julio del 2011, para la localidad de College Station, con una maquina combinada experimental, obteniéndose el rendimiento de la parcela experimental al momento de la cosecha, el cual se dividió entre el número de plantas cosechadas para estimar el rendimiento promedio por planta. Para la localidad de Lubbock, la cosecha de las panículas de sorgo se realizó los días 14 y 17 de septiembre del 2011 en forma manual y el rendimiento por planta se estimó de la misma manera.

El análisis estadístico se realizó con el programa estadístico SPSS versión 17, para la variable rendimiento de grano por planta en el experimento uno y dos bajo R y RL, tanto en College Station como en Lubbock, Texas, bajo el diseño de bloques completos al azar con covarianza, considerando como variable independiente el

número de plantas cosechadas por parcela como covariable (x) y el rendimiento de grano por planta como variable dependiente (y). Se utilizó la DMS protegida de (Steel y Torrie, 1993), la cual requiere que antes de aplicarla en el análisis de varianza, se detecte diferencia significativa entre los tratamientos, tal DMS se utilizó bajo la modalidad de rangos (Valdés *et al.*, 1997).

VI.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Localidad de College Station, Texas

Los análisis de varianza para la variable rendimiento de grano por planta se presentan a continuación en los Cuadros 1 al 4 para los experimentos en R y RL en College Station, Texas.

Cuadro 1. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	7263.4	290.5	1.321	.245 NS
Número de Plantas	1	2090.5	2090.5	9.508	.005 **
Error	25	5496.7	219.8		
Total corregido	51	24704.2			

Cuadro 2. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	24	12958.5	539.9	2.275	.026 *
Bloque	1	113.8	113.8	.480	.496
Número de Plantas	1	13986.2	13986.2	58.939	.000 **
Error	23	5457.8	237.2		
Total corregido	49	33405.7			

Cuadro 3. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	18895.9	755.8	3.066	.004 **
Bloque	1	2631.8	2631.8	10.675	.003
Número de Plantas	1	4948.1	4948.1	20.071	.000 **
Error	24	5916.7	246.5		
Total corregido	51	40350.4			

Cuadro 4. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en College Station, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	24	22256.3	927.3	.694	.810 NS
Bloque	1	560.6	560.6	.420	.524
Número de Plantas	1	21484.8	21484.8	16.077	.001 **
Error	23	30735.8	1336.3		
Total corregido	49	90265.3			

El análisis de varianza para el experimento uno en R y RL (Cuadros 1 y 2), se observa en el Cuadro 1, que bajo riego no se detectaron diferencias significativas entre genotipos, en tanto que en el Cuadro 2, bajo RL si se detectó diferencia entre genotipos.

En el caso del experimento dos, el análisis de varianza en riego detectó diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 3), no así en RL (Cuadro 4). Los promedios de rendimiento de grano tanto del experimento uno como del experimento dos bajo riego y riego limitado en College Station y su comparación respecto al híbrido testigo por DMS de rangos para el experimento 1 y el experimento 2 en RL, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación por DMS de rangos contra el testigo (Valdés *et al.*, 1997) del rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo de los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (R L) en College Station, Texas. Ciclo Otoño-Invierno, 2011.

Líneas del experimento 1	R	Líneas del experimento 1	R L	Líneas del experimento 2	R	Líneas del experimento 2	R L
LES 10351	91.73	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	94.18 a	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	112.70 a	LES 10351	104.18
398x10351-1-1-2-5-1⊗	88.53	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	60.99 a	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	100.52 a	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	91.25
1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	74.50	LES 398 B	60.04 a	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	87.69 a	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	86.74
398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	69.16	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	58.17 a	LES 10351	86.35 a	LES 151	71.21
398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	64.29	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	54.58 a	1823 B	81.65 b	1823 B	67.73
1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	64.01	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	53.72 a	P-84G11 Testigo	76.38 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	66.72
1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	63.81	1823 B	52.41 a	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	75.94 b	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	64.81
398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	63.73	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	50.81 a	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	73.36 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	64.12
1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	63.66	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	49.77 a	LES 154	72.01 b	LES 154	63.07
1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	62.13	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	44.26 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	71.76 b	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	57.82
1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	59.42	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	43.36 b	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	71.05 b	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	49.67
P-84G11 Testigo	59.37	LES 154	42.92 b	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	70.27 b	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	49.57
1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	57.14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	41.06 b	LES 151	68.27 b	P-84G11 Testigo	48.63
1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	55.03	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	40.41 b	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	67.48 b	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	48.10
1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	54.73	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	38.86 b	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	65.86 c	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	47.29
1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	54.48	P-84G11 Testigo	37.67 b	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	64.47 c	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	44.58
LES 151	51.82	LES 151	34.39 b	1829 B	63.44 c	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	45.70
398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	50.46	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	33.51 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	61.68 c	1829 B	41.91
398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	49.77	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	28.91 b	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	60.13 c	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	38.72
LES 154	49.71	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	27.61 c	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	58.37 c	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	34.64
1823 B	48.14	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	25.67 c	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	57.48 c	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	32.04
398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	47.46	398x10351-1-1-2-5-1⊗	26.95 c	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	49.48 c	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	26.72
398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	46.33	LES 10351	22.58 c	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	41.46 c	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	25.84
398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	45.16	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	19.82 c	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	39.65 c	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	23.65
398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	44.56	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	18.54 c	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	32.36 c	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	9.42
LES 398 B	42.65			1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	24.92 c		
		DMS (0.05) = 9.9	LS = 47.57	DMS (0.05) = 10.1	LS = 86.48		
			LI = 27.77		LI = 66.28		

DMS = Diferencia mínima significativa, LS = límite superior de DMS, LI = límite inferior de DMS, a = superior al testigo, b = igual al testigo, c = inferior al testigo.

En el Cuadro 5, en el experimento 1 bajo condiciones de riego en la localidad de College Station, se observa que todas las líneas fueron estadísticamente iguales y se encontraron 11 líneas que numéricamente superaron al híbrido P-84G11, sobresaliendo tres líneas con rendimientos superiores a 70 gramos por planta.

En el experimento uno en College Station bajo RL (Cuadro 5), siete nuevas líneas y sus líneas progenitoras presentaron rendimientos en un rango de 49.7 a 94.1 gramos por planta, las cuales superaron estadísticamente al testigo, que presentó 37.6 gramos por planta. Las líneas antes mencionadas, por rendimiento de grano no son resultado de la segregación transgresiva respecto de la línea A, de la cual se originaron, pero si respecto al progenitor masculino ó R que participó en la cruce de la cual se derivaron. En el experimento uno en College Station, de las siete líneas nuevas en RL, que superaron al testigo cinco fueron numéricamente superiores a este.

Las cinco nuevas líneas F₇ ó las líneas progenitoras que superaron al testigo en RL, y que lo igualaron en riego en cuanto a rendimiento de grano en gramos por planta, potencialmente se pueden promover para utilizarse como variedades bajo estas dos condiciones.

En el Cuadro 5, en relación al experimento dos en College Station en riego, cuatro líneas, tres nuevas líneas F₇ y una progenitora presentaron rendimientos de 86.3 a 112.7 gramos por planta, superando estadísticamente al testigo P-84G11 (76.3 gramos por planta). En el mismo Cuadro, en College Station en RL, se observa que no obstante que no hubo diferencia estadística, numéricamente doce líneas, 8 líneas y 4 progenitoras, produjeron más grano que el híbrido testigo en un rango de 49.6 g hasta 102.4 g por planta, en tanto que el híbrido produjo 48.6 g por planta.

Tres líneas 1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗, 1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗ y LES 10351 que en R superaron estadísticamente al testigo, en RL fueron las tres primeras con mayor rendimiento de grano en College Station en el experimento dos. La primera línea superó a un progenitor femenino (1829 A) pero no al progenitor masculino (10351 R)

por lo que esta línea es producto de la segregación transgresiva solo sobre el progenitor femenino (1829 A). La segunda línea superó a ambos progenitores (1829 A y 151 R) que participaron en la cruce, por lo que es producto de la segregación transgresiva sobre ambos progenitores.

Estas líneas nuevas y progenitoras que en el experimento dos bajo R y RL fueron superiores ó igualaron al testigo son prospectos para promover su utilización para ambas condiciones, sin detrimento del rendimiento de grano respecto a los híbridos comerciales.

Localidad de Lubbock, Texas

A continuación se presentan los análisis de varianza del experimento 1 en R y RL (Cuadros 6 y 7) y del experimento 2 en R y RL (Cuadros 8 y 9) en Lubbock, TX.

Cuadro 6. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	2364.0	94.5	3.910	.001 **
Bloque	1	.236	.236	.010	.922
Número de Plantas	1	65.1	65.1	2.694	.114 NS
Error	24	580.3	24.1		
Total corregido	51	3017.3			

Cuadro 7. Análisis de varianza del experimento 1. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	2862.1	114.4	3.829	.001 **
Bloque	1	11.04	11.04	.369	.549
Número de Plantas	1	12.93	12.93	.433	.517 NS
Error	24	717.6	29.90		
Total corregido	51	3596.4			

Cuadro 8. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo R en Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	4783.9	191.3	1.352	.231 NS
Bloque	1	267.1	267.1	1.888	.182
Número de Plantas	1	357.3	357.3	2.525	.125 NS
Error	24	3395.9	141.4		
Total corregido	51	10761.5			

Cuadro 9. Análisis de varianza del experimento 2. Rendimiento de grano en líneas de sorgo bajo RL en Lubbock, Texas.

Fuente	GL	SC	CM	F	Significancia
Genotipos	25	3298.5	131.9	4.649	.000 **
Bloque	1	26.31	26.3	.927	.345
Número de Plantas	1	11.35	11.3	.400	.533 NS
Error	24	681.1	28.3		
Total corregido	51	4034.6			

El análisis de varianza detectó diferencia significativa entre genotipos para el experimento uno bajo R (Cuadro 6) y también en RL (Cuadro 7), para el caso del experimento dos bajo riego, no se encontraron diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 8). En el experimento dos en RL (Cuadro 9), si se detectaron diferencias significativas entre genotipos.

En el Cuadro 10 se presentan los rendimientos de grano en gramos por planta en la localidad de Lubbock, para el experimento uno y dos en R y RL.

En el experimento 1 en R (Cuadro 10), el testigo P-84G11 superó estadísticamente a todas las líneas en este ensayo, cuatro fueron inferiores y el resto iguales entre sí.

Cuadro 10. Comparación por DMS de rangos contra el testigo (Valdés *et al.*, 1997) del rendimiento de grano promedio en gramos por planta de las líneas de sorgo de los experimentos 1 y 2 bajo riego (R) y riego limitado (R L) en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.

Líneas del experimento 1	R	Líneas del experimento 1	R L	Líneas del experimento 2	R	Líneas del experimento 2	R L
P-84G11 Testigo	59.85 a	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	49.74 a	LES 10351	78.83	LES 10351	44.11 a
LES 10351	54.02 b	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	34.90 b	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	61.85	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	35.43 b
1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	46.95 c	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	31.58 b	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	61.30	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	27.75 b
1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	46.64 c	LES 10351	26.96 b	P-84G11 Testigo	57.93	P-84G11 Testigo	27.41 b
398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	45.62 c	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	26.68 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	56.78	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	24.94 b
1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	45.53 c	398x10351-1-1-2-5-1⊗	26.49 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	53.58	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	24.69 b
398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	45.44 c	P-84G11 Testigo	26.08 b	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	53.57	LES 151	23.80 b
398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	45.44 c	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	25.99 b	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	52.71	LES 154	23.61 b
LES 154	44.63 c	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	25.53 b	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	50.87	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	22.45 b
398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	44.47 c	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	24.67 b	1823 B	47.62	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	21.54 b
398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	44.10 c	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	24.30 b	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	46.90	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	21.39 b
398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	42.39 c	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	23.32 b	LES 154	46.28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	21.11 b
1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	42.33 c	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	22.97 b	LES 151	45.90	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	19.93 b
398x10351-1-1-2-5-1⊗	41.78 c	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	21.43 b	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	44.68	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	19.81 b
1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	41.51 c	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	21.24 b	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	43.31	1829 B	17.50 b
1823 B	41.42 c	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	21.13 b	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	42.98	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	17.32 b
1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	41.40 c	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	21.05 b	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	42.87	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	16.86 c
1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	39.74 c	LES 154	20.42 b	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	42.29	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	16.69 c
398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	39.17 c	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	19.51 b	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	41.53	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	16.30 c
LES 151	38.53 c	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	18.43 b	1829 B	39.82	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	15.51 c
1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	37.79 c	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	17.85 b	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	38.98	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	14.17 c
1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	37.68 c	LES 151	16.30 b	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	38.98	1823 B	13.46 c
398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	33.14 c	1823 B	14.75 c	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	38.63	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	11.14 c
1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	32.68 c	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	14.57 c	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	37.25	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	10.81 c
398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	27.40 c	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	13.50 c	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	37.19	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	8.42 c
LES 398 B	26.94 c	LES 398 B	11.89 c	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	33.62	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	6.29 c
DMS (0.05) = 10.1	LS = 69.95	DMS (0.05) = 10.1	LS = 36.18			DMS (0.05) = 10.1	LS = 37.51
	LI = 49.75		LI = 15.98				LI = 17.31

DMS = Diferencia mínima significativa, LS = límite superior de DMS, LI = límite inferior de DMS, a = superior al testigo, b= igual al testigo, c = inferior al testigo.

En el experimento uno, en RL la línea 398x151-7-5-4-1⊗-2⊗, rindió 49.7 g por planta y superó estadísticamente al testigo que presentó 26.08 g por planta, 20 líneas fueron iguales estadísticamente al testigo y cuatro inferiores.

En el experimento dos, en Lubbock (Cuadro 10), se observa que en R, no obstante de no haber diferencia estadística entre genotipos, el testigo P-84G11 rindió 57.9 g por planta y fue numéricamente superado por tres líneas LES10351, 1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗, 1829x151-5-3(12)-3-1pl-1⊗ respectivamente con 78.8, 61.8 y 61.3 g por planta. Para el caso del experimento dos bajo RL, la línea 10351 fue la de mayor rendimiento con 44.1 g por planta superando estadísticamente 14 líneas que igualaron al híbrido testigo P-84G11, el cual presentó 27.4 g por planta, 10 líneas fueron inferiores al testigo.

Considerando ambas condiciones en R y RL para la localidad de Lubbock, la línea 10351 del experimento dos, sería recomendable para ambas condiciones, así como la línea 1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗.

Los resultados anteriores de los Cuadros 5 y 10 demuestran que algunos genotipos de sorgo pueden producir rendimientos de grano aceptables, aún bajo condiciones de sequía, aunque esto depende del momento en que esta ocurra, de su duración y de su severidad como ocurre en el cultivo de cebada (Jamieson *et al.*, 1995), no obstante que el sorgo es más susceptible a la sequía en las etapas de formación de la panícula, llenado de grano y desarrollo de la semilla (Fisher y Turner, 1978).

Segregación transgresiva

Puede apreciarse que en College Station, siete nuevas líneas F₇ presentaron un rendimiento de grano mayor en RL respecto al testigo y también superaron al menos a una de las líneas progenitoras que intervinieron en la cruce, lo que indica la presencia de segregación transgresiva (Cuadro 5) y en cuanto a Lubbock (Cuadro 10), la única línea nueva del experimento uno que en RL, superó estadísticamente al testigo, también superó estadísticamente a los dos progenitores que intervinieron en

la cruce de la cual se obtuvo la F₂ donde se inició la selección bajo condiciones de estrés hídrico.

En los Cuadros 5 y 10, se puede observar que la segregación transgresiva en general estuvo presente, dado que el comportamiento de algunas líneas en R y RL, presentaron un rendimiento de grano superior estadísticamente a los progenitores que participaron en las cruces que las generaron.

En los datos de los Cuadros 5 y 10, se observa que al pasar de R a RL, se presenta una tendencia general en la reducción del rendimiento de grano, lo cual ha sido explicado, por la coincidencia de la sequía con la etapa de formación de la panícula y llenado de grano, tal como se esperaría al reducir el riego en la condición de RL en floración (Castro *et al.*, 2000; Jamieson *et al.*, 1995; Boonjung y Fukai, 1996; Manjarrez, 1986; Fisher y Turner, 1978).

Lo anterior indica, que el esquema utilizado de selección por capacidad de producción de grano bajo estrés hídrico, explotó la segregación transgresiva y permitió formar líneas F₇ con buen rendimiento de grano bajo RL, tales resultados se esperarían de acuerdo con la teoría evolutiva, tal como lo mencionan Loren *et al.*, (2003) y son coincidentes con Castro *et al.*, (2000), en el sentido de clasificar genotipos por su producción de biomasa y rendimiento de grano, como respuesta al estrés hídrico, ya que es un criterio de utilidad en el mejoramiento de la resistencia a la sequía en sorgo, coincidiendo también con Sankarapandian *et al.*, (1993), sin embargo estos resultados no favorecen la apreciación de Ludlow y Muchow (1990), Fukai y Cooper (1995) y Turner (1997).

El haber generado nuevas líneas F₇ de sorgo para grano por selección bajo estrés hídrico, Valdés y Flores (2009), las cuales durante su evaluación bajo RL presentaron buen rendimiento de grano respecto al testigo y a las líneas que participaron en las cruces de las cuales se derivaron, se podría explicar porque estas poseen mecanismos morfológicos y fisiológicos de adaptación a sequía (Sharp, 1994; Fussell *et al.*, 1991; Castro *et al.*, 2000) y en base a la teoría evolutiva

postulada por Loren *et al.*, (2003). En la selección para rendimiento de grano, pudieron agregarse mecanismos de tolerancia a la sequía en las nuevas líneas que presentaron buen rendimiento bajo esta condición (Blum *et al.*, 1991; Fischer y Maurer, 1978) estas nuevas líneas, así generadas se podrían recomendar para su siembra en la región Noreste de México, donde predominan condiciones limitantes de humedad bajo seco y también para evaluar su utilización como progenitores de híbridos de sorgo para grano bajo estas condiciones.

VI.4. CONCLUSIONES

En la localidad de College Station, se obtuvo un rendimiento de grano por planta promedio superior a la localidad de Lubbock, Texas.

En los experimentos uno y dos para ambas localidades, la condición de riego presentó un mayor rendimiento promedio por planta que en la condición de riego limitado en floración.

En ambas localidades para las líneas de sorgo cultivadas bajo riego y riego limitado, se identificaron líneas F₇ que rindieron estadísticamente más que el híbrido testigo y que las líneas que participaron en la cruce que dio origen a la F₂ de la cual se seleccionaron.

VI.5. LITERATURA CITADA

- Belum, V. S. Redy, S. Ramesh, S. Reddy and A. A. Kumar. 2009. Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum. International Crops Research Institute for the Semi-Arid-Tropics. ICRISAT. Patancheru 502 324. Andhra Pradesh. India. In Plant Breeding Reviews.
- Blum, A., J. Mayer and G. Golan. 1989. Agronomic and physiological assessments of genotypic variation for drought resistance in sorghum. Aust. J. Agric. Res. 40: 49-61.
- Blum, A., G. Golan and J. Mayer. 1991. Progress achieved by breeding open-pollinated cultivars as compared with landraces of sorghum. Crops and Soils, Vol. 117.
- Boonjun, H. and S. Fukai. 1996. Effects of soil water deficit at different growth stages on rice growth and yield under upland conditions. 2. Phenology, biomass production and yield. Field Crops Res. 48: 47-55.
- Castro, N. S., C. J. Ortiz, Mendoza, C. María del Carmen y Zavala, G. F. 2000. Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. Revista Fitotécnica Mexicana. Julio-Diciembre, Vol. 23, Núm. 02. 321-334.
- Chapman, S. C., M. Cooper, G. L., Hammer, D. G. Butler. 2000. Genotype by environment interactions affecting grain sorghum. II Frequencies of different seasonal patterns of drought stress are related to location effects on hybrid yields. Australian Journal of Agricultural Research 51: 209-221.
- Clará, V. R., Rooney, L. W. 2009. Control genético del color del grano de sorgo. CENTA- INTSORMIL. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (CENTA). San Andrés, La Libertad, El Salvador.
- Doggett, H. 1965. The development of cultivated Sorghum. Page 50 *in* Essays on crop plant evolution (Huchins, S.J.B., ed.). London, UK. Cambridge University Press.
- Dykes, L. Rooney, L. W., Waniska, R. D and Rooney, W. L. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53,6813-6818.

- Elkin, R. G., Freed, M. B., Hamaker, B. R., Y. Zhang and Parsons, C. M. 1996. Condensed tannins are only partially responsible for variations in nutrient digestibilities of sorghum grain cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 44:848-853.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2007. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production. Disponible en: <http://www.faostat.fao.org>
- Fisher, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Aus. J. of Agric. Res.* 29: 897-912.
- Fisher, R. A. and N. C. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiologic.* 29:277-317.
- Fukai, S. and M. Cooper. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physiological traits in rice. *Field Crops Res.* 40: 67-86.
- Fussell, L. K., F. R. Bidinger, and P. Bieler. 1991. Crop physiology and breeding for drought tolerance: Research and development. *Field Crop Res.* 27 (3): 183-199.
- Gous, F. 1989. Tannins and phenols in black sorghum. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas.
- Hammer, G. L. 2006. Breaking the yield barrier in sorghum. In A.K. Borrell and D.R. Jordan (eds). *Proceedings of the 5th Australian Sorghum Conference.* Gold Coast, Australia, 30 Jan-2 Feb. 2006. ISBN: 0-6464673-0-1.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) 2009. Sorghum Biodiversity at ICRISAT. Patancheru 502324 Andhra Pradesh, India.
- Jamieson, P. D., R. J. Martin, G. S. Francis, and D.R. Wilson. 1995. Drought effects on biomass production and radiation use efficiency in barley. *Field Crop Res.* 43: 77-86.
- Lilley, J. M., and S. Fukai. 1994. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. *Field Crop Res.* 37: 225-234.
- Loren H. Rieseberg, Alex Widmer, A. Michele Arntz and John M. Burke. 2003. The genetic architecture necessary for transgressive segregation is common in both natural and domesticated populations. *The Royal Society.*
- Ludlow, M. M. and R. C. Muchow, 1990. A critical evaluation of traits for improving

- crop yields in water limited environments. *Adv. Agronomy*. 43:107-120.
- Ludlow, M. M., J. M. Santamaría, and S. Fukai. 1990. Contribution of osmotic adjustment to grain yield in *Sorghum bicolor* (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. *Aust. J. Agric. Res.* 41: 67-78.
- Manjarrez, S. P. 1986. Respuesta de dos sorgos tolerantes al frío y a deficiencias hídricas en diferentes etapas fenológicas. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México. 73 p.
- Mullet, J. E. 2008. Traits and Genes for Plant Drought Tolerance. IN: *Biotechnology in Agriculture and Forestry, Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement*, Vol. 63. pp. 55-64. Springer Verlag (Alan L. Larkins (eds.)).
- Poehlman, J. M. 2005. *Mejoramiento genético de las cosechas*. 2ª. Edición. Editorial, Limusa. México, D. F.
- Regional IPM Centers. Crop Profile for Sorghum in Texas, EE.UU. 2008. Disponible en: <http://www.ipmcenters.org/cropprofiles/docs/TXsorghum>
- Rosenow, D. T and Clark, L. E. 1981. Drought tolerance in sorghum In: Loden HD, Wilkinson D. Editors. *Proceedings of the 36th annual corn and sorghum industry research conference*. Chicago, IL. 1981. p 18-30.
- Rosenow, D. T., G. Ejeta, L. E Clark, Gilbert, M. L., R. G. Henzell, A. K, Borrell and R. C, Muchow. 1997. Breeding for pre- and post-flowering drought stress resistance in sorghum. *Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet*. INTSORMIL., Lincoln, Nebraska. pp. 400-411.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. *Resumen nacional de la producción agrícola. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal*.
- Sánchez, M. y G. J. C. Partida. 2011. Es crítica la situación en Tamaulipas, donde la cosecha de sorgo cayó 40 por ciento. Periódico. *La Jornada*. Publicado el 18 de Noviembre de 2011. p. 43.
- Sankarapandian, R. D. Krishnadoss, N. Muppudathi and S. Chidambaram. 1993. Variability studies in grain sorghum for certain physiological characters under water stress conditions. *Crop Improvement* 20 (1): 45-50.

- Sharp, R. E. 1994. Physiology of root elongation at low water potentials advantage of a kinematic approach. *Plant Physiol.* 105:7.
- Steel, R. G. D. and J. Torrie. 1993. Comparaciones multiples. En *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill. Ed. Segunda edición. 622 p.
- SPSS Inc. *Statistical Package for the Social Sciences*. 2006. SPSS Inc. 17.0. Para Windows. Guía de usuario. Chicago, IL.
- Taylor, J. R. N. 2003. In *AFRIPRO Proceedings of workshop on the proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Functional Properties for Africa*, (Belton PS and Taylor JRN, eds.). Pretoria, South Africa. *Millets*. Pages 177-217.
- Turner, N. C. 1997. Further progress in crop water relations. *Adv. Agron.* 58: 293-338.
- Valdés, L. C. G. S., Flores, N. A. 2009. Formación de líneas de sorgo tolerantes a sequía para la sostenibilidad de los agroecosistemas Norestenses. *Agricultura Sostenible Vol. 6. Libro de Memoria. X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Valdés, L. C. G. S, R. I, Gómez and F. J. A. Pedroza. 1997. Practical use of heterosis in Sorghum x Sudangrass Hybrids. In: *The genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT. Book of abstracts*. p.96. August, 17-22 1997. Mexico, City. Mexico.
- Van Oosterom, E. J., A. K. Borrell, K. S. Deifel, I. J. Broad and G. L. Hammer. 2011. Plant design features that improve grain yield of sorghum under terminal drought stress. *Crop Science*.
- White, J. W and J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. *Common beans. Research for crop improvement* . C.A.B. Intl. U.K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 287-382.
- White, J. W. and S. P. Singh. 1991. Breeding for adaptation to drought. In: Schoonhoven A. V., and Voysest O. (eds). *Common beans: Research for crop improvement*. C.A.B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 501-560.
- Yang Yang, J., L. Zhang, Z. Huang, Q. Zhu and L. Wang. 2000. Remobilization of carbon reserves is improved by a controlled soil-drying during grain filling of wheat. *Crop Sci.* 40 1645-1655.

CAPÍTULO VII: CALIDAD DE SEMILLA EN SORGO CULTIVADO BAJO RIEGO Y RIEGO LIMITADO EN EL SUR DE TEXAS

VII.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existen alrededor de 7 mil millones de personas en el mundo, las cuales dependen para su alimentación principalmente de los cultivos básicos que representan la fuente principal de carbohidratos y proteínas, entre estos cultivos se encuentran el trigo, maíz, arroz, cebada, sorgo, frijol y papa. Los cereales son una fuente importante de alimento para satisfacer la demanda mundial de la población que incrementa rápidamente. Las semillas de cereales contienen altos niveles de almidón y polisacáridos (Wang *et al.*, 2012). El sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada (FAO, 2011).

La semilla o cariósipide de sorgo es una fuente importante de calorías, proteínas y vitaminas para millones de personas en África, Asia y en América Latina, donde es cultivado (Aboubacar *et al.*, 2003), es utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países (Gous, 1989; Duodu *et al.*, 2003; Dykes *et al.*, 2005; ICRISAT, 2009). En México, se utiliza el grano de sorgo como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados, destinado para el consumo animal, entre los que destacan el sector avícola, porcino y ganado vacuno, a la vez estos sectores son importantes fuentes proveedoras de alimentos para consumo humano, como son la producción de leche, huevo y carne. El Noreste de México es la región con mayor producción de sorgo del país. La superficie sembrada del cultivo de sorgo para grano en esta región durante el año agrícola 2010, fue de 932,054 hectáreas en la modalidad de riego mas temporal con un rendimiento promedio de 2.9 ton ha⁻¹ (SIAP, 2010).

Actualmente, existe un gran interés en la utilización del grano de sorgo como fuente de energía en la elaboración de alimentos para el consumo humano y animal, sustituyendo al trigo en la panificación y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos balanceados (Clará y Rooney, 2009).

La semilla de sorgo es un cariósido también llamado grano y es simplemente un ovario fecundado y maduro, está compuesto básicamente por pericarpio ó testa (cubierta exterior), endospermo (tejido de almacenamiento) y embrión. La proporción relativa de cada una de las partes del grano, varía de acuerdo al genotipo y las condiciones ambientales, bajo las cuales se produjo el grano. Bajo condiciones de estrés hídrico, habrá una mayor proporción del embrión con relación al endospermo. El pericarpio define el color de grano y por tanto, es donde se encuentran los genes que controlan el color, la capa externa ó pericarpio originado en la pared del ovario, se divide en tres tejidos histológicos: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (Earp y Rooney, 1982).

La pigmentación en el pericarpio y la testa, está principalmente relacionado a los compuestos fenólicos, la intensidad del color depende del pH. El color del pericarpio del grano de sorgo resulta de la combinación de antocianinas, así como de compuestos flavonoides (Hahn y Rooney, 1986).

La testa del sorgo puede ser pigmentada o no pigmentada y está controlada genéticamente por los genes B_1 y B_2 (Waniska y Rooney, 2000). Una testa pigmentada se presenta cuando los genes ($B_1_B_2$) son dominantes y estos sorgos contienen taninos. El gen (S) controla la cantidad de taninos y otros compuestos fenólicos presentes en el pericarpio (Gous, 1989). El color del pericarpio puede ser un indicador del tipo y niveles de flavonoides presentes. Por ejemplo, el sorgo negro contiene altos niveles de 3-Deoxyanthocyanins comparado con el sorgo de pericarpio de color rojo.

El almidón es el polisacárido más abundante en las plantas después de la celulosa, es la mayor reserva de alimento que provee energía a bajo costo en la dieta de los humanos y tiene diversas aplicaciones en la industria de alimentos. En sorgo, el almidón es el mayor componente en un 70% del grano seco y se encuentra localizado principalmente en el endospermo (Benmoussa *et al.*, 2006). En sorgo, el contenido de amilosa en el almidón es afectado por el ambiente, así como por factores genéticos (Beta y Corke, 2001).

Las variedades de sorgo son divididas en tres grupos basados en sus análisis químicos y genéticos (Rooney y Miller, 1982). Sorgos tipo I ($b_1b_1B_2$, $B_1b_2b_2$, $b_1b_1b_2b_2$) no tienen testa pigmentada y contienen bajos niveles de fenoles y no contienen taninos. Los sorgos tipos II (B_1B_2ss) y III (B_1B_2S) ambos tienen testa pigmentada y contienen taninos. Los compuestos fenólicos son divididos en tres categorías: ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Chung *et al.*, 1998).

La calidad del grano de sorgo es controlada por factores genéticos y ambientales durante la maduración del grano. Diversos estudios reportan que los genes R e Y interactúan para producir pericarpio de color rojo, amarillo y blanco (Dykes y Rooney, 2006; Rooney, 2000). Una combinación de estos genes puede producir pericarpio blanco cuando el locus Y es homocigótico recesivo (R_{yy} ó $rryy$), amarillo limón cuando el locus R es recesivo, con al menos un alelo dominante en el locus Y (rrY) ó rojo cuando ambos loci R y Y poseen un alelo dominante (R_Y) (Hahn *et al.*, 1984).

Los taninos son compuestos fenólicos que tienen la capacidad de precipitar proteínas; los compuestos que se forman entre proteínas y taninos no son desdoblados por el organismo, lo que hace que se reduzca la asimilación de las proteínas. Los taninos condensados son encontrados en sorgos de testa pigmentada, ya que presentan altos niveles de fenoles y antioxidantes (Dykes y Rooney, 2006). La detección con fluorescencia separa y cuantifica los taninos condensados de acuerdo al nivel de polimerización (Gu *et al.*, 2002).

Los niveles de taninos en sorgo son de 7.88 a 21.97 mg/g (Gu *et al.*, 2004). Los taninos enlazan a las proteínas, carbohidratos y minerales en los cuales se disminuye la digestibilidad de estos nutrientes y reduce la eficiencia de los alimentos en los rumiantes y monogástricos durante su alimentación (Dykes y Rooney 2006).

Algunos sorgos presentan sabor amargo, esto se debe a la presencia de pequeñas cantidades de taninos y de sustancias astringentes en el tegumento de la semilla de color café u oscuro. Los sorgos con testa de color blanco o claro, como en el caso del milo y kafir carecen prácticamente de taninos. Los taninos protegen el grano de sorgo en contra de insectos, aves, hongos e intemperismo (Waniska *et al.*, 1989). Las plantas que contienen altos niveles de taninos no son preferidas por las aves e insectos. Sin embargo, en humanos requieren de un sabor moderado como en el caso del chocolate oscuro ó en bebidas como el vino rojo y te (Parr y Bolwell, 2000). Las cantidades de taninos condensados en alimentos son afectados por el proceso de su naturaleza altamente reactiva, la cual puede afectar su actividad antioxidante y el valor nutricional de los alimentos (Dlamini *et al.*, 2009).

Los taninos condensados tienen alta actividad antioxidante, además estos compuestos pueden tener efectos en propiedades anti-cancerígenas, cardiovasculares, gastrointestinales y propiedades para bajar los niveles de colesterol (Dykes y Rooney, 2006). Los sorgos con taninos y el arroz negro presentan altos niveles de fenoles y actividad antioxidante, de lo contrario en cereales de testa no pigmentada como el arroz blanco y trigo se presentan niveles bajos, por tanto, los taninos condensados y cereales con testa pigmentada, así como las antocianinas incrementan los fenoles y la actividad antioxidante. Hay una alta correlación entre fenoles totales y actividad antioxidante, la cual es contribuida por los compuestos fenólicos.

Todas las plantas utilizadas para la alimentación contienen fenoles en las cuales se afecta su apariencia, sabor, olor y estabilidad oxidativa (Naczk y Shahidi, 2004).

En los cereales de grano, estos compuestos se encuentran localizados principalmente en el pericarpio y pueden ser incorporados a los productos alimenticios en panes, galletas y tortillas que incrementan los niveles de fibra en la dieta y sus propiedades nutricionales. Investigaciones recientes, han demostrado que consumir el grano completo de cereales ayuda a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, síndromes metabólicos y cáncer gastrointestinal (Jones *et al.*, 2002), (Jones, 2006).

El grano de sorgo contiene vitaminas, minerales y compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos tienen propiedades antioxidantes que ayudan a proteger al organismo en contra de enfermedades degenerativas como ataques al corazón y cáncer (Harborne y Williams, 2000). El compuesto fenólico contiene un anillo de benceno con uno o más grupos de hidroxilos, por ejemplo ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados. La mayoría de compuestos fenólicos se encuentran principalmente en frutas, vegetales, vinos y tés (Pennington, 2002). Sin embargo, algunos compuestos fenólicos de frutas y vegetales (ácidos fenólicos y flavonoides) también son reportados en cereales de grano pequeño.

Los ácidos fenólicos son derivados del ácido benzoico y se encuentran en todos los cereales. El sorgo y mijo contienen una diversa variedad de ácidos fenólicos, los cuales se encuentran localizados en la capa externa del pericarpio, testa, capa de aleurona, endospermo (Hahn *et al.*, 1984; McDonough *et al.*, 1986) y son extraídos usando solventes orgánicos (Sosulski *et al.*, 1982; Subba *et al.*, 2002).

Las antocianinas son la mayor clase de flavonoides estudiadas en sorgo, se pueden utilizar como colorante natural en alimentos y se encuentran en el pericarpio del grano. El sorgo contiene altos niveles de compuestos fenólicos, antocianinas (Gous, 1989; Awika, 2003) que pueden proveer beneficios a la salud. Alrededor de 5,000 flavonoides han sido identificados en la naturaleza (Yao *et al.*, 2004), la antocianina más común en sorgo es 3-Deoxyanthocyanins (Gous, 1989; Rooney y Awika, 2005).

Los sorgos de pericarpio negro contienen altos niveles de 3-Deoxyanthocyanins (Awika y Rooney, 2004), (Dykes *et al.*, 2005) comparado con los sorgos de color rojo. Los sorgos de pericarpio negro son genéticamente rojos, pero durante la etapa de llenado y madurez del grano, con la presencia de la luz solar, su pericarpio se torna a color negro. El genotipo Tx430 de grano negro de sorgo presenta una cantidad de 944 niveles de antocianinas y 6,695 ug/g. De acuerdo a lo antes mencionado, en relación a la composición bioquímica del grano de sorgo, se planteó el objetivo de medir la calidad del grano en genotipos de sorgo 40 líneas F₇ FAUANL, 11 líneas progenitoras y un híbrido comercial como testigos, en grano producido bajo riego y riego limitado en floración y sus posibles efectos en la calidad del grano al pasar de una condición a otra.

VII.2. MATERIALES Y MÉTODOS

VII.2.1. Germoplasma de sorgo utilizado

Se utilizó semilla de 40 líneas F₇ de sorgo para grano seleccionadas para tolerancia a sequía en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) en Marín, Nuevo León, México y como testigos las líneas que participaron como progenitores en las cruzas de las cuales se derivaron por selección las líneas F₇ de sorgo para grano y el híbrido comercial P-84G11. Estas líneas se establecieron durante el ciclo Primavera-Verano, 2011 en Texas A&M Agricultural Research & Extension Center, en la localidad de Lubbock, Texas, EE.UU.

Se establecieron dos ensayos experimentales en campo, bajo el diseño de bloques completos al azar, en el ensayo uno intervinieron 20 líneas F₇, 5 líneas progenitoras y el híbrido comercial P-84G11, para un total de 26 tratamientos y el segundo ensayo, se integró similarmente con 26 tratamientos, para un total de 52 tratamientos. Ambos ensayos se sembraron en campo bajo condiciones de riego y riego limitado en floración. La cosecha del grano se realizó los días 14 y 17 de septiembre de 2011 de forma manual en Lubbock, Texas.

Después, las panículas de cada una de estos ensayos se trasladaron para su desgrane mecanizado en el área de trabajo del Programa de Sorgo en Texas A&M University en College Station, Texas.

VII.2.2. Preparación de las muestras de grano

Para el análisis de la composición química del grano de sorgo, se utilizó una muestra de semilla de 200 gramos del grano cosechado en las unidades experimentales en los 26 tratamientos del ensayo uno y del dos en la primera repetición, para un total de 52 genotipos con semilla cosechada en riego y similarmente para riego limitado en floración. Las muestras de 200 gramos de semilla proveniente de riego y riego limitado se separaron en dos repeticiones de 100 gramos cada una, tanto en riego como riego limitado.

Se realizó el acondicionamiento del grano de sorgo que consistió en su limpieza, para eliminar las glumas e impurezas en la semilla con la máquina para limpieza de cereales Wintersteiger®. Gesell Schaft m.b.h & Co. A-4910 Ried/Austria y se obtuvo grano de sorgo con una buena calidad física, posteriormente se identificó cada una de las muestras en bolsas con 100 gramos de grano, las cuales se rotularon con un código de barras para su identificación y manejo en el laboratorio.

VII.2.3. Análisis de calidad en laboratorio

El análisis de calidad del grano se efectuó en el Laboratorio del Programa de Mejoramiento de Sorgo. Department of Soil & Crop Sciences. Texas A&M University en College Station. Para determinar la calidad del grano de sorgo, se consideraron las siguientes variables: contenido de proteínas, lípidos, almidón, fenoles totales, taninos y 3-Deoxyanthocyanins en grano de sorgo, cultivado bajo condiciones de riego y riego limitado.

El análisis de laboratorio se realizó en las muestras de grano de sorgo acondicionado, utilizando el equipo FOSS XDS Master Lab con el XDS Near-Infrared Rapid. Content Analyzer. Las muestras fueron escaneadas en dos repeticiones, utilizando el software de escaneo computarizado FOSS ISI scan (Burns, 2001).

Para el análisis estadístico de las variables se utilizó el programa estadístico SPSS versión 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL.) integrando todos los datos para cada variable, bajo un diseño completamente al azar con 52 tratamientos para la condición de riego y riego limitado, en donde las 40 líneas F₇ tuvieron dos repeticiones, las líneas progenitoras pudieron tener dos o cuatro repeticiones, según el caso de participar en los ensayos uno y dos y el híbrido testigo con dos repeticiones. Para las variables, donde se detectó diferencia significativa, se utilizó la comparación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) ($P \leq 0.05$) con el paquete de diseños experimentales (Olivares, 1994).

VII.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.3.1. Calidad de grano en sorgo cultivado bajo condiciones de riego (R) y riego limitado (RL) en Lubbock, Texas

VII.3.1.2. Análisis de varianza

Los análisis de varianza permitieron probar la hipótesis de igualdad entre tratamientos, para cada una de las seis variables evaluadas, los resultados se presentan a continuación en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Cuadros medios (CM) del análisis de varianza, valor de F, nivel de significancia y diferencia mínima significativa (DMS), en seis variables para calidad de grano de sorgo, cultivado bajo riego. Origen. Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011. Laboratorio de Texas A&M University. College Station, Texas.

Variable (mg/g)	CM Líneas	F	Significancia	(DMS) ($P \leq 0.05$)
Proteínas	1.420	134.6	0.000	0.2106
Lípidos	0.382	132.6	0.000	0.1100
Almidón	0.463	48.19	0.000	0.2008
Fenoles Totales	6.23	26.94	0.000	0.9649
Taninos	45.41	38.57	0.000	1.1489
3-Deoxyanthocyanins	97.56	52.56	0.000	2.7351

Cuadro 2. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza, valor de F, nivel de significancia y diferencia mínima significativa (DMS), en seis variables para calidad de grano de sorgo, cultivado bajo riego limitado. Origen. Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011. Laboratorio de Texas A&M University. College Station, Texas.

Variable (mg/g)	CM Líneas	F	Significancia	(DMS) ($P \leq 0.05$)
Proteínas	1.951	109.0	0.000	0.2694
Lípidos	0.540	110.2	0.000	0.1420
Almidón	1.054	61.70	0.000	0.2618
Fenoles Totales	8.427	73.91	0.000	0.6779
Taninos	60.19	50.25	0.000	2.1974
3-Deoxyanthocyanins	115.29	75.51	0.000	2.4809

En los Cuadros 1 y 2 para la condición de riego (R) y riego limitado (RL), se observa que en ambas condiciones para las seis variables evaluadas en laboratorio se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

VII.3.1.3. Comparación de los 52 tratamientos para las seis variables

Debido a que en todas las seis variables se detectó diferencia significativa entre los 52 tratamientos, para cada una de estas variables, se procedió a ordenar las medias de los 52 tratamientos de manera decreciente y se calculó para cada una, el valor de DMS (0.05) para la comparación entre tratamientos de sus medias, las cuales se presentan en el Cuadro 3 para contenido de proteínas y lípidos, en el Cuadro 4, contenido de almidón y fenoles totales, en el Cuadro 5, el contenido de taninos y 3-Deoxyanthocyanins.

VII.3.1.4. Contenido de proteínas en riego y riego limitado

Para contenido de proteínas, en el Cuadro 3 se observa que al pasar de R a RL en las líneas F₇, hay una tendencia en el incremento de proteína en el grano de 12.5 a 15.3%, esto coincide con lo mencionado por Heller and Sieglinger (1944) que durante sequía y altas temperaturas, el rendimiento de grano disminuye pero el nivel de proteína se incrementa. Por su parte, Miller *et al.* (1964) reportaron un contenido de proteína de 8.3% para grano de sorgo cultivado bajo riego y 9.5% en condiciones de

sequía. En sorgo la proteína del grano fluctúa de 9.7 a 16.3% debido a que es controlada por factores genéticos y ambientales durante la maduración del grano (Dickson *et al.*, 2012), los datos en este estudio fluctuaron de 8.5 a 12.5 mg/g en R y en RL de 10.6 a 15.3 mg/g, estos resultados son similares a los reportados, por estos últimos autores.

En las líneas F₇ si se aplica una presión de selección a los 52 genotipos del 5%, se tiene un grupo seleccionado con las diez líneas de mayor contenido de proteína y al considerar este grupo, se cuenta con tres líneas F₇ nuevas y tres líneas progenitoras que coinciden con el mayor contenido de proteína bajo la condición de R y RL.

VII.3.1.5. Contenido de lípidos en riego y riego limitado

Para contenido de lípidos en el Cuadro 3 se observa un incremento al pasar de R a RL y en las diez líneas con mayor valor promedio para lípidos, seis genotipos se encuentran como sobresalientes en R y RL, que comprende cuatro líneas nuevas F₇, una línea progenitora y el híbrido comercial que presentó el mayor contenido de lípidos 3.6 y 4.1%, bajo R y RL respectivamente, el contenido promedio de lípidos para el grano completo es de 3.6%.

VII.3.1.6. Contenido de almidón en riego y riego limitado

En el Cuadro 4 se observa para contenido de almidón el valor promedio más alto de 68.1 a 67.2% bajo R y RL respectivamente Hubbard *et al.* (1950) reportaron promedios de 83% para contenido de almidón en el endospermo, 13.4% en el embrión y 34.6 en el pericarpio del grano. En sorgo, el contenido de amilosa en el almidón es afectado por el ambiente, así como por factores genéticos (Beta and Corke, 2001).

VII.3.1.7. Contenido de fenoles totales en riego y riego limitado

En el Cuadro 4, para fenoles totales en sorgo se observa que la línea LES154 con 9.9 mg/g bajo R y la línea 1823x154-1-6-6-1pl-1⊗ con 13.6 mg/g bajo RL, presentan el mayor valor promedio para contenido de fenoles, se puede observar que la línea derivada de la cruce donde participó LES154 heredó el alto potencial de producción de fenoles totales, por lo que esta línea al presentar también un buen potencial agronómico y rendimiento de grano aceptable, bajo riego y punta de riego en estudios previos (Valdés y Flores, 2009; Flores *et al.*, 2011), puede investigarse como un progenitor potencial para producir líneas con alto contenido de fenoles totales en el grano.

El color de la planta, color de semilla, pericarpio grueso y presencia de testa pigmentada incrementa los fenoles y los niveles de actividad antioxidante. El color de semilla rojo y color de planta morada en sorgo presentan alto contenido de fenoles totales (Dykes *et al.*, 2005). En el presente estudio, la línea 1823x154-1-6-6-1pl-1⊗ presentó 13.6 mg/g bajo la condición de RL; esta línea tiene una testa de color rojo y un color de planta morada, esto coincide con los resultados reportados por Beta *et al.* (1999) que encontraron una relación positiva entre el contenido de fenoles totales en plantas de sorgo con estas características agronómicas.

VII.3.1.8. Contenido de taninos en riego y riego limitado

En el Cuadro 5, se observa para contenido de taninos que la línea LES 10351 con 4.7 mg/g presentó el menor contenido bajo la condición de R y bajo RL la línea 1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗ con 12.3 mg/g con un color de grano crema y blanco respectivamente, en estas líneas, el color del pericarpio es un indicador para la presencia de taninos en el grano de sorgo, como lo menciona Gous (1989), por tanto, en el grano de testa no pigmentada, los niveles de taninos son bajos, a su vez, se coincide con lo reportado por Waniska *et al.* (1989), donde mencionan que los sorgos con testa de color blanco o claro, como en el caso del milo y kafir carecen prácticamente de taninos.

VII.3.1.9. Contenido de 3-Deoxyanthocyanins en riego y riego limitado

Para la variable 3-Deoxyanthocyanins Cuadro 5, los valores oscilan de 25.9 a 43.6 mg/g y 43.6 a 12.4 mg/g para la condición de riego y riego limitado respectivamente, observándose que bajo condiciones de estrés hídrico, el grano de sorgo aumenta su contenido de antocianinas. La línea que presentó el mayor contenido de 3-Deoxyanthocyanins fue 398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗ con 25.9 mg/g bajo condiciones de R y bajo RL, 398x150-3-4-5-2⊗-1⊗ con 43.6 mg/g ambas líneas presentan un color de testa rojo y un color de planta morada, esto coincide como lo señalan (Beta *et al.*, 1999) que encontraron una relación positiva entre el contenido de fenoles totales y antocianinas en plantas de sorgo con estas características agronómicas. Los sorgos de testa pigmentada, como es el caso de las líneas F₇ antes mencionadas y los sorgos con pericarpio negro contienen altos niveles de 3-Deoxyanthocyanins (Awika y Rooney, 2004; Rooney y Awika, 2005; Dykes *et al.*, 2005).

VII.3.2. Selección e integración de líneas por su alta calidad en grano cosechado bajo riego y riego limitado

En el Cuadro 6, se observa que nueve líneas de las 52 (presión de selección del 17.3%), fueron seleccionadas dando prioridad a su alto contenido de proteínas en el grano, de estas ocho fueron superiores estadísticamente al testigo y una igual a este en riego y al pasar a riego limitado la línea del tratamiento 38 mantuvo su superioridad respecto al testigo, una fue inferior y el resto igual al testigo, de las ocho líneas superiores en riego, cuatro fueron nuevas líneas F₇ y cuatro fueron líneas progenitoras.

En cuanto al resto de las variables de calidad, se puede apreciar que la línea correspondiente al tratamiento 11, fue la línea que presentó la mejor composición bioquímica de los 52 genotipos de sorgo evaluados en riego y riego limitado, en semilla cosechada bajo riego y riego limitado en Lubbock, Texas.

Cuadro 3. Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T) en genotipos de sorgo para contenido de proteínas en riego (PR) y proteínas en riego limitado (PRL), contenido de lípidos en riego (LR) y contenido de lípidos en riego limitado (LRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.

T	Genotipo	PR	T	Genotipo	P RL	T	Genotipo	LR	T	Genotipo	L RL
38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	12.5	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	15.3	25	P-84G11	3.6	25	P-84G11	4.1
11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	11.9	22	LES 10351	15.0	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	3.5	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	4.0
47	1823 B	11.7	47	1823 B	13.6	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	3.5	22	LES 10351	4.0
50	LES 151	11.6	50	LES 151	13.9	51	LES 10351	3.5	50	LES 151	4.0
22	LES 10351	11.6	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	13.3	22	LES 10351	3.3	51	LES 10351	4.0
45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	10.8	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	13.0	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	3.3	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	3.7
39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	10.6	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	13.0	47	1823 B	3.3	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	3.7
13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	10.5	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	12.9	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	3.2	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	3.6
21	LES 398B	10.5	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	12.7	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	3.1	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	3.6
46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	10.5	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	12.6	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	3.1	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	3.5
43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	10.4	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	12.6	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	3.0	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	3.5
51	LES 10351	10.4	25	P-84G11	12.5	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	3.0	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	3.4
7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	10.1	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	12.5	50	LES 151	2.9	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	3.4
30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	10.0	51	LES 10351	12.4	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	2.9	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	3.4
42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	10.0	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	12.3	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	2.9	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	3.3
49	LES 154	10.0	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	12.2	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	2.9	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	3.3
31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	9.9	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	12.2	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	2.9	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	3.2
8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	9.9	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	12.2	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	2.8	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	3.2
44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	9.8	21	LES 398 B	12.1	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	2.8	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	3.2
15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	9.8	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	12.1	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	2.8	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	3.2
20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	9.8	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	12.1	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	2.7	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	3.2
33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	9.7	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	12.1	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	2.7	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	3.2
12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	9.7	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	12.1	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	2.7	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	3.1
27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	9.7	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	12.0	21	LES 398B	2.7	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	3.1
2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	9.7	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	11.9	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	2.7	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	3.1
41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	9.7	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	11.9	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	2.6	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	3.1
17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	9.7	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	11.9	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	2.6	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	3.1
25	P-84G11	9.7	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	11.8	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	2.6	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	3.1
1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	9.6	23	LES 151	11.8	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	2.6	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	3.1

Continuación Cuadro 3.

T	Genotipo	PR	T	Genotipo	P RL	T	Genotipo	LR	T	Genotipo	L RL
52	P-84G11	9.6	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	11.7	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	2.6	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	3.1
18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	9.6	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	11.6	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	2.6	47	1823 B	3.0
19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	9.5	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	11.6	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	2.6	23	LES 151	3.0
29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	9.5	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	11.5	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	2.6	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	3.0
48	1829 B	9.5	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	11.5	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	2.6	21	LES 398B	2.9
5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	9.4	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	11.5	26	1823 B	2.5	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	2.9
9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	9.4	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	11.4	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	2.5	24	LES 154	2.8
23	LES 151	9.4	49	LES 154	11.4	52	P-84G11	2.5	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	2.8
26	1823 B	9.4	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	11.3	23	LES 151	2.4	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	2.8
28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	9.4	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	11.3	24	LES 154	2.3	48	1829 B	2.8
32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	9.4	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	11.2	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	2.3	52	P-84G11	2.8
24	LES 154	9.3	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	11.2	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	2.3	49	LES 154	2.6
14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	9.3	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗1⊗	11.2	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	2.3	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	2.5
16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	9.2	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	11.2	49	LES 154	2.3	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	2.5
34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	9.1	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	11.2	48	1829 B	2.2	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	2.4
35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	9.1	52	P-84G11	11.1	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	2.2	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	2.4
10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	9.0	26	1823 B	11.1	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	2.1	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	2.4
40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	9.0	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	11.0	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	2.1	26	1823 B	2.3
6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	8.9	24	LES 154	10.9	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	2.1	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	2.2
37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	8.9	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	10.9	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	2.1	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	2.2
36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	8.8	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	10.7	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	2.0	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	2.2
3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	8.6	48	1829 B	10.7	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	1.9	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	2.2
4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	8.5	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	10.6	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	1.8	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	2.2
	DMS P≤0.05	0.21			0.26			0.11			0.14

Cuadro 4. Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T) en genotipos de sorgo para contenido de almidón en riego (AR) y almidón en riego limitado (ARL), contenido de fenoles totales en riego (FTR) y contenido de fenoles totales en riego limitado (FTRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.

T	Genotipo	A R	T	Genotipo	A RL	T	Genotipo	FT R	T	Genotipo	FT RL
25	P-84G11	68.1	26	1823 B	67.2	49	LES 154	9.9	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	13.6
26	1823 B	67.9	52	P-84G11	66.9	48	1829 B	9.8	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	12.3
3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	67.8	24	LES 154	66.7	24	LES 154	9.2	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	12.1
40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	67.8	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	66.6	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	9.2	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	12.1
24	LES 154	67.8	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	66.5	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	9.2	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	11.7
4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	67.7	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	66.4	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	9.2	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	11.4
52	P-84G11	67.7	48	1829 B	66.3	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	8.9	23	LES 151	11.3
6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	67.6	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	66.2	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	8.8	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	11.2
10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	67.6	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	66.2	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	8.6	24	LES 154	11.2
29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	67.6	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	66.2	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	8.5	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	11.2
41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	67.6	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	66.2	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	8.5	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	11.0
16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	67.5	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	66.2	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	8.4	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	10.9
19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	67.5	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗1⊗	66.1	23	LES 151	8.4	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	10.7
37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	67.4	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	66.1	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	8.2	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	10.6
34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	67.4	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	66.1	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	8.1	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗1⊗	10.5
35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	67.3	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	66.0	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	8.0	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	10.5
36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	67.3	25	P-84G11	66.0	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	8.0	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	10.4
17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	67.3	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	66.0	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	7.9	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	10.2
32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	67.3	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	66.0	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	7.9	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	10.2
44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	67.3	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	65.9	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	7.9	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	10.0
18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	67.2	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	65.8	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	7.8	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	9.9
28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	67.2	49	LES 154	65.8	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	7.8	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	9.7
48	1829 B	67.2	23	LES 151	65.7	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	7.7	49	LES 154	9.7
51	LES 10351	67.2	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	65.7	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	7.7	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	9.6
5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	67.1	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	65.6	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	7.6	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	9.6
12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	67.1	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	65.6	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	7.5	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	9.5

Continuación Cuadro 4.

T	Genotipo	A R	T	Genotipo	A RL	T	Genotipo	FT R	T	Genotipo	FT RL
14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	67.1	51	LES 10351	65.6	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	7.5	21	LES 398 B	9.5
15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	67.1	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	65.5	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	7.5	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	9.4
20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	67.1	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	65.5	47	1823 B	7.5	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	9.4
23	LES 151	67.1	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	65.5	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	7.4	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	9.3
22	LES 10351	67.0	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	65.5	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	7.4	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	9.0
11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	67.0	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	65.5	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	7.3	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	8.9
30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	67.0	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	65.5	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	7.3	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	8.8
33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	67.0	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	65.4	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	7.3	50	LES 151	8.6
1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	66.9	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	65.4	21	LES 398B	7.3	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	8.4
9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	66.9	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	65.4	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	7.2	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	8.2
31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	66.9	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	65.4	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	7.1	48	1829 B	8.2
43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	66.8	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	65.3	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	5.7	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	8.1
27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	66.8	21	LES 398 B	65.3	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	5.6	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	8.1
2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	66.8	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	65.3	52	P-84G11	5.4	47	1823 B	7.8
7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	66.7	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	65.2	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	5.3	26	1823 B	7.4
8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	66.7	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	65.1	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	5.1	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	7.3
42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	66.7	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	65.1	26	1823 B	5.0	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	7.0
45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	66.7	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	65.1	50	LES 151	4.8	51	LES 10351	6.9
46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	66.7	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	65.1	22	LES 10351	4.6	25	P-84G11	6.8
21	LES 398B	66.7	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	65.1	51	LES 10351	4.6	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	6.4
13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	66.6	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	65.0	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	4.4	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	6.4
39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	66.5	47	1823 B	65.0	25	P-84G11	4.2	22	LES 10351	5.6
49	LES 154	66.5	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	64.1	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	3.9	52	P-84G11	5.4
47	1823 B	66.1	50	LES 151	64.1	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	3.8	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	5.3
50	LES 151	66.1	22	LES 10351	63.9	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	3.5	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	5.1
38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	65.7	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	63.3	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	3.2	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	5.0
	DMS P≤0.05	0.20			0.26			0.96			0.67

Cuadro 5. Promedios y DMS $P \leq 0.05$ para comparación de 52 tratamientos (T) en genotipos de sorgo para contenido de taninos en riego (TR) y taninos en riego limitado (TRL), contenido de 3-Deoxyanthocyanins en riego (3-DR) y 3-Deoxyanthocyanins en riego limitado (3-DRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.

T	Genotipo	TR	T	Genotipo	T RL	T	Genotipo	3- DR	T	Genotipo	3-D RL
24	LES 154	25.6	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	43.3	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	25.9	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	43.6
48	1829 B	22.5	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	33.7	48	1829 B	24.2	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	42.8
49	LES 154	22.4	2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	33.1	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	21.6	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	42.5
13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	20.9	24	LES 154	33.1	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	21.3	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	39.2
23	LES 151	20.6	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	33.0	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	21.2	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	35.5
29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	20.4	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	32.2	49	LES 154	20.6	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	34.6
30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	20.4	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	31.5	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	19.8	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	34.3
31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	20.2	23	LES 151	31.2	31	1829x151-5-7-4-2⊗-2⊗	18.5	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	33.9
36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	19.8	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	30.9	5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	18.4	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	33.6
3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	19.4	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	29.8	24	LES 154	18.1	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	33.2
35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	19.3	30	1829x151-5-7-4-2⊗-1⊗	29.7	23	LES 151	15.8	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	33.0
37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	18.4	7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	29.1	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	14.6	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	31.3
1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	18.2	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	28.7	21	LES 398B	14.5	21	LES 398 B	30.5
11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	18.0	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	28.5	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	14.2	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	28.6
21	LES 398B	17.8	3	398x150-3-4-3-1⊗-1⊗	28.0	29	1829x151-5-7-4-1⊗-2⊗	14.0	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	28.4
17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	17.6	1	398x10351-1-1-2-5-1⊗	28.0	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	14.0	24	LES 154	28.2
15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	17.4	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	27.7	13	1823x154-4-5-3-1⊗-1⊗	13.6	23	LES 151	28.0
2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	17.2	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	27.3	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	12.4	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	27.4
12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	17.2	4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	26.9	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	12.0	48	1829 B	24.8
28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	17.2	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗1⊗	26.8	12	1823x154-1-6-6-1pl-1⊗	11.2	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗1⊗	24.5
8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	17.1	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	26.7	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	9.9	51	LES 10351	24.4
19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	16.9	21	LES 398 B	26.7	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	9.4	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	24.3
7	398x151-5-3-6-1⊗-3⊗	16.3	26	1823 B	25.9	8	398x151-7-5-1-1⊗-1⊗	8.7	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	24.3
6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	16.0	50	LES 151	25.7	47	1823 B	8.6	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	24.1
16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	15.9	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	25.6	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	7.6	49	LES 154	24.0
20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	15.7	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	25.5	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	7.3	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	24.0
18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	15.6	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	25.4	16	1823x154-4-5-5-1pl-2⊗	7.0	25	P-84G11	23.6

T	Genotipo	TR	T	Genotipo	T RL	T	Genotipo	3- D.R	T	Genotipo	3-D RL
9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	15.4	28	1823x154-4-5-6-2⊗-3⊗	25.4	18	1823x154-4-5-5-2pl-2⊗	6.8	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	23.2
4	398x150-3-4-5-2⊗-1⊗	15.0	49	LES 154	25.3	26	1823 B	6.8	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	23.0
10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	14.6	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	25.1	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	6.6	34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	22.4
33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	14.1	47	1823 B	24.5	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	6.2	36	1829x151-5-4-(12)-3-1pl-2⊗	22.4
5	398x151-5-3-6-1⊗-1⊗	13.9	11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	24.2	37	1829x151-5-4-(12)-3-1⊗-1⊗	5.6	35	1829x151-5-3-(12)-3-1pl-1⊗	22.3
42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	13.9	40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	24.1	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	5.6	47	1823 B	22.2
34	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-4⊗	13.6	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	24.1	51	LES 10351	5.6	20	1823x154-4-5-5-2pl-4⊗	21.7
27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	13.5	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	23.9	6	398x151-5-3-6-1⊗-2⊗	5.3	17	1823x154-4-5-5-2pl-1⊗	21.6
32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	13.4	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	23.8	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	5.1	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	21.0
14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	13.4	27	1823x154-4-5-6-2⊗-1⊗	23.6	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	4.5	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	20.4
26	1823 B	12.6	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	23.6	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	4.4	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	20.6
22	LES 10351	11.6	48	1829 B	22.9	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	4.3	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	19.2
40	1829x10351-1-1-1-2pl-1⊗	11.6	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	22.5	52	P-84G11	4.3	33	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-2⊗	19.1
38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	10.4	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	22.4	19	1823x154-4-5-5-2pl-3⊗	4.1	26	1823 B	19.0
39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	9.6	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	22.3	50	LES 151	3.9	50	LES 151	18.6
52	P-84G11	9.6	42	WM3845-4-6-24-4-1⊗-1⊗	21.4	14	1823x154-4-5-5-1⊗-1⊗	3.6	9	398x151-7-5-4-1⊗-2⊗	18.5
41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	9.4	22	LES 10351	19.1	25	P-84G11	3.2	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	18.1
47	1823 B	9.3	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	18.8	15	1823x154-4-5-5-1⊗-2⊗	3.0	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	17.9
50	LES 151	8.5	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	18.1	41	WM3845-3-3-4-1⊗-1⊗	2.7	38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗*	17.3
43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	8.4	25	P-84G11	18.0	32	1829x151-5-3-(11)-6-1pl-1⊗	2.6	52	P-84G11	17.0
45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	8.2	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	17.8	46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	1.3	10	398x151-7-5-11-2⊗-1⊗	16.6
44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	6.8	51	LES 10351	17.7	22	LES 10351	1.0	22	LES 10351	16.2
46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	6.3	52	P-84G11	17.4	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	1.0	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	15.4
25	P-84G11	6.2	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	14.8	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	.566	45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	12.8
51	LES 10351	4.7	39	1829x10351-2-1-3-1⊗-1⊗	12.3	44	WM3845-3-3-12-1⊗-1⊗	.047	43	WM3845-7-5-12-2pl-1⊗	12.4
	DMS P≤0.05	1.14			2.19			2.73			2.48

VII.3.2. Selección e integración de líneas por su alta calidad en grano cosechado bajo riego y riego limitado

Una vez interpretados los cuadros 3, 4 y 5 se integró el Cuadro 6, en donde se presentan las líneas seleccionadas por ser sobresalientes en las seis variables evaluadas en el laboratorio.

Cuadro 6. Genotipos de sorgo seleccionados por su alto contenido en la composición bioquímica. En grano de sorgo cosechado bajo riego y riego limitado, para contenido de proteínas en riego (PR), proteínas en riego limitado (PRL), lípidos en riego (LR), lípidos en riego limitado (LRL), almidón riego (AR), almidón riego limitado (ARL), fenoles totales riego (FTR), fenoles totales riego limitado (FTRL), taninos riego (TR), taninos riego limitado (TRL), contenido de 3-Deoxyanthocyanins en riego (3-DR) y 3-Deoxyanthocyanins en riego limitado (3-DRL) en mg/g en grano de sorgo cosechado en Lubbock, Texas. Ciclo Primavera-Verano, 2011.

T	Genotipo	PR	PRL	LR	LRL	AR	ARL	FTR	FTRL	TR	TRL	3-D R	3-D RL
38	1829x10351-1-2-4-1⊗-1⊗	12.5 A	15.3 A	2.8 C	3.2 C	65.7 C	63.3 C	5.7 A	9.0 A	10.4 A	22.3 A	5.1 B	17.3 C
11	1823x154-1-6-4-2pl-1⊗	11.9 A	12.3 B	3.5 B	4.0 B	67.0 C	66.6 A	8.2 A	8.1 A	18.0 A	24.2 A	21.2 A	27.4 B
45	WM3845-4-3-13-5-3⊗-1⊗	10.8 A	12.1 B	3.2 B	3.7 C	66.7 C	65.6 C	4.4 B	5.3 C	8.2 A	17.8 B	.566 B	12.8 C
46	WM3845-4-6-24-6-2⊗-1⊗	10.5 A	11.9 B	3.5 B	3.6 C	66.7 C	65.1 C	3.5 B	6.4 B	6.3 B	18.8 B	1.3 B	17.9 C
47	1823 B	11.7 A	13.6 B	3.3 B	3.0 C	66.1 C	65.0 C	7.5 A	7.8 A	9.3 A	24.5 A	8.6 A	22.2 B
49	LES 154	10.0 A	11.4 B	2.3 C	2.6 C	66.5 C	65.8 C	9.9 A	9.7 A	22.4 A	25.3 A	20.6 A	24.0 B
50	LES 151	11.6 A	13.9 B	2.9 C	4.0 B	66.1 C	64.1 C	4.8 B	8.6 A	8.5 A	25.7 A	3.9 B	18.6 C
22	10351	11.6 A	15.0 B	3.3 B	4.0 B	67.0 C	63.9 C	4.6 B	5.6 C	11.6 A	19.1 B	1.0 B	16.2 C
25	P-84G11	9.7 -	12.5 -	3.6 -	4.1 -	68.1 -	66.0 -	4.2 -	6.8 -	6.2 -	18.0 -	3.2 -	23.6 -
2	398x10351-1-2-5-1⊗-1⊗	9.7 B	12.1 C	2.8 C	3.2 C	66.8 B	65.5 C	8.1 A	12.1 A	17.2 A	33.1 A	25.9 A	42.8 A
	DMS (0.05)	0.21	0.26	0.11	0.14	0.20	0.26	0.96	0.67	1.14	2.19	2.73	2.48
	DMS superior =	9.9	12.8	3.7	4.2	68.3	66.3	5.2	7.5	7.3	20.2	6.0	26.1
	DMS inferior =	9.5	12.3	3.5	4.0	67.9	65.7	3.2	6.1	5.1	15.8	0.47	21.1

T=Tratamiento, DMS= Diferencia mínima significativa. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales. A= superior estadísticamente al testigo, B= igual estadísticamente al testigo, C= inferior al testigo. A un nivel de significancia de (P ≤0.05).

VII.4. CONCLUSIONES

El grano de las 40 líneas F₇, las 11 líneas progenitoras y el híbrido P-84G11 cosechado bajo riego y riego limitado, son diferentes en su composición bioquímica para las seis variables evaluadas.

En riego limitado, el contenido de proteína, lípidos, fenoles totales, taninos y 3-Deoxyantocianinas en el grano presentaron promedios mayores, excepto para contenido de almidón, en donde bajo condiciones de riego su contenido fue mayor.

Se identificaron líneas experimentales que bajo riego y riego limitado presentaron, una alta expresión para todas las variables, excepto para contenido de almidones.

Las líneas F₇ FAUANL nuevas que resultaron superiores en la composición bioquímica del grano, pueden utilizarse en la producción como nuevas variedades o como líneas progenitoras de nuevos híbridos experimentales de sorgo para grano, dando prioridad a la línea del tratamiento 11, 1823x154-1-6-4-2pl-1⊗.

VII.5. LITERATURA CITADA

- Aboubacar, A., Axtell J. D, L. Nduulu, B. R. Hamaker. 2003. Turbidity assay for rapid and efficient identification of high protein digestibility sorghum lines. *Cereal Chemistry*. 80(1):40-44.
- Awika, J. M. 2003. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas, 2003.
- Awika, J. M., Rooney, L. W. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 2004. 65: 1199-1221.
- Benmoussa, M., B. Suhendra, A. Aboubacar, B. R. Hamaker. 2006. Distinctive sorghum starch granule morphologies appear to improve raw digestibility. *Starch-Starke* 58. 92-99.

- Beta, T., Rooney, L. W, L. T. Marobatsanga, Taylor, J. R. N. 1999. Phenolic compounds and kernel characteristics of Zimbabwean sorghums. *J. Sci. Food Agric.* 79. 1003-1010.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Genetic and environmental variation in sorghum starch properties. *Journal Cereal Science.* 34, 261-268.
- Burns, D. A., Ciurczak, E. W. 2001. *Handbook of Near-Infrared Analysis.* 2 ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Clará, V. R., Rooney, L. W. 2009. Control genético del color del grano de sorgo. CENTA- INTSORMIL. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (CENTA). San Andrés, La Libertad, El Salvador. p.11.
- Chung, K. T., T. Y. Wong, C. I. Wei, Y. W. Huang, Y. Lin. 1998. Tannins and human health. A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 38:421-464.
- Dickson, N. U., G. Mulatu, H. Per, F. Moneim, B. Tomas. 2012. Comparative genetic diversity and nutritional quality variation among some important Southern African sorghum accessions. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Australian Journal of Crop Science.* 6(1):56-64 (2012).
- Dlamini, N. R., L. Dykes, Rooney, L. W, Waniska, R. D., Taylor, J. R. N. 2009. Condensed tannins in traditional wet-cooked and modern extrusion –cooked Sorghum porridges. *Cereal Chemistry.* Vol. 86. Issue 2. 191-196.
- Duodu, K. G., Taylor, J. R. N, Beltron, P. S, Hamaker, B. R. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal Cereal Science.* 38, 117-131.
- Dykes, L., Rooney, L. W, Waniska, R. D, Rooney, W. L. 2005. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 53,6813-6818.
- Dykes, L., Rooney, L. W. 2006. Sorghum and Millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science* 44 (2006) 236-251. Cereal Quality Laboratory. Department of Soil & Crop Sciences. Texas A&M University, College Station, Tx. 77843-2474, USA.
- Earp, C. F., Rooney, L. W. 1982. Scanning electron microscopy of the pericarp and testa of several sorghum varieties. *Food Microstructure* 1:125-134.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. FAOSTAT. ProdStat database, yearly production. Disponible en <http://www.faostat.fao.org>
- Flores, N. A., Valdés, L. C. G. S, Zavala, G. F, Olivares, S. E, Gutiérrez, D. A, Vázquez, B. M. E. 2011. Líneas de sorgo como variedades para la sostenibilidad de los Agroecosistemas del Noreste de México. XI Simposio Internacional y VI Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. San Luis Potosí, S.L.P. México. Noviembre, 2011.
- Gu, L, M. Kelm, J. F. Hammerstone, G. Beecher, D. Cunnigham, S. Vannozzi, Prior, R. L. 2002. Fractionation of polymeric procyanidins from lowbush blueberry and quantification of procyanidins in selected foods with an optimized normal-phase HPLC-MS fluorescent detection method. *J. Agric. Food. Chem.* 50:4852, 2002.
- Gu, L, M. Kelm, J. F. Hammerstone, G. Beecher, J. Holden, D. Haytowitz, S. Gebhardt, R. L. Prior. 2004. Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *J. Nutr.* 134:613, 2004.
- Gous, F. 1989. Tannins and phenols in black sorghum. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas.
- Hahn, D. H., Rooney, L. W, Earp, C.F. 1984. Tannins and phenols of sorghum. *Cereal Foods World.* 29, 776-779.
- Hahn, D. H. 1984. Phenols of sorghum and maize. The effect of genotype and alkali processing. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. College Station, Texas.
- Hahn, D.H; Rooney, L.W. 1986. Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chemistry.* 63:4-8.
- Harborne, J. B., Williams, C. A. 2000. Advances in flavonoids research since 1992. *Phytochemistry* 55: 481, 2000.
- Heller, V. G., J. B. Sieglinger. 1944. Chemical composition of Oklahoma grain sorghums. Oklahoma Experimental Station. Bull. B-274.
- Hubbard, J. E., H. H. Hall, F. R. Earle. 1950. Composition of the component parts of the sorghum kernel. *Cereal Chem.* 27, 415-420.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). 2009 Sorghum Biodiversity at ICRISAT. Patancheru 502324 Andhra Pradesh, India.

- Jones, J. M., M. Reicks, G. Fulcher, L. Marquart, J. F. Adams, G. Weaver, M. Kanter. 2002. Taking action to move forward with the message about whole grains. Pages 359-369 *In Whole-Grain Foods in Health and Disease*. L. Marquart, J. Slavin and R.G. Fulcher, eds. AACC. International, St. Paul, MN, 2002.
- Jones, J. M. 2006. Grain based foods and health. *Cereals Foods World*. 51:108, 2006.
- McDonough, C. M., Rooney, L. W; C. F. Earp. 1986. Structural characteristics of *Eleusine coracana* (finger millet) using scanning electron and fluorescence microscopy. *Food Microstructure* 5, 247-256.
- Miller, G. O., C. W. Deyoe, T. L. Walter. 1964. Variations in protein levels in Kansas sorghum grain. *Agron. J.* 56, 302-304.
- Naczki, M., Shahidi, F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr. A.* 1054: 95, 2004.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía. Marín, Nuevo León. México.
- Parr, A. J., Bolwell, G. P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *J. Sci. Food Agric.* 80:985, 2000.
- Pennington, J. A. T. 2002. Food composition databases for bioactive food components. *J. Food. Comp. A.* 15:419, 2002.
- Rooney, L. W., Miller, F. R. 1982. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. Page. 143 *in Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality*. ICRISAT. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Rooney, W. L. 2000. Genetics and cytogenetics. Pages 261-307. In: *Sorghum. Origin, history, technology and production*. First edition. CW. Smith and R.A. Frederiksen, eds. John Wiley and Sons. New York.
- Rooney, L. W., Awika, J. M. 2005. Specialty sorghums for healthful foods. In *Specialty Grains for Food and Feed*. 1 st. ed., A. E, Wood P, Eds. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN. pp 283-312.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Delegaciones. SAGARPA. Resumen Nacional de la Producción Agrícola. Cultivo de sorgo para grano bajo condiciones de riego y temporal. México, D.F.
- Sosulski, F., K. Krzysztof, L. Hogge. 1982. Free, esterified and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acid in cereal and potato flours. J. Agric. Food Chem. 30:337.
- SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). 2006. SPSS Inc. 17.0. Para Windows. Guía de usuario. Chicago, IL.
- Subba, Rao, M. V .S .S. T, G. Muralikrishna. 2002. Evaluation of the antioxidant properties of free and bound phenolic acids from native and malted finger mille (ragi, *Eleusine coracana* Indaf-15). J. Agric. Food Chem 50:889, 2002.
- Valdés, L. C. G. S., Flores, N. A. 2009. Formación de líneas de sorgo tolerantes a sequia para la sostenibilidad de los agroecosistemas Norestenses. SOMAS. Libro Agricultura Sostenible. Volumen 6. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Wang, Guifeng., Wang, Gang, Zhang, Xiaowei, Wang, Fang, Song, Rentao. 2012. Isolation of high quality RNA from cereal seed containing high levels of starch. Phytochemical Analysis. Volume: 23. Issue:2 159-163.
- Waniska, R. D., J. H. Poe, R. Bandyopadhyay. 1989. Effects of growth conditions on grain molding and phenols in sorghum caryopsis. Journal of Cereal Science. 10:217-225.
- Waniska, R. D., Rooney, L. W. 2000. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Yao, L., H. Jian, Y.M. Shi, J. Tomás-Barberán, F. A, Datta, N, Singanusong, R, Chen, S. S. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. Plant Foods Hum. Nutr. 59:113. 2004.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES

VIII.1. Conclusiones de los objetivos específicos

Para alcanzar el cumplimiento del objetivo general del trabajo, se concluyó con los objetivos particulares planteados, de la manera siguiente.

- 1.- En el ciclo Primavera-Verano 2009 se incrementaron con éxito las líneas A, B y R que permitieron la realización del presente estudio.
- 2.- Se caracterizaron en OI-2009 y PV-2010 los patrones de floración de líneas A, B y R y a la vez se definieron los splits para la siembra de los progenitores de híbridos nuevos superiores agrónomicamente, respecto a híbridos comerciales para la producción de semilla, así como de otros nuevos híbridos que potencialmente se podrían formar en los dos ciclos agrícolas de siembra en el Noreste de México.
- 3.- Se estudió el comportamiento del rendimiento de grano de líneas B y R de sorgo en condiciones de riego y punta de riego en el ciclo OI-2010 y se definieron las líneas de mayor potencial para su posible utilización como variedades en ambientes con humedad del suelo restringida y para condiciones de riego.
- 4.- Se determinó el comportamiento de nuevas líneas F₇ de sorgo seleccionadas en la FAUANL, bajo el esquema de riego y punta de riego, así como en las localidades de College Station y Lubbock, Texas en el ciclo OI-2011 y PV-2011, respectivamente en riego y riego limitado en floración, identificándose aquellas de mejor comportamiento para cada una y en ambas condiciones de humedad.
- 5.- Se determinó la calidad del grano de nuevas líneas F₇ de sorgo seleccionadas bajo el esquema de riego y punta de riego en la FAUANL, con semilla producida en ambas condiciones en el ciclo OI-2011 en Lubbock, Texas, habiendo identificado aquellas de mejor calidad de grano.

VIII.2. Conclusión del objetivo general

Para el cumplimiento del objetivo general del trabajo, se generó el conocimiento nuevo, original y necesario para:

a) utilizar el germoplasma de sorgo introducido y desarrollado en la FAUANL para la producción de semilla para siembra, haciendo énfasis en la identificación del buen comportamiento del rendimiento de grano bajo riego y condiciones de estrés hídrico, de las líneas de sorgo para grano previamente desarrolladas, las cuales se pueden utilizar potencialmente como nuevas variedades en riego y temporal y para producir semilla híbrida de sorgo para siembra resultante de cruces para generar híbridos previamente identificados como superiores y de algunos nuevos que podrían formarse.

b) un grupo de líneas nuevas F_7 desarrolladas por selección bajo punta de riego en la FAUANL, se evaluaron por su potencial de rendimiento y calidad del grano en College Station y Lubbock, Texas bajo riego y riego limitado en floración, habiendo identificado y seleccionado aquellas de mejor comportamiento para estas dos características del grano en cada condición.

c) bajo los dos ciclos agrícolas en los cuales se siembra sorgo en el Noreste de México, Otoño-Invierno y Primavera-Verano, se definieron los splits de siembra de líneas progenitoras A y R, de los híbridos que en estudios previos han sido superiores a los híbridos comerciales y de otros nuevos experimentales que potencialmente se pueden producir.

d) se realizaron observaciones puntuales del germoplasma de sorgo que son conocimiento nuevo y confirmación del ya existente, sobre el comportamiento del rendimiento de grano, su calidad y otros caracteres agronómicos bajo estrés hídrico.

Con lo anterior, se establecieron los fundamentos para realizar la selección y la producción de semilla para siembra de los nuevos y mejores genotipos, líneas como variedades e híbridos en los dos ciclos agrícolas del Noreste de México.