

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**COMPARACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE HÍBRIDOS
EXPERIMENTALES DE SORGO PARA GRANO (*Sorghum bicolor* L.
Moench.) PARA SU LIBERACIÓN A LA PRODUCCIÓN COMERCIAL**

POR:

NOÉ FLORES DURÁN

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

MARÍN, N. L. MÉXICO

MARZO DEL 2010

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**COMPARACIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE HÍBRIDOS
EXPERIMENTALES DE SORGO PARA GRANO (*Sorghum bicolor* L.
Moench.) PARA SU LIBERACIÓN A LA PRODUCCIÓN COMERCIAL**

**POR:
NOÉ FLORES DURÁN**

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

MARÍN, N. L. MÉXICO

MARZO DEL 2010

**COMPARACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS
EXPERIMENTALES DE SORGO PARA GRANO (*Sorghum bicolor* L. Moench.)
PARA SU LIBERACIÓN A LA PRODUCCIÓN COMERCIAL.**

Por:

Noé Flores Durán

**Realizado bajo la dirección del comité de tesis, ha sido
aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial
para obtener el grado de doctor en Ciencias Agrícolas**

Comité de Tesis

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

Ph. D. Francisco Zavala García
Co-Asesor

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-Asesor

Ph. D. Gilberto E. Salinas García
Co-Asesor

Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho
Co-Asesor Externo

Ph. D. Francisco Zavala García

**Subdirector de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agronomía de la
Universidad autónoma de Nuevo León**

La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos.

Alberth Einstein (1879-1955)

DEDICATORIA

A mi Esposa:

Elvia Margarita Romero Treviño, por su amor, su estímulo constante, su paciencia, su apoyo incondicional, por su vida dedicada a nuestros hijos, POR TODO GRACIAS.

A mis Hijos: Noé, Julián y Elvia Alejandrina

Que son lo más importante, valioso y motivo de mi vida.

A mis Padres:

Sra. María Elena Durán Alvear y Sr. Noé Flores de la Garza, por todo el amor y cariño que me han dado, siendo ejemplo de honestidad, dedicación y respeto a la vida.

A mis Hermanos:

María Leticia, Roberto, Héctor y sus respectivas familias por todo el apoyo y cariño que me han brindado.

A mis Tíos Paternos:

Sr. Azael, Fabián, Ismael y Prof. Pedro Flores de la Garza, por todo el cariño que me han dado, siendo ejemplo de honestidad, respeto y dedicación.

A mis Suegros:

Sra. Angélica Treviño Cantú y Sr. Julián Romero Chávez, por su respeto, cariño y comprensión.

A la memoria de mi tío Sr. Domingo Flores de la Garza (†), por su amistad, el apoyo y el amor incondicional que siempre me dio.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) y en especial al Ing. Ernesto Guajardo Maldonado, por su valioso apoyo durante el proceso del programa doctoral y la realización de ésta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo con la beca y financiamiento complementario del proyecto de investigación con el cual se realizo esta tesis.

Al personal de la Subdirección de Estudios de Postgrado y en especial al Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo (PMMFyS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), por el apoyo otorgado.

Al Instituto Tecnológico Agropecuario No. 4 (ITA No.4), hoy Instituto Tecnológico de Altamira, por permitirme lograr una superación profesional más en mi vida.

Al Sr. Héctor de Anda Berlanga, propietario de las parcelas en las que se establecieron los experimentos y reconocido productor de sorgo para grano en la zona de San Fernando, Tam.

Al Ing. José Olivares Sáenz, reconocido introductor y distribuidor de germoplasma de sorgo, maíz y otros cultivos en la zona de Díaz Ordaz, Tam. Gracias, por su valioso y desinteresado apoyo en la realización de los trabajos de campo en las parcelas de producción comercial de su propiedad.

A la Subdirección de Enlace Operativo de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) en el estado de Tamaulipas y en especial al M. V. Z. Dagoberto Rodríguez García y a su titular el Ing. Víctor A. Longoria Alanís, por su amistad y el apoyo incondicional para obtener el grado de doctor.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ciro G. S. Valdés Lozano, por la dirección de este trabajo de tesis, por brindarme su amistad, su confianza y permitirme ser su discípulo durante mi formación profesional. Y durante el desarrollo de este programa doctoral, por sus consejos, atenciones y apoyo moral para mí y mi familia.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz, por su entusiasta participación, por su colaboración y el interés mostrado en la asesoría del trabajo de tesis.

Al Dr. Francisco Zavala García, por la asesoría brindada, comentarios oportunos y sugerencias para corregir y mejorar el presente trabajo tesis.

Al Dr. Gilberto E. Salinas García, por su colaboración en la asesoría durante el desarrollo de la investigación y sus atinadas sugerencias en el trabajo tesis.

Al Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho, por su incondicional apoyo en la asesoría consejos y colaboración durante el trabajo de tesis. Gracias por su amistad.

Al M. C. Jesús A. Pedroza Flores, por su entusiasta participación con sugerencias, consejos, recomendaciones y su apoyo incondicional colaborando en los trabajos de campo con todo su personal de apoyo del PMMFyS, FAUANL. Gracias por tu amistad.

A los amigos y compañeros que convivimos durante la estancia en el postgrado: Javier de J. Cortés Bracho, José Luís Carlos Rimoldi, Mario Dena, Juan Carlos Rodríguez, Mario Madrigal, Mario Cruz, Ismael Mata, Neftalí Gómez, Manuel Huerta, Carlos Longoria, Clemente Gallegos, José Luís Woo, Javier Garza, José Butrón, Marquis Adames, Javier Castillo, Elías Treviño, Homero Morales y en especial José Hernández gracias por tu amistad compadre (†),

AGRADECIMIENTOS

Con gran aprecio a la memoria del M. C. Maurilio Martínez (†), gran maestro y entusiasta investigador y al Dr. Ignacio Gómez (†), compañero de trabajo en la DGETA, compañero de estudios de postgrado y gran amigo.

A mis compañeros de trabajo en el Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No. 12 (CBTA 12), de Tampico Tam. Por su amistad sincera y apoyo moral durante el desarrollo de la tesis: A la M. E. Ana María Vivian Mosqueda, C. Blanca E. Núñez de cazares, Prof. Gaudencio Calvillo, Lic. Juan Rodríguez, Lic. Armando Mar Sobrevilla, Lic. Juan M. Barrón y especialmente al Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No. 139, de San Fernando, Tam., y al Ing. Monserrath Rentarías Leal, por su amistad incondicional y su apoyo durante el desarrollo del trabajo de campo y escrito de tesis. Gracias compadre.

Al personal de apoyo de la subdirección de postgrado, mi más sincero y especial agradecimiento a Graciela “chelita”, Juany, Korina y a Rosy por su desinteresado apoyo en la Biblioteca de la FAUANL.

A Doña Tere y Don Arturo, por su forma tan admirable de ser, gracias por sus atenciones y su amistad.

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Noé Flores Durán

Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas con Especialidad en Mejoramiento de plantas.

Título de Tesis:

Comparación de criterios de evaluación de híbridos experimentales de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench.) para su liberación a la producción comercial.

Área de Estudio:

Ciencias Agrícolas, Mejoramiento de Plantas.

Biografía:

Nacido el 26 de junio de 1957 en la ciudad de Valle hermoso, Tamaulipas.
Hijo de María Elena Durán Alvear y Noé Flores de la Garza.

Educación:

- i) Egresado en la carrera de Ingeniero Agrónomo con especialidad en Fitotecnia de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
Enero de 1980.
- ii) Maestro en Ciencias en Producción Agrícola por la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- iii) Cursos de Capacitación en manejo de plantas ornamentales, en propagación de frutales y producción de hortalizas en el sur de Tamaulipas.

Experiencia Profesional:

Docente y Profesor investigador del Tecnológico de Altamira, Tamaulipas.

Actualmente dedicado a la capacitación de productores como directivo y promotor docente en la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XII
SUMMARY	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
II. 1. Objetivo general del mejoramiento genético de los cultivos	2
II. 2. Diseño y síntesis de nuevas variedades	3
II. 3. Liberación de nuevas variedades	5
II. 4. Consideración general	7
II. 4. 1. Antecedentes de la evaluación de germoplasma para su liberación.	7
II. 4. 2. La variación ambiental dentro de los sitios de evaluación de germoplasma y su control	8
II. 4. 2. 1. Diseños experimentales utilizados	9
II. 4. 2. 2. Alternativas de manejo de los experimentos	9
II. 4. 2. 2. 1. Ajustes por covarianza	10
II. 4. 2. 2. 2. Vecindad cercana	10
II. 5. La variación ambiental entre las localidades de evaluación de germoplasma y su estabilidad	11
II. 5. 1. Finlay y Wilkinson (1963)	11
II. 5. 2. Eberhart y Russell (1966)	12
II. 5. 3. Gabriel (1978)	14
II. 6. Recapitulación de la revisión de literatura	15

II. 7. Propuesta para determinar la estabilidad del rendimiento de nuevos genotipos y para seleccionarlos estadísticamente	20
2.2.8 Hipótesis	26
II. 8. 1. Primera hipótesis	26
II. 8 2. Segunda hipótesis	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
III.1. Híbridos experimentales de sorgo	27
III.2. Ambientes de prueba y experimentos	28
III. 3. Método de siembra	30
III. 4. Variables medidas	31
III. 5. Ajustes por covarianza	34
III. 3. 5. 1. Testigos Adyacentes	34
III. 5. 2. Vecindad Cercana	35
III. 6. Análisis de la estabilidad del rendimiento	36
III. Metodologías convencionales para medir la estabilidad del rendimiento	36
III. 6. 1. 1. Finlay y Wilkinson (1963)	37
III: 6. 1. 2. Eberhart y Russell (1966)	38
III. 6. 1. 3. Gabriel (1972)	40
III. 6. 2. Propuestas metodológicas para medir la estabilidad del rendimiento	41
III. 6. 2. 1. Estratificación genético-ambiental	42
III. 6. 2. 1. 1. Selección por regresión de híbridos experimentales en base a su rendimiento de grano respecto a los mejores testigos seleccionados en cada ambiente de prueba	42
III. 6. 2. 1. 2. Selección por regresión de híbridos experimentales en base su rendimiento de grano respecto al comportamiento del testigo adyacente sembrado por el productor en cada ambiente de prueba	43

III. 6. 2. 1. 3. Selección por regresión de híbridos experimentales en base a su rendimiento de grano respecto al comportamiento del testigo que se repite en todos los ambientes	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
IV. 1. Análisis de la estabilidad del rendimiento	44
IV. 1. 1. Metodologías convencionales para medir la estabilidad del rendimiento	44
IV. 1. 1. 1. Finlay y Wilkinson (1963) con el testigo que se repite en todos los ambientes de prueba	45
IV. 1. 1. 2. Eberhart y Russell (1966), con el testigo que se repite en todos los ambientes de prueba	50
IV. 1. 1. 3. Gabriel (1978), Método multivariado de componentes principales utilizando el modelo de efectos principales e interacción multiplicativa AMMI, con el testigo que se repite en todos los ambientes de prueba	52
IV. 1. 1. 4. Concentrado de híbridos más estables y de mayor rendimiento en cada forma tradicional de selección	61
IV. 1. 2. Propuestas de selección de híbridos estables	62
IV.1. 2. 1. Selección de híbridos experimentales por su comportamiento respecto al mejor testigo en cada ambiente de prueba	62
IV. 1. 2. 2. Comparación de híbridos experimentales respecto al testigo adyacente en los ocho ambientes de prueba	66
IV. 1. 2. 3. Comparación de híbridos experimentales respecto al testigo que se repite en los ocho ambientes de prueba	70
IV. 1. 3. Selección tradicional vs. Propuestas de selección	74
IV. 1. 3. 1. Comparación de los híbridos seleccionados como estables en la forma tradicional respecto a los seleccionados de acuerdo con las propuestas de estratificación genético ambiental	74

IV. 1. 3. 1. 1. Estabilidad por los métodos tradicionales	74
	PAGINA
IV. 1. 3. 1. 2. Estabilidad por los métodos de estratificación genético ambiental propuestos	76
IV1.3.1.3. Híbridos identificados como estables bajo las metodologías tradicionales y las tres modalidades de estratificación genético ambiental	77
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
V. 1.- Conclusiones	80
V. 2. Recomendaciones	81
VI. BIBLIOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Clasificación de Carballo (1978) de genotipos en base a los valores de los parámetros b_i y δd_i^2 propuestos por Eberhart y Russell (1966) en base a su consistencia.....	13
2. Híbridos experimentales originados de la combinación de las líneas A; 1823, 1829, 1831 y 13 líneas R.....	28
3. Concentrado de híbridos comerciales utilizados como testigos en localidades y ciclos agrícolas por año.....	29
4. Concentrado de los ambientes de prueba con en número de híbridos y diseño experimental utilizados.....	29
5. Matriz de datos de rendimiento en ton/ha de 16 híbridos de sorgo para grano con 2 repeticiones (32 hileras) en 8 ambientes (columnas) en el Noreste de México, distribuidos por Genotipo-Repeticion-Ambiente (GRA).....	46
6. Análisis de varianza (ANAVA) conjunto de genotipos y ambientes incluyendo el análisis de regresión de Finlay-Wilkinson, con distribución normal e independiente, media cero y varianza δ^2	47
7. Valores de la regresión lineal de Finlay-Wilkinson de 16 genotipos y 8 ambientes con 2 repeticiones.....	48
8. Análisis de varianza (ANAVA) conjunto de genotipos-ambientes para determinar los parámetros de estabilidad, con distribución normal e independiente, media cero y varianza δ^2	51
9. Concentrado de resultados de la estimación de los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966).....	52
10. Análisis de varianza (ANAVA) combinado para componentes principales aditivos o de las desviaciones de la media general (CPA), utilizando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Con datos de los scores de 16 genotipos de sorgo de grano (<i>Sorghum bicolor</i> , (L.) Moench) en 8 ambientes con 2 repeticiones.....	56

Cuadro**Página**

11. Valores de los rangos (score) del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). De 16 genotipos de sorgo de grano (<i>Sorghum bicolor</i> , (L.) Moench) y 8 ambientes expresados en ton/ha.....	57
12. Valores de los rangos (SCORE) CPA1(Score1) y CPA2 (Score2) del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), de 16 híbridos de sorgo para grano (<i>Sorghum bicolor</i> , (L.) Moench) con su identificación gráfica (Idt. Grafica) y las medias de rendimiento (Media Rend) en ton/ha.....	58
13. Valores de los rangos (SCORE) PCA1 y PCA2 del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). De los 8 ambientes de prueba y las medias de rendimiento expresadas en ton/ha.....	60
14. Concentrado de híbridos experimentales en las formas tradicionales de medición de la estabilidad del rendimiento de grano en toneladas por hectárea.....	61
15. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al mejor testigo (MT) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de todos los híbridos ensayados.....	63
16. Medias de rendimiento en Kg/ha de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al mejor testigo en cada ambiente.....	65
17. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al testigo adyacente (TA) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de todos los híbridos ensayados.....	67
18. Medias de rendimiento en Kg/ha de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al testigo adyacente en cada ambiente.....	69

Cuadro	Página
19. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al testigo que se repite (TR) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de todos los híbridos ensayados.....	72
20. medias de rendimiento en Kg/ha de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al testigo que se repite en todos los ambientes.....	73
21. Concentrado de híbridos experimentales clasificados por su estabilidad de acuerdo con las formas tradicionales de medición de la estabilidad del rendimiento de grano en toneladas por hectárea (T/Ha).....	75
22. Concentrado de híbridos experimentales en las formas propuestas de medición de la estabilidad del rendimiento de grano en toneladas por hectárea.....	76
23. Híbridos experimentales clasificados como estables e inestables bajo las tres metodologías tradicionales y las tres modalidades de estratificación genético ambiental.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

- FIGURA 1. Ejemplo de un croquis parcial de un experimento establecido dentro de una siembra comercial bajo una aleatorización de un diseño experimental de látice simple duplicado 7x7. 30
- FIGURA 2. “Biplot” de datos de rendimiento de 16 híbridos de sorgo en 8 ambientes y la interacción genotipo-ambiente en base a los valores de regresión (Finlay y Wilkinson, 19669 49
- FIGURA 3. Interpretación de datos de rendimiento en base a los parámetros de estabilidad b_i y δd_i^2 del análisis de regresión propuesto por Eberhart y Russell (1966). 53
- FIGURA 4. “Biplot” de datos de “escores” del análisis AMMI del CPAI (interacción genotipo-ambiente) y rendimiento de grano de 16 híbridos de sorgo y 8 ambientes (Gabriel, 1972). 57
- FIGURA 5. “Biplot” (Gabriel, 1972) de datos de “escores” del CPAI y del CPAII de 16 híbridos y 8 ambientes. 59

RESUMEN

Noé Flores Durán

Fecha de Graduación: Marzo de 2010

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del estudio: Comparación de criterios de evaluación de híbridos experimentales de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench.) para su liberación a la producción comercial.

Número de páginas: 84

**Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas
con especialidad en Mejoramiento genético**

Áreas de Estudio: Ciencias Agrícolas. Mejoramiento Genético

Propósitos y Métodos de Estudio: La estabilidad de 15 híbridos experimentales de sorgo para grano en ocho ambientes de prueba (4 localidades y 2 años) del noreste de México como ambiente de producción objetivo, se comparó mediante el rendimiento promedio de la variedad, Finlay y Wilkinson, Everhart y Russell y ASVAMMI y estos con el nuevo procedimiento propuesto de Estabilidad por Estratificación Genética Ambiental (EGA) con tres testigos: EGA1 un híbrido comercial de sorgo para grano testigo repetido en los ocho ambientes de prueba, EGA2 como testigo el híbrido comercial sembrado por el agricultor adyacentemente a cada unidad experimental en cada ambiente de prueba y EGA3 un híbrido comercial testigo seleccionado en cada ambiente de prueba por superar estadísticamente en rendimiento a otros híbridos

comerciales y al del agricultor. Los procedimientos convencionales no coincidieron en los híbridos experimentales identificados como estables. EGA1, EGA2 y EGA3 coincidieron en identificar los mismos tres híbridos experimentales como estables y son procedimientos simples que cumplen con el objetivo del fitomejorador de identificar híbridos experimentales estables que son estadísticamente superiores o iguales pero no inferiores al rendimiento de los testigos en al menos uno de los ambientes de prueba del ambiente de producción objetivo,.

Palabras clave: estabilidad convencional del rendimiento, estabilidad por estratificación genética ambiental, híbridos experimentales de sorgo,

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL:

SUMMARY

Noé Flores Durán

Date of examination: March of 2010

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Title of the Research Work: Comparación de criterios de evaluación de híbridos experimentales de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench.) para su liberación a la producción comercial.

Number of pages: 84

Candidate to the degree of: Agricultural Science Doctor, specialist in Plant Breeding.

Subjects of the Research Work: Agriculture Sciences. Plant Breeding.

Aims and Methods of the Research Work: The yield stability of 15 grain sorghum experimental hybrids at eight testing environments (4 locations and 2 years) of northeast Mexico as target environment, were compared by the cultivar average yield, Finlay y Wilkinson, Everhart y Russell and ASVAMMI and to the new proposed procedure of genetic environmental stratification stability (GES) with three types of checks: GES1 a grain sorghum commercial hybrid repeated in the eight testing environments, GES2 as check the commercial hybrid planted by the farmer beside of each experimental unit at each testing environment, GES3 a selected commercial hybrid at each testing environment that statistically out yielded other commercial hybrids and that of the farmer. The conventional procedures were not coincident in the

identification of experimental hybrids by yield stability. GES1, GES2 and GES3, identified by yield stability the same three experimental hybrids, and fulfilled the plant breeder goal of identifying stable experimental hybrids that are statistically superior or equal but not inferior to the yield of different checks in at least one testing environment.

Index words: conventional yield stability, by genetic environmental stratification stability, experimental grain sorghum hybrids.

MAIN ADVISOR SIGNATURE:

I. INTRODUCCIÓN

El sorgo se considera originario de África y Asia donde se han cultivado por más de 2,000 años, extendiéndose su cultivo a otras regiones del mundo (Poehlman, 1986), manteniendo este cultivo un crecimiento relevante a través de los años alcanzando en 1998 una producción mundial de 60.3 millones de toneladas (CEA, SAGAR, 2000).

En México, el sorgo fue introducido durante la década de los 50's, ganando rápidamente importancia económica, esto principalmente en la zona norte del Estado de Tamaulipas al ir desplazando al cultivo del algodón, convirtiéndose así en la principal fuente de materia prima para la elaboración de alimentos balanceados que son utilizados en las explotaciones intensivas de cría y engorda de ganado (Wall y William, 1975).

Durante el transcurso de las últimas décadas, el sorgo en México ha continuado presentando importantes incrementos tanto en la superficie sembrada como en los rendimientos por unidad de superficie, reportándose en 1998 una superficie sembrada de 2.299 millones de hectáreas con una producción anual de 6.575 millones de toneladas (CEA, SAGAR, 2000). El sorgo ocupa el tercer lugar de superficie sembrada en el país y esto obedece entre otras causas, a que, el sorgo para grano se cultiva en zonas que son demasiado calurosas y secas para otros cultivos como el maíz, y también por ser un cultivo que se puede manejar totalmente en forma mecanizada, permitiendo la siembra en grandes superficies.

En México, las cinco entidades federativas que en orden de importancia se han destacado por su superficie sembrada son: Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Sinaloa, las cuales logran cubrir alrededor del 57% de la demanda nacional; que al sumarse con otras zonas productoras, cubren el 67.6% del total de la demanda nacional, que es de aproximadamente 9.675 millones de toneladas anuales de las cuales se deben importar 3.1 millones de toneladas, que representan el 32.4% restante (CEA, SAGAR, 2000). Por otra parte, la superficie sembrada con este cultivo se realiza

con semillas híbridas producidas por compañías particulares extranjeras, lo que representa una importante fuga de capital y una total dependencia tecnológica.

Los nuevos híbridos que las compañías comerciales generan, para su liberación requieren su evaluación en localidades y años en los “ambientes blanco u objetivo” (target environment), con el propósito de seleccionar los mejores para las condiciones de producción de dicho ambiente.

En relación a lo anterior, el Proyecto de Mejoramiento de Maíz Frijol y Sorgo (PMMFyS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) ha desarrollado una serie de híbridos experimentales, los cuales han sido superiores respecto a los testigos comerciales utilizados al evaluarse en diversas localidades del Noreste de México considerado como ambiente objetivo, por lo que el presente estudio pretende caracterizar un grupo de híbridos experimentales por su estabilidad del rendimiento en diversas localidades del Noreste de México para seleccionar los mejores y comparar una metodología para medir la estabilidad del rendimiento que en el PMMFyS se ha utilizado, respecto a las metodologías más utilizadas para este propósito.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II. 1. Objetivo general del mejoramiento genético de los cultivos

Allard (1964) ha establecido que el mejoramiento genético, además de estudiar los métodos que pueden emplearse para la obtención de nuevas variedades y la mejora de los tipos existentes, investiga el modo de manifestarse y modificarse los caracteres de mayor interés agronómico ó industrial, en las plantas más importantes desde el punto de vista antropocéntrico.

De manera más puntual se ha establecido que el mejoramiento genético de los cultivos se fundamenta en la aplicación de los conocimientos de la genética, la fisiología vegetal, la bioquímica e ingeniería genética así como los conocimientos de disciplinas como la climatología, la fitopatología, la nutrición vegetal, la ingeniería, la estadística, etc., para desarrollar métodos de mejora mediante los cuales se puede modificar y mejorar el genotipo de las especies vegetales, con la finalidad de crear nuevas variedades de plantas, con un genotipo que ensamble genes que permitan ajustar el crecimiento a la dinámica de los factores ambientales en un ambiente de producción particular, con el fin de dar seguridad en la producción agrícola y también de obtener incrementos en el rendimiento y en la calidad de los productos agrícolas.

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 para el que fueron diseñadas (Valdés, 1998)

II. 2. Diseño y síntesis de nuevas variedades

El diseño de una nueva variedad consiste en incorporar genes que determinan las características que permitirán, una vez conjuntados, tener un genotipo cuyo crecimiento se ajustará a la variación de las condiciones propias de un ambiente de producción particular, identificándose como una nueva variedad apta para la producción en la región para la cual se diseñó. Dentro de las especies vegetales cultivadas, las variedades mejoradas son de cuatro tipos (Márquez, 1973; Valdés, 1997). 1) variedades de polinización libre, 2) variedades tipo línea pura, 3) variedades híbridas y 4) variedades clonales; estas variedades se forman a través de cuatro etapas:

a) Adquisición de la variabilidad genética exigida para el diseño de la variedad a sintetizar.

Se definen las características a conjuntar en el genotipo; deberá estar presente variabilidad genética elegida y el tipo de herencia de los genes.

b) Elección y desarrollo del o los métodos de mejora

En esta etapa se desarrolla la planeación del programa de mejoramiento genético en base al plazo establecido (corto, mediano ó largo plazo) considerando los recursos económicos y humanos disponibles; eligiendo el o los métodos de mejora más apropiados para conjuntar los genes de interés en la nueva variedad.

Desarrollando el método de mejoramiento genético hasta la obtención de genotipos experimentales o variedades experimentales, según el caso; polinización libre, líneas puras, híbridos ó clones.

Los métodos de mejoramiento genético que utilizan los fitomejoradores son:

I.-Métodos de Selección Fenotípica

I.1.- Selección (individual); Masal Antigua ó Empírica (caracteres cuantitativos)

I.2.- Selección Individual Moderna (caracteres cualitativos)

I.2.1.-Selección individual masal

I.2.2.-Selección individual de progenies

II.- Métodos de Selección Fenotípica Mejorada (ambiente uniforme)

II.1.- Selección Masal Moderna ó Estratificada (SME de Gardner)

- II.1.1.- SME con ajuste de Molina
- II.1.2.- SME con ajuste de Méndez
- II.1.3.- Método de Honey combinación de Fasuolas
- II.1.4.- SME genéticamente de Zinsley
- II.1.5.- SME para adaptación a localidades
 - II.1.5.1.- SME Rotativa
 - II.1.5.2.- SME Convergente-Divergente
- II.2.- Selección Recurrente Simple para resistencia a condiciones adversas (Enfermedades, plagas, sequía, etc.)
 - II.2.1.- SR (Aptitud Combinatoria General)
 - II.2.2.-SR (Aptitud Combinatoria Específica)
 - II.2.3.-SR (Reciproca)
- III.- Métodos de Selección Genotípica Aditiva (control del componente ambiental más pruebas de progenie)
 - III.1.- Método de Luis de Vilmorin
 - III.2.- Método de Mazorca por surco de Hopkins
 - III.3.- Método de Selección Familiar (selección entre familias)
 - III.3.1.- Selección Familiar de medios hermanos maternos
 - III.3.2.- Selección Familiar de medios hermanos paternos
 - III.3.3.- Selección Familiar de hermanos completos
 - III.3.4.- Selección Familiar de auto hermanos
 - III.4.- Selección Recurrente (ACG, ACE y Reciproca)
 - III.5.- Selección Combinada
 - III.5.1.- Selección combinada entre Familias
 - III.5.2.- Selección combinada dentro Familias

(Allard, R. W & Bradshaw, A. D., 1964; Márquez S. F., 1973)

c) Evaluación del material experimental

Preliminarmente se seleccionan por su valor fenotípico los genotipos experimentales en su última etapa de formación. Posteriormente este material experimental visualmente sobresaliente por sus características agronómicas y potencial de rendimiento se evalúa

preliminarmente en ensayos bajo diseños experimentales en parcelas con dos o tres repeticiones en la misma localidad de formación para seleccionar los mejores y dejar solo los más sobresalientes, los cuales se llevan a evaluación bajo diseño experimental, con mayor número de repeticiones midiendo el rendimiento y la calidad y 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.

II. 3. Liberación de nuevas variedades

El trabajo de evaluación del germoplasma elite preseleccionado y seleccionado en 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 incluyendo testigos como tratamientos adicionales, utilizándose diseños como los bloques completos al azar, de bloques incompletos como los látices, los experimentos en serie, para después someter los datos a los análisis de varianza correspondientes a los diseños utilizados en las pruebas (De la Loma, 1980; Steel y Torrie, 1980; Ostle, 1983), esto permitirá determinar el efecto de la interacción genotipo x ambiente (GxE) y, con un análisis específico, definir aquellos genotipos que por su comportamiento agronómico en los ensayos pueden recomendarse para liberarse como nuevas variedades, cuando los diseños experimentales antes mencionados no logran cumplir con el principio de homogeneidad ambiental dentro del bloque ó subbloque, para reducir el error experimental, disminuye la probabilidad de seleccionar las mejores variedades, ya que algunas se verían favorecidas y otras desfavorecidas por el ambiente, enmascarándose así su potencial genético real (Cochran y Cox, 1965; Steel y Torrie, 1995).

Por lo que, algunas opciones en el diseño y en la evaluación experimental permitirían mejorar la eficiencia al reducir el error ocasionado por la alta heterogeneidad del ambiente. El uso de testigos adyacentes ha sido propuesto desde 1906 por Holtsmark y Larson (citado por Le Clerg, 1966) para efectuar comparaciones visuales preliminares y por rendimiento, e identificar variedades híbridas experimentales que fenotípicamente y

potencialmente pudieran ser superiores a variedades comerciales utilizadas como testigos adyacentes repetidas, tanto en áreas favorecidas por un buen ambiente como en áreas desfavorecidas. Por otra parte, bajo diseño experimental, los datos de rendimiento que se obtienen de parcelas adyacentes testigo, han sido utilizados para analizarse por covarianza y mejorar la eficiencia del diseño experimental (Melton y Frinkner, 1967). También, dentro de este proceso Papadakis en 1939 (citado por Binns, 1987) propuso la técnica denominada vecindad cercana.

Valdés en 1987, propuso cinco etapas para la liberación final de híbridos experimentales de sorgo que comprenden: 1) La 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 ambientes diversos en al menos dos o tres años de prueba; 4) Validación y demostración en parcelas semicomerciales con productores y 5) producción de semilla y comercialización.

La etapa tres es la liberación final de nuevas variedades y de hecho evalúa la estabilidad del rendimiento de genotipos élite, con la finalidad de seleccionar genotipos específicamente adaptados a ambientes favorables ó ambientes desfavorables, lo que es un aspecto importante para definir la rentabilidad de un cultivo de acuerdo a los recursos de los productores, ya sea que se ubiquen en ambientes buenos ó malos, es por ello que el fitomejorador al estudiar el comportamiento de genotipos experimentales recurre a técnicas que le permiten identificar y clasificar estos de acuerdo a la estabilidad del rendimiento bajo la diversidad de ambientes de producción, en los cuales los genotipos se han ensayado ó evaluado con fines de su liberación.

II. 4. Consideración general

Como se mencionó anteriormente, la consideración general de este estudio es contribuir con alternativas metodológicas que permitan evaluar híbridos experimentales

de sorgo para grano de manera más práctica y eficiente que las actuales, con la finalidad de ser más exigentes al seleccionar aquel ó aquellos híbridos experimentales de sorgo para su liberación final, por lo que es importante como referencia describir las metodologías actualmente utilizadas para tal efecto.

II. 4.1. Evaluación de germoplasma para su liberación.

Como antes se mencionó en los programas de mejoramiento genético la etapa de liberación final señalada por Valdés (1997), es de gran importancia y exige contar con una herramienta de diseño y calculo estadístico que permita seleccionar genotipos específicamente adaptados a un rango de ambientes, que vaya desde los favorables hasta los ambientes desfavorables, lo cual será primordial para definir la rentabilidad de un genotipo al sembrarlo en ambientes particulares de acuerdo a los recursos ambientales y económicos de los productores. Es por ello, que el fitomejorador al estudiar el comportamiento de genotipos bajo diseños experimentales, requiere de alguna técnica que le permita identificar y clasificar éstos de acuerdo a su rendimiento en ambientes específicos blanco u objetivo ó “target environment” en ambientes de producción del cultivo.

En el mejoramiento genético de las plantas, existe interacción genotipo-ambiente cuando se detecta un comportamiento diferencial de varios genotipos cuando estos son evaluados en una serie de ambientes diferentes, definiendo como ambiente al complejo climático, edáfico y tecnológico sobre el cual actúa el genotipo (Márquez, 1992; Cruz, 1989). Se han desarrollado una serie de metodologías estadísticas para detectar la interacción genotipo-ambiente e identificar aquellos genotipos que a través de pruebas en diversos ambientes, presenten consistencia en su rendimiento, esto es, que tiendan a ser estables.

II. 4. 2. La variación ambiental dentro de los sitios de evaluación de germoplasma y su control.

El efecto de la variación ambiental dentro y entre los sitios de evaluación es medido a través de técnicas estadísticas que permiten separar la variación ambiental de la variación genética en un sitio determinado. Esto es utilizando diseños experimentales adecuados con respecto a los gradientes de variación que se puedan presentar con relación a las características de clima, suelo, y topografía, entre otras.

II. 4. 2. 1. Diseños experimentales utilizados

Para definir el diseño experimental a utilizar, es necesario elegir aquel que nos permita evaluar el número de variables que se pretendan estudiar y la precisión que se desee en los resultados, para que por medio de un análisis estadístico se obtengan las respuestas esperadas en el planteamiento de las hipótesis a probar. Entre los diseños experimentales más utilizados para la evaluación de genotipos por los fitomejoradores se encuentran: a) los de bloques al azar, b) los cuadros latinos, c) experimentos en serie y d) los látices, siendo quizá éstos últimos los de mayor aplicación y los más convenientes para los ensayos con numerosos híbridos ó variedades por ensayar.

II. 4. 2. 2. Alternativas de manejo de los experimentos

La heterogeneidad ambiental del área de siembra en las parcelas experimentales estará presente, por lo que es conveniente considerar modalidades de evaluación que faciliten la obtención confiable de la información del rendimiento de grano y otras variables de campo, tratando lo más posible que esté ausente el sesgo que la heterogeneidad ambiental podría asignar a ciertos tratamientos respecto a su propio potencial real, lo cual afectaría el desarrollo de los análisis estadísticos de los datos de las variables en estudio y ocasionar que algunos tratamientos se identificaran como malos (enmascarándose así su potencial genético real) cuando realmente son buenos y viceversa. El modelo de látices y el de diseño de bloques completos al azar, han sido utilizados encontrándose que el diseño de látices muestra en promedio una eficiencia relativa superior al diseño de bloques completos al azar (Krause *et al*, 1969).

II. 4. 2. 2. 1. Ajustes por covarianza

Los ajustes por covarianza de datos en experimentos de campo son de gran utilidad en los análisis estadísticos para; 1) reducir el error experimental, 2) ajustar medias de tratamientos de las variables en estudio, 3) ayudar en la interpretación de datos, especialmente en lo concerniente en la naturaleza de los efectos de los tratamientos, 4) al particionar una covarianza total ó suma de productos cruzados en componentes y 5) en la estimación de datos faltantes (Steel y Torrie, 1995).

En trabajos de evaluación de genotipos se ha utilizando regularmente como covariables el número de plantas por parcela, el % de humedad del suelo por parcela, rendimiento de parcelas vecinas ó de testigos intercalados, etc. Con los datos residuales de la covariable se reduce el error experimental eliminando la variación no implícitamente relacionada con las variedades en estudio (tratamientos) (Valdés, 1997).

II. 4. 2. 2. 2. Vecindad cercana

El método de análisis estadístico de vecindad cercana propuesto por Papadakis en 1939 (citado por Binns, 1987), consiste en calcular, por ejemplo para cada parcela, el promedio del rendimiento de las cuatro parcelas que la rodean (norte, sur, este, y oeste) a la parcela de un tratamiento en cada repetición, y la media general de todas estas parcelas adyacentes al tratamiento en cuestión en el total de repeticiones, para luego restar la media de las parcelas vecinas en cada repetición de esta media general. Estas desviaciones llamadas residuales o errores (E_{ij}) de cada tratamiento se utilizan como una covariable en un análisis de varianza entre los tratamientos (Olivares *et al.*, 1994). Utilizando este método de vecindad cercana en experimentos de pruebas de fertilidad en los cultivos de trigo y algodón, se pudo encontrar que los efectos entre tratamientos fueron altamente significativos y los efectos de bloques no significativos (Bhatti *et al.*, 1991); asimismo, en trabajos de pruebas de dosis de fertilizantes en los cultivos de maíz y soya, se evaluaron las bondades de la técnica de vecindad cercana utilizando el método Papadakis, el cual redujo grandemente la variación espacial,

permitiendo así la estimación de los efectos entre tratamientos de una manera más confiable (Brownie *et al.*, 1993).

II. 5. La variación ambiental entre las localidades de evaluación de germoplasma y su estabilidad.

Las metodologías para medir la variación ambiental en sitios de evaluación para definir la estabilidad del rendimiento para el estudio de la interacción genotipo-ambiente en la selección de variedades son las que se describen a continuación:

II. 5. 1. Finlay y Wilkinson (1963)

El método más utilizado para el análisis de la interacción genotipo-ambiente fue proporcionado por Yates y Cochran (1938), los cuales aplicaron el análisis de regresión en una serie de experimentos con lugares, años y variedades. Este procedimiento analiza los rendimientos promedio de cada variedad por localidad con los rendimientos promedios de las localidades, éste modelo permaneció sin utilizarse hasta que Finlay y Wilkinson (1963), lo aplicaron al estudiar la estabilidad de 277 variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) que entonces componían la colección mundial, explicando desde un punto de vista práctico, la adaptabilidad y comportamiento de cada variedad en particular. Ellos estimaron la regresión del promedio del rendimiento de cada variedad en cada localidad con respecto al promedio de todas las variedades ensayadas en cada una de las localidades, e interpretaron los resultados bajo los siguientes criterios: 1) Si el coeficiente de regresión era igual a cero, esto significaba que la variedad no respondía a ningún cambio del medio ambiente, 2) si el coeficiente de regresión era igual a uno este indicaría que una variedad se comportaba como el promedio de todas ellas en cada localidad, caso difícil pero más probable que el anterior, 3) si el coeficiente de regresión se encontraba entre cero y uno representaría una variedad muy estable, que responde a los cambios del medio ambiente, pero en pequeña escala, 4) Si el coeficiente de regresión fuese superior a uno, esto significaría que la

variedad es muy sensible a los cambios del ambiente y puede calificarse como inestable.

En resumen se definieron como variedades estables a aquellas que son poco afectadas por cambios en las condiciones ambientales, esto es, aquellas con un coeficiente de regresión de cero o cercano a cero (Finlay y Wilkinson, citado por Lin *et al*, 1985).

II. 5 2. Eberhart y Russell (1966)

Ellos tomaron como base el procedimiento de regresión de Finlay y Wilkinson y desarrollaron algunas modificaciones, las cuales consistieron en utilizar como variable independiente las desviaciones de las medias de todas las variedades en cada ambiente con respecto a la media general, a estas desviaciones les llamaron índices ambientales, contra los cuales se corrió la regresión de las medias de cada variedad en cada ambiente tomadas como variable dependiente.

Se consideró como una variedad estable a aquella con un coeficiente de regresión igual a uno y poca desviación de las observaciones reales a la recta de regresión ajustada, proponiendo así los estimadores conocidos como parámetros de estabilidad. Estos parámetros de estabilidad son el coeficiente de regresión (b_i), que mide la respuesta de la variable dependiente (carácter deseado) por cada unidad de cambio de la variable independiente (índice ambiental) y las desviaciones de regresión (δd_i^2) que corresponden a la proporción en que la respuesta estimada está de acuerdo con la respuesta observada incluyendo las interacciones genotipo-ambiente, indicando si los rendimientos del genotipo son o no predecibles (consistentes ó inconsistentes). Carballo en 1972 para una mayor interpretación de los resultados del método propuesto por Eberhart y Russell (1966), propuso una clasificación en base a los valores obtenidos en los coeficientes de regresión y las desviaciones de la regresión clasificando así las variedades en base a su consistencia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de Carballo (1972), de genotipos en base a los valores de los parámetros b_i y $\bar{\delta}d_i^2$ propuestos por Eberhart y Russell (1966), en base a su consistencia ó inconsistencia.

Categoría	b_i	$\bar{\delta}d_i^2$	Clasificación
a	= 1	= 0	Genotipos estables
b	= 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistentes.
c	< 1	= 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables y consistentes.
d	< 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes desfavorables pero inconsistentes.
E	> 1	= 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes favorables y consistentes.
F	> 1	> 0	Genotipos con buena respuesta en ambientes favorables pero inconsistentes.

II. 5. 3. Gabriel (1978)

En las últimas décadas los avances tecnológicos han permitido la utilización más generalizada de las computadoras personales, lo cual ha facilitado la aplicación de paquetes computacionales en los análisis estadísticos con una mayor cantidad de datos.

Las técnicas de ordenación de datos relacionando un gran número de variables en términos de su posición relativa respecto a dos ó más ejes de coordenadas empleadas en el estudio de la interacción genotipo-ambiente han sido propuestas en el estudio de diferentes cultivos. El modelo multivariado de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) ha demostrado ser de gran utilidad en la explicación de la suma de cuadrados de la interacción en estudios que involucran una amplia diversidad ambiental ó ante un elevado número de ambientes (Zobel *et al.*, 1988; Crossa *et al.*, 1990; Shafii *et al.*, 1992 y Riggs, 1986).

Basándose en lo anterior y tratando de proporcionar una metodología más apropiada y confiable para el estudio de la interacción genotipo-ambiente. Gabriel en 1978, generalizando un resultado de Corsten y Van Eijsbergen en 1972, demostró que los estimadores de mínimos cuadrados se obtienen por un ajuste al que denominan “ajuste lineal-bilineal” y que consta de dos etapas: 1) se estima linealmente a μ y G_k y 2) se ajusta en forma bilineal, obteniendo los vectores (X = residuales de las medias de las combinaciones de ambientes por genotipos al ajustar μ y G_k) y valores característicos de la matriz de datos (λ^2_j = j-ésimo valor característico de las matrices $X'X$ ó XX'), así como el mayor valor característico (λ^2_1 = al mayor valor característico. Esta técnica multivariada conocida como Biplot (Gabriel’s Biplot) no se refiere sólo a una gráfica tradicional de dos dimensiones sino a una gráfica conjunta de hileras y columnas de una matriz de datos. El método multivariado que más se usa es el análisis de componentes principales (ACP), este, en combinación con el análisis de varianza (ANVA) y el de regresión lineal (RL) es conocido como modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Zobel *et al.*, 1988).

II. 6. Recapitulación de la revisión de literatura

El procedimiento más común que sigue el fitomejorador para decidir dentro de un grupo grande de genotipos (líneas puras o líneas endogámicas, variedades de polinización libre, clones o híbridos) las cuales potencialmente podrán llevarse a la producción como nuevas variedades, sigue tres etapas:

a) En la localidad central; durante la última etapa de formación de los nuevos genotipos experimentales, con el fin de reducir su número y tratando de conservar aquellos agrónomicamente con mayor potencial visual de liberarse como nuevas variedades, se efectúa selección fenotípica por superioridad en caracteres agronómicos (líneas puras, clones, variedades de polinización libre ó híbridos), comparándolos visualmente respecto a genotipos testigos comerciales que se intercalan entre las parcelas de los experimentales.

b) Los nuevos genotipos experimentales fenotípicamente seleccionados en la localidad central de trabajo se evalúan por rendimiento y otros caracteres agronómicos en experimentos con diseños de bloques incompletos como los látices, en los cuales se pueden incluir muchos genotipos experimentales como tratamientos, o bien en experimentos pequeños con pocos genotipos bajo el diseños de bloques completos al azar, mediante el análisis estadístico de varianza y comparación de medias por rendimiento y otros atributos agronómicos respecto a variedades comerciales testigo, estos experimentos permiten seleccionar los mejores genotipos experimentales que podrán ser llevados a una tercer etapa.

c) Los genotipos experimentales seleccionados en la etapa anterior, comparándolos respecto a los mejores genotipos comerciales que predominan en las siembras comerciales en los subambientes o localidades del ambiente blanco, se evalúan bajo diseño experimental (generalmente de bloques completos al azar) en diversas localidades como un grupo constante de tratamientos. Generalmente el análisis estadístico se hace bajo un diseño factorial al evaluar los genotipos a través de diversas localidades con el fin de estudiar la interacción entre los genotipos y las localidades de prueba (De la Loma, 1980, Steel y Torrie, 1980; Olivares, 2006).

Es en esta tercera etapa, en la cual los fitomejoradores se han preocupado por el concepto de estabilidad del rendimiento en los diferentes ambientes representados por las diversas localidades de prueba, lo cual ha sido explicado agronómicamente también como adaptación a diversos ambientes. Alberts (2004) presento una amplia recopilación de métodos estadísticos para detectar interacción genotipo x ambiente; utilizó ensayos de híbridos de maíz en localidades múltiples en Sudáfrica para comparar estos métodos de análisis. Dada la amplitud de esta recopilación, a continuación se presenta una síntesis de los aspectos y consideraciones más importantes hechas por este autor, respecto a los procedimientos de análisis de la interacción genotipo x ambiente (GE) y la estabilidad del rendimiento cuando se evalúan diversos genotipos en diversos ambientes.

En el trabajo de Alberts (2004), se menciona que Lin *et al.* (1986) han establecido tres tipos de estabilidad y Lin y Binns (1988) asociaron cuatro grupos de estadísticos de estabilidad (A, B, C, y D) a estos tres tipos de estabilidad.

Estabilidad tipo 1. Considera que un genotipo es estable si la varianza del comportamiento a través de los diversos ambientes es pequeña, esto es, que su comportamiento no cambia independientemente de cualquier variación de las condiciones ambientales. Becker y León (1988), identifican este comportamiento como estabilidad estática ó biológica. Para caracterizar la estabilidad de cada genotipo evaluado, Francis y Kannenburg (1978) han utilizado como parámetros de estabilidad el coeficiente de variación (CV_i) y las varianzas genotípicas a través de ambientes (S_i^2). Mencionando Alberts (2004) que este concepto es útil para caracteres de calidad, resistencia a enfermedades y estrés como resistencia al frío. De acuerdo con Lin y Binns (1988), para medir este tipo 1 de estabilidad, se puede utilizar el estadístico del grupo A que es la suma de cuadrados de la desviación del efecto genotípico promedio (DG).

Estabilidad tipo 2. Un genotipo es considerado estable si su respuesta a los ambientes es paralela a la respuesta media de todos los genotipos en el ensayo. Becker y León (1988) llamaron éste concepto de estabilidad como agronómica ó dinámica. Un genotipo estable no tiene desviaciones de su respuesta general a los ambientes, lo que permite predecir su respuesta a los ambientes en los que se evalúa. El coeficiente de regresión (b_i) (Finlay y Wilkinson, 1963) y la estabilidad de la varianza (σ_i^2) de Shukla (1972) pueden utilizarse para medir la estabilidad tipo 2; asimismo, de acuerdo con Lin y Binns (1988), para medir este tipo 2 de estabilidad, se pueden utilizar el estadístico del grupo B que es la suma de cuadrados del término de la interacción genotipo (G) x ambiente (E) y el estadístico del grupo C que es el coeficiente de regresión de GxE o del DG.

Estabilidad tipo 3. El genotipo es considerado estable si el cuadrado medio del residual (error) del modelo de regresión sobre el índice ambiental es pequeño. El índice

ambiental se genera mediante la media de rendimiento de todos los genotipos en cada localidad menos la media general de todos los genotipos en todas las localidades. De acuerdo con Becker y León (1988) éste tipo 3 de estabilidad es parte del concepto de estabilidad agronómica, de acuerdo con Lin y Binns (1988) para medir este tipo 3 de estabilidad se utiliza el estadístico del grupo D, que es la desviación de regresión de la GxE o del DG.

Estabilidad tipo 4. Lin y Binns (1988) propusieron el cuarto concepto de estabilidad sobre la base de la variación no genética predecible y no predecible. El componente predecible está relacionado con las localidades, y el componente no predecible relacionado con los años. Ellos sugirieron el uso de un enfoque de regresión para la porción predecible de localidades y el cuadrado medio de la interacción de años por localidades de cada genotipo como una medida de la variación no predecible.

Cada concepto de estabilidad tiene su correspondiente procedimiento estadístico, los cuales pueden agruparse en cinco categorías a saber:

- 1) El análisis convencional de varianza, con análisis en arreglo factorial para detectar la interacción de las variedades con las localidades de prueba (Fisher 1918, 1925).
- 2) El análisis de la estabilidad o enfoque paramétrico.

Fue propuesto inicialmente por Yates y Cochran (1938), ha sido ampliamente revisado, utilizado y modificado por otros autores como Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966), Perkins y Jinks (1968), Wright 1971, Freeman and Perkins (1971), Shukla (1972), Harddwick y Wood (1972), Freeman (1973), Hill (1975), Lin *et al.* (1986), Westcott (1986), Becker y León (1988), Baker (1988), Crossa (1990) y Hohls (1995) critican este enfoque por no cumplir con algunas restricciones y supuestos con el análisis de varianza.

Usando el coeficiente de regresión (b_i) y el cuadrado medio de la desviación (S^2_{di}), Finlay y Wilkinson definieron un genotipo como estable aquel que tiene un $b_i = 0$,

mientras que para Eberhart y Russel (1966) un genotipo estable debe tener un $b_i = 1$. Perkins y Jinks (1968) propusieron un análisis estadístico equivalente donde los valores observados son ajustados por los efectos ambientales antes de la regresión.

Particularmente a éste enfoque se le han hecho diferentes críticas: a) la media genotípica no es independiente de las medias marginales de los ambientes, b) los errores asociados a las pendientes de los genotipos no son estadísticamente independientes, c) se asume una relación lineal entre la interacción (GxE) y las medias ambientales, d) la adaptación del genotipo no es bien estimada cuando se determina por su comportamiento en pocos ambientes extremos, como cuando se utilizan pocas localidades para alto y bajo rendimiento y e) la respuesta a los ambientes es intrínsecamente multivariada y la regresión trata de transformarla a un problema univariado.

3) Otras mediciones de estabilidad del rendimiento son: el coeficiente de determinación (R_i^2), la ecovalencia (W_i), el parámetro de la estabilidad de la varianza de Shukla's (σ^2_i) y la medida del comportamiento del genotipo (P_i).

4) Las interacciones cruzadas y análisis no paramétrico como un solo procedimiento estadístico.

5) Los métodos de análisis multivariado que involucran diferentes procedimientos estadísticos: a) el análisis de componentes principales donde un número grande de variables correlacionadas se reducen a un número menor de factores principales para con ello explicar la variación de las variedades en los ambientes de prueba en términos de los factores generales comunes a todas las variables y en términos del factor único para cada variable, Crossa *et al* (1990), b) el análisis de conglomerados, grupos o “clusters” donde numéricamente se definen grupos de variedades por su rendimiento en los diversos ambientes de prueba Crossa *et al* (1990), Lin *et al* (1986)., Westcott (1987) c) las interacciones cruzadas resultantes del cambio de orden de las variedades de un ambiente de prueba a otro Gregorious and Namkoong (1986), Crossa (1990) el procedimiento de análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa

AMMI y el valor de estabilidad AMMI (average stability value ASVAMMI) Gauch y Zobel (1996), Purchase (1997), Purchase *et al* (2000), Alberts (2004); sin embargo, se ha encontrado que las variedades experimentales identificadas como estables por algunos procedimientos difieren de las identificadas como estables por otro y ocasionalmente coinciden.

En trigo, Rodríguez P. J. E., *et al* (2002), caracterizaron la estabilidad del rendimiento de siete variedades bajo condiciones de secano en 24 localidades de México de 1988 a 1996, utilizaron la desviación estándar (S_i), el CV% de Francis y Kannenberg (1978), los parámetros α_i y λ_i de Tai (1971), el comportamiento medio de la variedad (P_i) de Linn y Bin (1988), la diferencia absoluta de los rangos (S_1) y la varianza de los rangos de cada genotipo a través de ambientes (S_2) de Nassar y Hühn (1987), AMMI y el análisis de agrupamiento de Fox y Rosielle (1982) y concluyeron que las variedades calificadas como estables difieren entre los procedimientos, pero que existió similitud entre Heberhart y Russel (1966), Shukla (1972) y Linn y Binns (1988) y recomiendan que es necesario medir la estabilidad por diversos métodos para obtener información complementaria.

En Sudáfrica Alberts (2004) consideró 23 híbridos de maíz en 42 ambientes durante tres años, del 2001 al 2003 y comparó su estabilidad del rendimiento mediante diez procedimientos: 1) el rendimiento medio de los híbridos en todos los ambientes, 2) el coeficiente de variación (CV%) de Francis y Kannenberg (1978), 3) el comportamiento de superioridad de la variedad (P_i) de Lin y Binn (1988), 4) la varianza de la estabilidad (σ^2) de Shukla (1972), 5) la ecovalencia (W_i) de Wricke (1964), 6) el coeficiente de regresión (b_i) de Finlay y Wilkinson (1963), 7) el parámetro de las desviaciones de regresión (S^2_{di}) de Heberhart y Russell (1966), 8) la diferencia absoluta de los rangos de las medias (S_1), 9) la varianza de los rangos a través de ambientes (S_2) ambas de Nassar y Hühn (1987) y 10) el valor promedio de estabilidad (ASV-AMMI) de Purchase (1997), Purchase *et al* (2000) y encontró que también las variedades estables no fueron las mismas en todos los procedimientos, siendo cinco de las 23 estables, una bajo Shukla (1972), Wrike (1962) y Eberhart y Russel (1966), la segunda bajo el rendimiento medio y Lin y Bins (1988), la tercera bajo el CV% de Francis y Kannenberg (1978) y el coeficiente de regresión de Finlay y Wilkinson (1963), la cuarta con la

diferencia absoluta de los rangos de las medias (S_1) y la varianza de los rangos a través de ambientes (S_2) de Nassar y Hühn (1987) y la quinta bajo el ASVAMMI.

Pérez L. D de J., *et al* (2007) en papa, utilizaron once índices de estabilidad para medir la estabilidad de diez clones en cinco ambientes y encontraron que los clones estables fueron diferentes entre los diversos procedimientos, y solo los clones Gigant y 776943 fueron considerados estables bajo el CV% de Francis y Kannenberg (1978) y la superioridad de la variedad (P_i) de Lin y Binn (1988).

Padilla V. I. *et al* (2008) midieron la estabilidad del rendimiento de cinco variedades de frijol en cuatro ciclos agrícolas en el Valle del Mayo, Sonora, México, mediante la desviación estándar para estimar la consistencia de los genotipos de Binswanger y Barah (1980), los parámetros de estabilidad b_i y S^2_{di} de Heberhart y Russell (1966) y la clasificación de variedades de Carvallo y Márquez (1972) e identificaron una variedad de frijol como la de mejor respuesta en ambientes desfavorables pero inconsistente, siendo superior en promedio a las otras variedades en cada ambiente de prueba.

En una búsqueda realizada en la red con el buscador Google el 30 de enero del 2008, se encontró que de un total de 13,407 artículos, el método de los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell fue el más utilizado con 72.57% (9,730 artículos), seguido del método de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) con el 14.69% (1,970 artículos), en tercer lugar el método de conglomerados o “clusters” con 12.38% (1,660 artículos), en cuarto lugar se utilizó el método de los componentes principales con el 0.32% (43 artículos) y en último lugar el método de interacciones cruzadas (crossover interactions) con el 0.03% (4 artículos). Los procedimientos anteriores implican algunas limitaciones para decidir sobre cuál de los procedimientos estadísticos deben de usarse para identificar consistentemente las variedades experimentales estables en rendimiento, para seleccionarlas y liberarlas a la producción, tales limitaciones son: 1) todas las técnicas anteriores exigen trabajar con un conjunto fijo de genotipos, 2) al no existir coincidencia consistente entre los diversos procedimientos para juzgar como estable en su rendimiento a una misma variedad es difícil elegir un solo método de evaluación de la estabilidad del rendimiento para fines de liberación de nuevas variedades, 3) se ha recomendado estimar la estabilidad por varios procedimientos surgiendo la interrogante de que procedimientos

de medición de la estabilidad deben de combinarse para identificar y liberar las variedades experimentales más estables y de alto rendimiento, 4) lo anterior demanda mas análisis estadísticos, algunos sofisticados, y complica la decisión de bajo que procedimientos que variedades experimentales son las más estables para proceder a su liberación, 6) no siempre una variedad estable es la que iguala o supera a la mejor variedad comercial testigo en todos los ambientes de prueba, ésta puede ser incluso inferior a los testigos de todos los ambientes de prueba y ser aún estable 5) algunos fitomejoradores han procedido a comparar la media de las variedades experimentales respecto a la media de los testigos de los ensayos, lo que sobreestima el potencial de las variedades experimentales y subestima el potencial de rendimiento del mejor testigo, 6) ninguno de los procedimientos anteriores establece como criterio básico para la liberación de una variedad experimental a la producción, que el principal objetivo es el de identificar las variedades experimentales que son establemente superiores en rendimiento u otra característica a las variedades comerciales que prevalecen en los diversos ambientes de prueba del ambiente de producción objetivo.

II. 7. Propuesta para determinar la estabilidad del rendimiento de nuevos genotipos y para seleccionarlos estadísticamente.

En todas las metodologías mencionadas anteriormente, que se han utilizado para medir la estabilidad del rendimiento de diversos genotipos al evaluarse en diversos ambientes, surge la situación de que en el “ ambiente de evaluación” o ambiente blanco u objetivo o (“target environment” en inglés), para el cual un programa de mejora genética pretende liberar nuevos genotipos, se tienen diferentes sub-ambientes o localidades los cuales ambiental, social y tecnológicamente son parecidos pero diferentes entre sí, y en los cuales, ya sea por experiencia de los agricultores, mercadotecnia, disponibilidad de semilla, etc., siempre predomina en la producción de cada subambientes alguna variedad comercial.

Éstos genotipos que predominan en un subambiente de prueba cumplen con la función de ser representativos del ambiente de producción del cultivo el cual está integrado por

el ambiente natural (clima, suelo, precipitación, factores bióticos, etc.) y el ambiente social (tipo de agricultura, nivel tecnológico, acceso al capital, cultura de los productores, etc.), estos genotipos comerciales predominantes en el ambiente de producción del ambiente objetivo son representativos de la heterogeneidad del ambiente de producción, semejantes a la vegetación natural la cual es un indicador biológico de los diferentes factores físicos y químicos del ambiente que al predominar en una región geográfica representan un clima en particular. Lo anterior implica que entre los cultivares comerciales que han sido sembrados en los diversos subambientes en cuestión, de llegar a ser introducidos, llegue a existir alguno o algunos que puedan ser superiores al genotipo más sobresaliente y por tanto más sembrado en tal subambiente, de hecho ésta es la hipótesis general de trabajo que precede a la evaluación de genotipos experimentales que se ensayan en los diversos subambientes de una región que representa el ambiente objetivo o "target environment".

Lo anterior de señalar que por adaptación a diversos subambientes de una región de producción agrícola definida como un ambiente objetivo se tenga una heterogeneidad de genotipos comerciales presentes en cada subambiente, debe ser considerada para liberar nuevos genotipos formados por los programas de mejora genética para el ambiente objetivo general, esta situación de heterogeneidad de genotipos potencialmente a utilizar como testigos en cada subambiente enfrenta la dificultad de que en todos los métodos de evaluación de genotipos diferentes en diversos ambientes para conocer su estabilidad en cuanto a rendimiento que antes se han mencionado, se exige que en los ensayos de evaluación en las diferentes localidades se debe tener un mismo conjunto de genotipos y testigos constantes, lo cual es una limitante dado que el mejor cultivar entre subambientes del ambiente "blanco" generalmente no es el mismo y sin embargo es éste el que debería ser superado por el nuevo genotipo como condición obligada para su liberación.

En base a lo anterior, en el programa de sorgo del Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Fríjol y Sorgo de la Facultad de Agronomía de la UANL (PMMFYS), se ha considerado el principio de la estratificación genética ambiental el cual fue propuesto por Zinzly

(citado por Paterniani, 1987), cuando se evalúan en diversas localidades del noreste de México nuevos híbridos experimentales de sorgo que han sido preseleccionados como superiores en la localidad central de Marín N. L.; este principio inicialmente fue propuesto para mejorar la selección masal red denominada por este autor como *selección masal genéticamente estratificada*, donde el rendimiento promedio de las dos plantas desespigadas de un híbrido de cruce simple, adyacentes a una planta de la población bajo selección, es un indicador de la variación del suelo que permite comparar a la planta por seleccionar y evitar el sesgo ambiental en el fenotipo en el proceso de selección. Considerando este principio de estratificación genética ambiental, en los ensayos de variedades en localidades con ambientes diferentes, generalmente se tiene uno o pocos genotipos muy adaptados o de los que se cuenta con semilla en el mercado de cada localidad los cuales regularmente siembran los agricultores, y es contra éste o estos a los que los híbridos o variedades por introducir deben compararse; así, el híbrido regularmente mas sembrado en una localidad por los agricultores, es un indicador del ambiente de producción (clima, suelo, plagas, enfermedades, manejo, mercadotecnia, crédito, etc.); este o estos híbridos localmente utilizados, generalmente cambian de una localidad a otra dentro de un ambiente de producción considerado como ambiente objetivo por el fitomejorador, por ello, un criterio de estabilidad del rendimiento a utilizar que puede agronómicamente ser más útil es el de estabilidad por estratificación genética ambiental, en el cual, el tipo ideal de estabilidad que debe tener un híbrido experimental que se pretende llevar a la producción en el ambiente objetivo es que este híbrido podrá ser considerado como superior y estable cuando en todas las localidades de prueba y durante todos los años de prueba, llegue consistentemente a superar en rendimiento al híbrido comercial más utilizado por los agricultores de cada localidad del ambiente objetivo en las que se haya ensayado. Este concepto de estabilidad se ha denominado como estabilidad por estratificación genético-ambiental, y por considerar como estabilidad la repetida superioridad respecto a un testigo local cambiante entre localidades de prueba, no se tienen antecedentes de haber sido abordado por ninguna de las metodologías de medición de la estabilidad del rendimiento y medición de la interacción G x A antes mencionadas.

De lo anterior surgen las bases conceptuales en que se sustenta la estratificación genética y estas son:

1) En un mismo ambiente (localidad) existe un gran número de variedades ó híbridos comerciales que se utilizan en la producción comercial.

2) De todo ese material genético que se siembra por los agricultores de un ambiente dado, existen una ó pocas variedades de valor entre los productores, esto es que existen variedades que los productores reconocen que son buenas por su rendimiento (por la calidad de la semilla en la siembra, por su seguridad en la producción de año en año, etc.) y por lo tanto son las más sembradas.

3) Al igual que un tipo de vegetación refleja las condiciones climáticas y edáficas de una región, las variedades preferidas y por tanto más sembradas por los productores de una localidad dentro de una región que constituye un ambiente objetivo, son aquellas que presentan los máximos ajustes de su crecimiento con la variación de los factores del ambiente de producción (físicos, bióticos y sociales).

4) Por lo antes expuesto, las variedades más apreciadas y más sembradas deberán ser, por un lado, los testigos en una localidad y entre localidades, reflejaran la variación ó las diferencias para los factores ya mencionados de los ambientes de producción asociados a cada localidad.

5) Finalmente una ó pocas variedades preferidas y preferentemente sembradas por los agricultores en cada una de las localidades de prueba que se ubican dentro del ambiente de producción objetivo, pueden considerarse como indicadores o índices ambientales (Valdés, 1997), ya que su rendimiento indica si el potencial de producción de cada localidad o subambiente es malo, regular o bueno, de manera similar a los índices ambientales de Eberhart y Russell (1966); por lo anterior, el mejor genotipo localmente adaptado debe utilizarse como testigo a superar por los nuevos genotipos a

introducir al ambiente objetivo, teniendo la condición de que generalmente el mejor genotipo local no es el mismo en todas las localidades de prueba del ambiente objetivo.

Surgiendo de lo anterior, el problema de la evaluación de la estabilidad por estratificación genética ambiental al definir el mejor testigo en cada localidad de prueba, éste problema se ha resuelto de tres maneras.

1. Siembra de los ensayos en las localidades de prueba dentro de las parcelas comerciales de productores cooperantes.

En esta modalidad el híbrido comercial utilizado por el agricultor es el testigo a utilizar, para lo cual la distribución de las parcelas experimentales, generalmente es de 5 x 0.8 metros aleatorizadas en cada bloque y sembradas bajo un diseño de bloques completos al azar dentro de las siembras comerciales de los productores en las localidades de prueba; de esta forma cada bloque se siembra la parcela experimental teniendo a ambos lados un surco del genotipo del productor el cual será considerado como un testigo adyacente.

2. La inclusión en los ensayos de los híbridos comerciales mas sobresalientes en las localidades de prueba como testigos.

Aquí se procede a sembrar en cada localidad los ensayos de evaluación en la modalidad anterior, incluyendo otros híbridos comerciales, algunos de ellos no sembrados por el productor, para en caso de que alguno de estos supere al del productor, utilizarlo como el mejor testigo a superar por los híbridos experimentales que se evalúan.

3. Identificar al mejor híbrido por estabilidad del rendimiento en las localidades de prueba que integran el ambiente objetivo para utilizarlo como un testigo constante.

Sembrar en cada localidad los ensayos de evaluación en la modalidad anterior, incluyendo un mismo híbrido el que siempre será sembrado en todas las localidades, el cual será un testigo que se repite en todas las localidades de prueba y será el testigo a superar por los híbridos experimentales que se evalúan.

Una vez realizado el análisis de varianza y se han detectado diferencias entre tratamientos en cualquiera de las tres modalidades anteriores, para definir si los híbridos experimentales superan, son iguales o son inferiores al testigo, se procede mediante la prueba de la DMS protegida de Fisher de rangos, que se publicó por primera vez por Valdés y Gómez (1995), la cual consiste en establecer un rango de DMS con un valor o límite superior (LS) que resulta de la suma del valor de la DMS a la media del mejor testigo y otro límite inferior (LI) que resulta de la resta del valor de la DMS a la media del mejor testigo, de tal forma que los híbridos experimentales evaluados se pueden separar en tres grupos claramente definidos:

Grupo de híbridos experimentales superiores estadísticamente al mejor testigo que se identifican con la letra A (media del híbrido experimental $>LSDMS$)

Grupo de híbridos experimentales iguales estadísticamente al mejor testigo que se identifican con la letra B ($LSDMS > \text{media del híbrido experimental} > LIDMS$)

iiidentifican con la letra C (media del híbrido experimental $<LIDMS$)

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer si los procedimientos para medir la estabilidad del rendimiento de Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russel, AMMI y EGA difieren entre sí en el número de híbridos experimentales de sorgo que se identifiquen como estables de un grupo evaluado en diversos sitios de prueba dentro del ambiente objetivo del noreste de México así como en su rigor y practicidad.

2.2.8 Hipótesis

En la presente investigación, al definir como objetivo general el de comparar la propuesta de medición mediante la estratificación genético ambiental de la estabilidad del rendimiento de grano de híbridos experimentales de sorgo evaluados en localidades del noreste de México respecto a las metodologías de medición de estabilidad del rendimiento que se han venido utilizando más frecuentemente, se han asociado las siguientes hipótesis:

II. 8. 1. Primera hipótesis

Las metodologías tradicionales de medición de la estabilidad del rendimiento más usadas y la propuesta en el PMMFyS difieren en el número y coincidencia de híbridos experimentales que se identifican como estables al evaluarlos por su rendimiento en diferentes localidades del noreste de México y por tanto en su exigencia.

II. 8 2. Segunda hipótesis

En base a la mejor metodología de medición de la estabilidad del rendimiento se pueden seleccionar híbridos experimentales de sorgos estables y superiores a los híbridos comerciales utilizados por los productores para su recomendación en el noreste de México.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. Híbridos experimentales de sorgo

El material genético utilizado en esta investigación fue proporcionado por el Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo (PMMFyS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) y consistió inicialmente de 13 líneas R, 3 líneas A y 3 Líneas B, progenitoras de los 39 híbridos experimentales de sorgo para grano formados de la combinación de las 13 líneas R (restauradoras) y las 3 líneas A (androésteriles) como se puede apreciar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Híbridos experimentales originados de la combinación de las líneas A; 1823, 1829 y 1831 y 13 líneas R.

No.	Línea A x Línea R	No.	Línea A x Línea R
1	1823 x124	21	1829 x162
2	1823 x150	22	1829 x163
3	1823 x151	23	1829 x166
4	1823 x153	24	1829 x170
5	1823 x154	25	1829 x172
6	1823 x159	26	1829 x1230
7	1823 x160	27	1831 x124
8	1823 x162	28	1831 x150
9	1823 x163	29	1831 x151
10	1823 x166	30	1831 x153
11	1823 x170	31	1831 x154
12	1823 x172	32	1831 x159
13	1823 x1230	33	1831 x160
14	1829 x124	34	1831 x162
15	1829 x150	35	1831 x163
16	1829 x151	36	1831 x166
17	1829 x153	37	1831 x170
18	1829 x154	38	1831 x172
19	1829 x159	39	1831 x1230
20	1829 x160		

III.2. Ambientes de prueba y experimentos

Los experimentos correspondientes al presente estudio se establecieron en diferentes campos experimentales de Instituciones de Educación superior y en parcelas de productores cooperantes en localidades, años y ciclos agrícolas del Noreste de México. Conformándose de esta manera una serie de ambientes de prueba en los cuales se utilizaron los diseños experimentales de bloques completos al azar y látices, estratificación genética y vecindad cercana, bajo las condiciones de producción comercial y fechas de siembra programadas por los productores, como se puede apreciar en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Concentrado de la ubicación de los experimentos, fechas de siembra, y condiciones de producción del cultivo en los diferentes ambientes de prueba.

No.	Ambiente de prueba	Fecha de Siembra y Cosecha	Ubicación del Experimento	Institución ó productor
1	Marín P´97	29/04/97-26/08/97	Campo Experimental	FAUANL*
2	San Fernando P´98	19/02/98-23/06/98	Parcela de Prod.Comercial	Héctor de Anda B.
3	Linares P´98	19/03/98-07/07/98	Campo Experimental	Tecnológico de Linares
4	Díaz Ordaz P´98	03/03//98-18/07/98	Parcela de Prod.Comercial	Ing. J. Luis Olivares S.
5	Marín P´99	03/03799-16/06/99	Campo Experimental	FAUANL*
6	Díaz Ordaz P´99	06/02/99-02/06/99	Parcela de Prod.Comercial	Ing. J. Luis Olivares S.
7	Linares P´99	01/07/99-29/10/99	Campo Experimental	Tecnológico de Linares
8	San Fernando V´99	22/09/99-20/01/99	Parcela de Prod. Comercial	Héctor de Anda B.

*Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Cuadro 4. Concentrado de los ambientes de prueba con el número de híbridos y diseño experimental utilizado.

No.	Ambiente de prueba	Híbridos experimentales evaluados	Híbridos comerciales testigo	*Híbrido comercial adyacente	Diseño exp. Utilizado
1	Marín P´97	39	10	Dekalb-38	BCA II Rep.
2	San Fernando P´98	27	9	P-8282	BCA II Rep.
3	Linares P´98	27	9	P-8282	BCA II Rep.
4	Díaz Ordaz P´98	27	9	P-82G63	BCA II Rep.
5	Marín P´99	27	9	P-83G66	BCA II Rep.
6	Díaz Ordaz P´99	27	-	P-83G66	BCA II Rep.
7	Linares P´99	27	9	P-8282	BCA II Rep.
8	San Fernando V´99	27	9	P-8282	BCA II Rep.

*Híbrido comercial que el productor utiliza.

III.3. Método de siembra

Los experimentos se establecieron en base a la programación de las fechas de siembra en las localidades de prueba (Marín, N. L., Linares, N. L., Díaz Ordaz, Tam. y San Fernando, Tam.). Se realizaron las siembras de los híbridos experimentales en tres surcos, en las parcelas comerciales de los productores cooperantes, intercalando como testigo adyacente entre las parcelas de los híbridos experimentales a probar, el híbrido comercial que en cada caso el productor selecciono para sus siembras comerciales, asegurando así estar bajo las condiciones propias del ambiente de producción. La aleatorización de los tratamientos de los experimentos dentro de las siembras comerciales se hicieron bajo un diseño de látice simple duplicando el grupo X (repeticiones I y II) y el grupo Y (repeticiones III y IV), de tal forma que los datos de las variables en estudio pudieran ser analizados estadísticamente al evaluar el surco central de la parcela experimental, bajo los diseños de látice, en su caso como bloques completos al azar, estratificación genética y vecindad cercana, lo que se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1. Ejemplo de un croquis parcial de un experimento establecido dentro de una siembra comercial bajo una aleatorización de un diseño experimental de látice simple duplicado 7x7.

	t	t	t	t	t	t	t	t	t	T	t
I-X	T ₁	T ₃	T ₅	T ₄	T ₇	T ₆	T ₂	.	.	.	T ₄₉
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	T	t
II-X	T ₄₈	T ₄₇	T ₄₅	T ₄₃	T ₄₉	T ₄₄	T ₄₆	.	.	.	T ₂₈
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	T	t
III-Y	T ₁₄	T ₂₈	T ₃₅	T ₄₂	T ₂₁	T ₄₉	T ₇	.	.	.	T ₃₇
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	T	t
IV-Y	T ₄₀	T ₃₃	T ₂₆	T ₁₂	T ₁₉	T ₄₇	T ₅	.	.	.	T ₄₀
	t	t	t	t	t	t	t	t	t	T	t

T = Parcelas de 5 x 0.8 m con los tratamientos ó híbridos experimentales, sembradas a lo largo de un surco
t = Híbrido comercial sembrado a lo largo de un surco por el productor utilizado como testigo adyacente.

III.4. Variables medidas

Las variables medidas en los diferentes experimentos se describen a continuación.

- 1). Rendimiento de grano de plantas con competencia completa al 12 % de humedad.

Se tomaron como muestra el número de plantas con competencia completa que se encontraban en 1 metro de longitud de la parcela útil (5 x 0.8 m) por tratamiento, se trillaron, se pesaron y se determino el rendimiento de grano promedio en gramos ajustado al 12% de humedad, mediante la fórmula siguiente (Ávila y Márquez, 1978):

$$RC = \frac{Pgh \times 100 - ph}{100}$$

88

Donde:

RC = Rendimiento de grano al 12% de humedad.

Pgh = Peso de grano húmedo.

Ph = Porcentaje de humedad del grano.

El porcentaje de humedad del grano se midió con el determinador de humedad marca “Staeinlite” modelo G de la Seedburo Equipment Co. del Proyecto de Producción de Semillas de Hortalizas de la FAUANL.

2). Rendimiento relativo de grano de plantas con competencia completa ajustado al 12% de humedad.

Esta variable se midió, ajustando el porcentaje de grano de cada híbrido experimental respecto al rendimiento de grano del híbrido comercial de las dos parcelas adyacentes, tomando una muestra del surco central de 1 metro de longitud de cada parcela útil (5 x 0.8 m). Una vez obtenido el rendimiento de grano de cada parcela se calculo el promedio aritmético de las dos parcelas, para después, utilizando la formula:

$$RR = \frac{PgHE \times 100}{PgHC}$$

Donde:

R = Rendimiento Relativo de grano al 12% de humedad.

PgHE = Peso de grano del Híbrido Experimental

PgHC = Peso de grano del Híbrido Comercial.

Obtener el rendimiento de grano expresado en % respecto al ó los testigos adyacentes de cada tratamiento.

3). Densidad de grano.

De cada unidad experimental se utilizó una muestra de un litro de grano y se peso en una balanza granataria y el peso registrado en gramos, se consideró la densidad en peso por unidad de volumen (gramos /litro).

4). Días a floración.

Se cuantificaron los días a partir de la fecha de siembra y hasta la fecha en que se observo más de un 50% de plantas en floración en la parcela de cada tratamiento. Clasificando los híbridos por el rango de días según el criterio de la ASGROW Seed Co. (1989), modificándola para el efecto como sigue:

- 71-74 días a la floración.....Tardío (T).
- 66-70 días a la floración.....Intermedio (I).
- 63-65 días a la floración.....Precoz Intermedio (PI).
- 60-62 días a la floración.....Precoz (P).
- < de 59 días.....Muy Precoz (MP).

5). Días a madurez fisiológica.

Se contabilizaron los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela experimental presentaron el 50% de la panoja un punto negro situado en la base del grano (CIA, 1982).

6). Altura de la planta.

Se midió la altura en centímetros de una muestra de 10 plantas con competencia completa, tomadas al azar por unidad experimental incluyendo el ó los testigos adyacentes con competencia completa, desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panoja; para después obtener el promedio aritmético.

7). Longitud de excursión.

En una muestra de 10 plantas por unidad experimental se midió la longitud de excursión en centímetros desde la lígula de la hoja bandera hasta la base de la panícula, obteniendo después el promedio aritmético.

8). Tipo de panícula.

Las panículas de cada tratamiento se clasificarán en tres clases de forma: abierta, semícompacta y compacta.

9). Color de grano.

Para este carácter se observó el color aparente predominante del grano de acuerdo con las cinco clases asignadas (CIA, 1982). Este descriptor se tomó dos semanas después de que el material alcanzó la madurez fisiológica.

- | | |
|--------------|------------|
| 1.- Blanco | 4.- Café |
| 2.- Amarillo | 5.- Morado |
| 3.- Rojo | |

10). Sanidad.

La enfermedad que se evaluó fue el ergot (*Claviceps africana*), por su presencia en los ambientes de prueba. Se procedió a determinar su intensidad en base a una escala de cuatro clases, clasificándolas en relación al porcentaje de plantas dañadas respecto al total de ellas. (CIA, 1982).

- 1: No Daño
- 2: De 1 a 25% de plantas dañadas
- 3: De 26 a 40% de plantas dañadas
- 4: Más de 40% de plantas dañadas

III. 5. Ajustes por covarianza

Para la selección de los mejores híbridos experimentales de sorgo se propuso comparar los testigos regionales (híbridos comerciales elegidos por los productores) con los híbridos experimentales con los métodos de estratificación genética y vecindad cercana; en los cuales se incluyó en el modelo la covariable de rendimiento relativo respecto al testigo adyacente, para incrementar así la precisión del experimento.

III.3.5.1 Testigos Adyacentes

En este método se usó como covariable el dato de rendimiento de parcelas adyacentes distribuidas sistemáticamente a los lados de las parcelas experimentales, desarrollándose posteriormente el análisis de los datos aplicando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \delta\chi_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación del tratamiento i en el bloque j .

μ = Efecto verdadero de la media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

δ = Coeficiente de regresión de la covariable

χ_{ij} = Es la observación de la covariable en el tratamiento i bloque j .

ε_{ij} = Error experimental

(Melton *et al.*, 1967)

III. 5.2. Vecindad Cercana

Para el método de vecindad cercana, la distribución de los tratamientos correspondió a la de los diseños experimentales de bloques al azar, utilizando los valores para el análisis de covarianza de las parcelas contiguas del híbrido experimental según le correspondía de acuerdo al orden de ubicación en el experimento sin incluir testigos adyacentes como en el método de estratificación genética, utilizando en este caso los mismos híbridos experimentales de la evaluación, analizándose los datos estadísticamente bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_{k(ij)} + bX_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación de tratamientos

μ = Efectos de la media general

$T_{k(ij)}$ = Efectos fijos de tratamientos

bX_{ij} = Efectos entre las parcelas vecinas

ε_{ij} = Error experimental

Utilizando para dentro de parcelas la ecuación:

$$X_{ij} = \frac{1}{4} (r_{ij-1} + r_{ij+1} + r_{i-1j} + r_{i+1j})$$

r_{ij} = Errores estimados

Donde: $r_{ij} = Y_{ij} - Y_{k(ij)}$

Y_{ij} = Producción de las parcelas de los tratamientos

$Y_{k(ij)}$ = Medias de producción entre parcelas asignadas al derredor de los tratamientos

(Brownie *et al.*, 1993)

III. 6. Análisis de estabilidad del rendimiento de grano

Para desarrollar el análisis de estabilidad del rendimiento, se procedió a utilizar las metodologías que permitieran seleccionar los genotipos específicamente adaptados a los ambientes de prueba. Para seleccionar los híbridos comerciales (testigo) utilizados por los productores, fue necesario hacer un análisis preliminar que permitiera conocer el comportamiento de estos, incluyendo en los experimentos los de mayor rendimiento de grano. Separando el análisis de estabilidad del rendimiento de grano en metodologías convencionales y las metodologías propuestas estimando la interacción genotipo-ambiente.

III. 6. 1. Metodologías convencionales para medir la estabilidad del rendimiento

Las metodologías utilizadas como convencionales en este trabajo fueron la de Finlay y Wilkinson (1963), la de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) y la propuesta de Gabriel (1972) quien utiliza el método de análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Zobel *et al.*, 1988).

III. 6. 1. 1. Finlay y Wilkinson (1963)

Este método se aplicó estimando los efectos de la interacción genotipo-ambiente involucrando todos los genotipos, los cuales se evaluaron bajo diseño experimental y repetidos en diferentes ambientes de producción; el cálculo de adaptabilidad y la respuesta de cada híbrido en particular, se hizo mediante la regresión de productividad del carácter en estudio con respecto al promedio de todos los híbridos, para ello se utilizó el siguiente modelo de regresión lineal:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i$$

Donde:

Y_i = Variable dependiente.

β_0 = Ordenada al origen (efecto genético)

β_1 = Pendiente de la línea de regresión (**b**= coeficiente de regresión)

X_i = Variable independiente (efecto ambiental)

ϵ_i = Error aleatorio (desviaciones de la línea de regresión).

1) Si el coeficiente de regresión (**b**) fue igual a 0, esto quiere decir que el híbrido no respondió a ningún cambio ambiental,

2) Si el coeficiente de regresión (**b**) fue igual a 1.0, significaría que el híbrido se comportaría con el rendimiento promedio de todos los demás.

3) Si el coeficiente de regresión (**b**) se encuentra entre 0 y 1.0 representaría lo que puede calificarse como una variedad muy estable, que responde a los cambios del ambiente pero en pequeña escala,

4) Si el coeficiente de regresión (**b**) fuese superior a 1.0, esto significaría que la variedad es muy sensible a los cambios del ambiente y puede en cierto modo, calificarse como inestable.

Lo antes expuesto se resume en definir como un híbrido estable a aquella poco afectada por las condiciones del ambiente, representada por un coeficiente de regresión cercano a cero ó (**b**= 0), que correspondería a una variedad que funciona bien en ambientes pobres y no responde en ambientes buenos (Márquez, 1973; Brauer, 1978; Eskridge, 1990).

III: 6. 1. 2. Eberhart y Russell (1966)

Este método mejor conocido como el de parámetros de estabilidad se utilizó en base al modelo de regresión lineal simple (Finlay y Wilkinson, 1963), donde la regresión de cada variedad del rendimiento de grano sobre un índice ambiental y una función de las desviaciones de dicha regresión, fueron considerados como los mejores estimadores de los parámetros de estabilidad, los cuales se describen en el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Media de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente.

μ_i = Media de la i -ésima variedad sobre todos los ambientes.

β_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i -ésima variedad a través de los ambientes.

I_j = Índice ambiental obtenido como la diferencia entre la media de todas las variedades en el j -ésimo ambiente y la media general.

δ_{ij} = Desviación de la línea de regresión de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente.

Este modelo permitió separar la interacción genotipo-ambiente en dos partes:

1) la variación debida a la respuesta de la variedad a las variaciones de los índices ambientales (suma de cuadrados debida a la regresión).

2) Las desviaciones no explicables de la regresión sobre los índices ambientales.

Se consideró como estable aquella variedad con un coeficiente de regresión igual a uno ($b_i = 1$) y una desviación de regresión igual a cero ($S^2 d_i = 0$).

Estos estimadores de los parámetros que permiten predecir el comportamiento de cada variedad, se obtuvieron desarrollando las siguientes ecuaciones:

(1) El índice ambiental se determinó al sustraer del rendimiento promedio de todos los híbridos experimentales y comerciales que participaron en los ocho ambientes de prueba, el rendimiento promedio de todos los híbridos en un ambiente en particular.

$$[I_j = (\sum_i Y_{ij} / v) - (\sum_i \sum_j Y_{ij} / Nn)]$$

$$i= 1,2,3,\dots,v$$

$$j= 1,2,3,\dots, n$$

(2) = El coeficiente de regresión (b_i) considerado como el primer parámetro de estabilidad que mide la respuesta de la variable dependiente (Y= el carácter en estudio en este caso el rendimiento de grano) por unidad de cambio de la variable independiente (X= índice ambiental), se obtuvo utilizando el estadístico:

$$b_i = \sum_j Y_{ij} I_j / \sum_j I_j^2$$

(3) Las desviaciones de regresión consideradas como el segundo parámetro de estabilidad, se obtuvo al elevar las desviaciones al cuadrado y sumarlas [$\hat{\sigma}_{ij}=(Y_{ij}-\hat{Y}_{ij})$], midiendo así la proporción en que la respuesta predicha está de acuerdo con la respuesta observada é incluso determinando las interacciones genético-ambiental. Indicando si los rendimientos de los híbridos experimentales son o no predecibles (estables).

$$S^2 d_i = [\sum_j \hat{\sigma}_{ij}^2 / (n-2)] - S^2 e / r$$

Una vez, obtenidos los resultados en base al método de parámetros de estabilidad, se procedió a utilizar la tabla de clasificación propuesta por Carballo (1970) con la finalidad de hacer la interpretación adecuada de los resultados encontrados en los coeficientes

de regresión y las desviaciones de la regresión, para definir así las variedades en base a su consistencia (Cuadro 1) (Márquez, 1973).

III. 6. 1. 3. Gabriel (1972)

Para el análisis de los datos de rendimiento de grano se utilizó el paquete computacional del SAS aplicando la técnica multivariada conocida como Biplot (Gabriel's Biplot) basándose en un análisis de componentes principales (PCA). Esta técnica permitió colocar los datos en una matriz conformada por hileras y columnas, para efectuar el análisis de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Zobel *et al.*, 1988). Esta técnica separa los efectos aditivos y multiplicativos mediante un análisis multivariado de componentes principales el cual detectó el componente principal que mostraba la mayor variación.

Con el modelo AMMI primero se estimaron linealmente los efectos de la media general μ , E_j y G_i , para después, en forma bilineal, calcular los residuales de las medias de las combinaciones de ambientes por genotipos al ajustar μ , E_j y G_i , llamado ajuste bilineal, obteniéndose este por medio de vectores y valores característicos expresados en graficas de dos dimensiones que permitieron identificar la interacción de los genotipos en los ambientes de prueba.

Expresándose la notación del modelo utilizado de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} y_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente.

μ = Media general

G_i = Desviaciones de los genotipos respecto a la media general.

E_j = Desviaciones de los ambientes respecto a la media general.

λ_k = Eigenvalores (valores característicos) del análisis de componentes principales en las graficas k.

α_{ik} = Scores del Componente principal de la grafica k, para i-ésimo efectos entre las parcelas vecinas

y_{jk} = Efectos entre las parcelas vecinas

n = Es el número de componentes principales retenidos en el modelo

ϵ_{ij} = Error experimental

III. 6. 2. Propuestas metodológicas para medir la estabilidad del rendimiento

Las propuestas para medir la estabilidad del rendimiento se hicieron en base a las necesidades de evaluación de algunos fitomejoradores sin modificar los híbridos comerciales utilizados por los productores, los métodos de siembra, aplicaciones de agroquímicos, etc., quienes requieren utilizar genotipos realmente superiores en características agronómicas y en rendimiento de grano. Bajo ésta consideración, en cada ambiente de prueba, los ensayos de los híbridos experimentales de sorgo para grano se sembraron en cada ambiente de prueba simultáneamente con la siembra del productor, quedando distribuidas las unidades experimentales en cada repetición como se indicó en la Figura 1. Esto permite obtener resultados en forma práctica y segura para identificar los mejores híbridos experimentales de sorgo bajo las prácticas de manejo del agricultor.

III. 6. 2. 1. Estratificación genético-ambiental

La propuesta del concepto de estratificación genético-ambiental contempla diferentes aspectos de “estratificación”, en este trabajo se procedió a seleccionar los híbridos experimentales superiores estables en rendimiento de grano en relación al mejor testigo local bajo tres modalidades de selección:

III. 6. 2. 1. 1. Selección por regresión de híbridos experimentales en base a su rendimiento de grano respecto a los mejores testigos seleccionados en cada ambiente de prueba.

Los híbridos experimentales, conjuntamente con los híbridos elegidos por los productores (híbridos comerciales) en cada ambiente de prueba, se evaluaron mediante un análisis de varianza y con la comparación de medias por DMS, se identificó el mejor testigo en cada ambiente. Así, el híbrido comercial más sobresaliente en rendimiento en cada ambiente se utilizó como testigo para comparar la media de rendimiento de los híbridos experimentales en cada ambiente; asimismo se estimó el coeficiente de variación y se identificaron aquellos con mínima varianza. Con lo anterior, se estableció como criterio para seleccionar un híbrido como estable, aquel que fuera estadísticamente superior al mejor testigo en al menos un ambiente.

III. 6. 2. 1. 2. Selección por regresión de híbridos experimentales en base a su rendimiento de grano respecto al comportamiento del testigo adyacente sembrado por el productor en cada ambiente de prueba.

Los híbridos experimentales se sembraron contiguos al híbrido comercial que eligió el productor para su siembra en ese ciclo agrícola, bajo el diseño de bloques completos al azar para el análisis estadístico de los datos de rendimiento de grano y comparar su comportamiento con los híbridos experimentales de cada ambiente en base al rendimiento. Se estableció el criterio de considerar como híbridos estables aquellos que en los ambientes de prueba fueron iguales ó superiores en rendimiento al testigo comercial.

III. 6. 2. 1. 3. Selección por regresión de híbridos experimentales en base a su rendimiento de grano respecto al comportamiento del testigo que se repite en todos los ambientes.

En las siembras de los experimentos se incluyeron diferentes híbridos comerciales elegidos por los productores, dentro de los cuales en los ambientes se repetían híbridos comerciales en diferentes frecuencias, existiendo uno que se repitió como testigo en los ocho ambientes de prueba de este trabajo, por lo que, este híbrido comercial asignado sistemáticamente por el productor en los diferentes ambientes es considerado como el principal indicador de la variabilidad en cada ambiente. Se identificaron como híbridos experimentales estables aquellos que presentaron un comportamiento superior al testigo en base a su media de rendimiento, en todos los ambientes de prueba.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. 1. Análisis de estabilidad del rendimiento.

La estabilidad del rendimiento inicialmente fue estimada utilizando las tres metodologías más utilizadas bajo los análisis estadísticos convencionales y aplicando el concepto de estabilidad por estratificación genético-ambiental de genotipos en localidades propuestas en esta investigación.

IV. 1. 1. Metodologías convencionales para medir la estabilidad del Rendimiento.

IV.1.1.1. Media del rendimiento en todos los ambientes.

Tradicionalmente se ha considerado como estable la variedad que presenta la mayor media en todos los ambientes, aunque éste promedio puede enmascarar un bajo rendimiento en un ambiente de prueba como resultado de tener un rendimiento muy alto en otro ambiente, no obstante este ha sido un criterio para identificar variedades estables en su rendimiento. En el Cuadro 5 se presenta el concentrado de rendimiento de los híbridos experimentales ensayados y un testigo que se repitió en todos los ambientes de prueba, los datos se analizaron como un factorial considerando los ocho ambientes de prueba y 16 genotipos, los 15 híbridos experimentales y el híbrido que se repitió en todos los ambientes (Pioneer 8310), la interacción híbridos por ambientes de prueba resultó altamente significativa ($P > F = 0.000$), lo que indicó que para cada ambiente se debería hacer una prueba de comparación de medias para identificar el mejor híbrido en cada uno de los ambientes; sin embargo como el objetivo fue el de caracterizar los híbridos por su estabilidad, esto implicaría que la interacción no fuese significativa, lo cual, como se esperaba, no ocurrió, en consecuencia bajo la consideración de que el híbrido con mayor media sería el más estable, se tendría que numéricamente los cinco híbridos más estables fueron 1823 x 1230, 1831 x 151, 1831 x 163, 1831 x 1230 y 1829 x 162.

Cuadro No. 5 Concentrado de medias de rendimiento en (ton ha⁻¹) de 15 híbridos experimentales y 3 híbridos comerciales testigo en las modalidades; el que se repite en todos los ambientes¹, el mejor testigo² y el testigo adyacente³ de sorgo para grano con 2 repeticiones (16 columnas) en 8 ambientes (columnas) en el Noreste de México, distribuidos por Genotipo-Repeticón-Ambiente (GRA).

Híbridos	AP 1		AP2		AP3		AP4		AP5		AP6		AP7		AP8		ȳ
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
1823x151	3.6	3.6	3.1	5.3	3.6	1.4	1.2	1.0	4.9	7.7	10.5	9.1	6.1	6.5	2.3	4.4	4.65
1823x154	4.7	4.2	1.5	2.7	1.3	1.0	2.4	4.3	3.8	5.0	12.8	9.1	9.9	6.9	1.0	3.1	4.61
1823x1230	5.0	4.2	4.4	2.2	2.7	2.4	2.0	1.7	4.3	6.4	11.8	15.9	8.0	8.9	1.7	5.8	5.46
1829x150	4.0	3.3	2.1	2.8	2.2	1.5	3.7	5.4	4.9	3.6	9.7	9.2	8.3	7.3	1.8	3.4	4.58
1829x151	4.5	3.0	2.0	1.5	1.3	2.1	3.5	4.5	4.3	5.9	12.4	11.3	9.7	6.3	3.4	6.8	5.16
1829x153	4.3	3.3	4.3	5.5	1.4	1.6	4.7	4.0	3.6	5.2	6.4	8.3	7.7	8.4	2.9	6.6	4.89
1829x159	4.2	3.6	2.6	1.0	1.3	2.0	2.8	3.9	5.4	6.0	9.3	14.5	7.8	10.0	2.3	4.2	5.06
1829x162	4.2	2.1	2.2	2.6	1.8	3.0	1.7	3.2	6.4	7.5	16.4	11.9	7.7	6.5	2.4	5.4	5.31
1831x150	4.5	4.5	4.5	5.2	2.2	2.6	2.0	3.6	7.2	7.0	5.6	5.3	6.2	7.6	2.3	5.6	4.74
1831x151	4.8	2.1	3.0	2.3	2.5	1.6	4.0	6.0	8.5	8.4	6.3	10.3	8.6	10.3	3.0	4.7	5.40
1831x154	4.0	3.0	3.4	3.1	2.5	1.4	3.0	3.1	7.4	7.7	11.5	9.2	7.3	7.6	3.2	4.0	5.09
1831x159	5.0	4.5	5.5	5.9	2.2	2.1	3.5	3.3	6.4	5.9	6.8	6.9	9.1	7.0	2.0	3.6	4.98
1831x162	4.2	4.2	1.0	3.1	1.2	2.0	1.5	1.0	10.7	11.3	11.8	10.8	9.0	6.9	2.0	3.5	5.26
1831x163	3.3	3.3	2.6	2.1	2.6	1.7	5.5	3.5	7.4	8.7	11.8	8.9	9.2	8.9	2.3	4.4	5.39
1831x1230	4.7	3.9	3.7	3.5	2.3	1.8	2.0	4.7	7.9	8.5	8.3	6.9	10.5	12.4	2.0	2.9	5.38
¹ P-8310	4.3	3.8	3.8	2.3	1.1	1.8	1.6	2.0	7.1	5.9	8.4	8.5	6.4	7.4	2.0	3.6	4.37

¹ Medias de rendimiento en (ton ha⁻¹) del híbrido comercial que se repitió en los ocho ambientes de prueba
AP1 = Marín OI 97, AP2 = Marín OI 99, AP3 = Linares OI 98, AP4 = Linares OI 99, AP5 = Díaz Ordaz OI 98, AP6 = Díaz Ordaz OI 99, AP7 = San Fernando OI 98, AP8 0 San Fernando PV 99

IV. 1. 1. 1. Finlay y Wilkinson (1963) con el testigo que se repite en todos los ambientes de prueba.

Los híbridos experimentales que resultaron como superiores fueron 15 (Cuadro 5), los cuales se identifican en las figuras y cuadros con la nomenclatura “G” y los tres dígitos corresponden; el primero a la identificación del progenitor femenino y los últimos dos al

progenitor masculino (1823x151 = G351) y para estandarizar la matriz de resultados se tomo como tratamiento 16 el híbrido comercial, que como testigo se repitió en todos los ambientes de prueba, quedando finalmente integrada la base de datos de rendimiento de grano expresado en toneladas por hectárea (ton ha⁻¹) con 16 tratamientos (genotipos) y 8 ambientes (localidades y años) de prueba (Cuadro 6).

Los resultados obtenidos, del análisis de regresión lineal de genotipos por ambientes de la matriz de datos (Cuadro 5) la cual se utilizo en el modelo estadístico de efectos principales e interacción multiplicativa AMMI (Gabriel's Biplot). En el análisis de varianza, para la interacción G X A se encontró una muy alta significancia (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza (ANAVA) conjunto de genotipos y ambientes incluyendo el análisis de regresión de Finlay y Wilkinson, con distribución normal e independiente, media cero y varianza δ^2 .

Fuente de Variación	G. L ¹	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	P>F
Ambientes	7	1772.11215	253.15888	0.0000151*
Bloques	8	52.40969	6.55121	0.0000016*
Genotipos	15	33.71809	2.24787	0.0157454*
G x A	105	403.65348	3.84432	0.0000000*
Regresión Conj.	1	31.70006	31.70006	0.0000003*
Genotipos Regrs.	14	84.04535	6.00324	0.0000000*
Ambientes Regrs.	6	19.29644	3.21607	0.0098634*
Residual	84	268.61163	3.19776	0.0000000*
Error	120	130.27531	1.08563	
Total	255	2392.16871	9.38105	

¹ Grados de libertad. ^{ns} No significativa (P>0.05). * Significativa (P<0.05).

Por otra parte, en el Cuadro 7 se aprecian los datos del coeficiente regresión (b_i) y la R^2 de los genotipos que se están evaluando. Donde los híbridos 1823x151, 1829x150, 1829x151, 1831x151, 1831x154 y 1831x1230 presentan un coeficiente de regresión cercano a cero que bajo el criterio de Finlay y wilkinson corresponderá a los híbridos que no mostraron respuesta a los cambios ambientales, esto es que son estables a un nivel de R^2 de 0.08, 0.01, 0.04 y 0.002 respectivamente.

Cuadro 7. Valores de la regresión lineal de Finlay-Wilkinson de 16 genotipos y 8 ambientes con 2 repeticiones.

No.	Genotipo	Identificación	b_i	R^2
1	1823x151	G351	-0.10705	0.07324
2	1823x154	G354	0.15672	0.16374
3	1823x1230	G330	0.31242	0.28164
4	1829x150	G950	-0.10053	0.08321
5	1829x151	G951	0.11657	0.06560
6	1829x153	G953	-0.39049	0.49267
7	1829x159	G959	0.26135	0.50991
8	1829x162	G962	0.35297	0.32337
9	1831x150	G150	-0.53572	0.64533
10	1831x151	G151	-0.05649	0.01742
11	1831x154	G154	0.03740	0.04028
12	1831x159	G159	-0.38038	0.47494
13	1831x162	G162	0.28080	0.20470
14	1831x163	G163	0.12680	0.18900
15	1831x1230	G130	0.02754	0.00221
16	P-8310	GP10	-0.10190	0.19607

Siguiendo los conceptos de Finlay y Wilkinson, seis de los dieciséis híbridos mostraron un coeficiente regresión (b_i) >0 y <1 , estos fueron: 1823x154 con una $b_i = 0.15$ y una $R^2 = 0.16$, 1823x1230 con una $b_i = 0.31$ y una $R^2 = 0.28$, 1829x159 con una $b_i = 0.26$ y una $R^2 = 0.50$; el 1829x162 con una $b_i = 0.35$ y una $R^2 = 0.32$; el 1831x162 con una $b_i = 0.28$

y una $R^2 = 0.20$ y el 1831x163 con una $b_i = 0.12$ y una $R^2 = 0.18$ lo que corresponde bajo este criterio, a los híbridos con mayor estabilidad ó que responden a cambios del ambiente en muy baja escala.

También, bajo este criterio de estabilidad, se identificaron siete híbridos con un coeficiente de regresión negativo, que fueron los híbridos que presentaron disminución del rendimiento en ambientes favorables y que se clasifican como genotipos sensibles a los cambios del ambiente ó inestables.

En la Figura 2, que es copia de los datos obtenidos del análisis estadístico AMMI se identifican los híbridos que presentan interacción ó estabilidad en los ambientes de prueba, observándose en el eje de las ordenadas el coeficiente de regresión y en el eje de las coordenadas el rendimiento promedio de los genotipos, también se aprecia la ubicación de los ambientes en base al índice de rendimiento promedio de cada uno de ellos. El híbrido 1831x162 con una $b_i = 0.28$ y una $R^2 = 0.20$ (Cuadro 8) es identificado por sus valores de b_i y R^2 como estable y con la media de rendimiento de grano más alta (5.63 ton ha^{-1}) de todos los híbridos experimentales evaluados, respondiendo bien en ambientes favorables como es el caso de San Fernando '98 y Díaz Ordaz '99. El híbrido experimental 1831x150 muestra inestabilidad y media de rendimiento baja (4.74 ton ha^{-1}) interactuando con ambientes desfavorables como San Fernando '99 y Marín '97, con una $b_i = -0.53$ y una $R^2 = 0.64$.

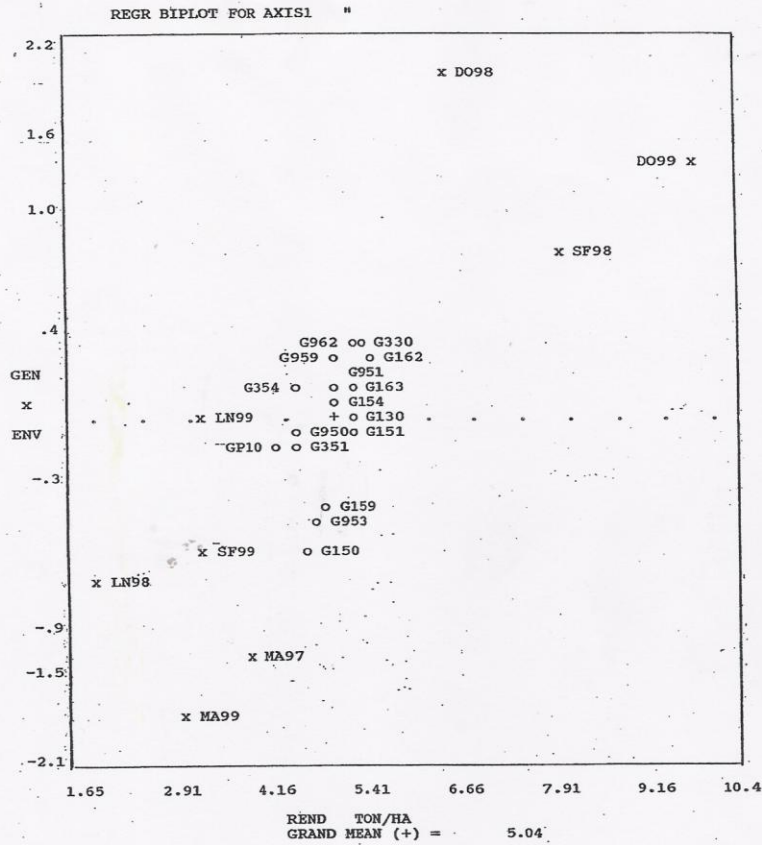


Figura 2. "Biplot" de datos de rendimiento de 16 híbridos de sorgo y 8 ambientes y la interacción genotipo-ambiente en base a los valores de la regresión (Finlay y Wilkinson, 1966).

V. 1. 1. 2. Eberhart y Russell (1966), con el testigo que se repite en todos los ambientes.

En base a los resultados obtenidos en el análisis de varianza del modelo propuesto por Eberhart y Russell (1966) para los ensayos de rendimiento en las ocho localidades de prueba, con el que se calcularon los parámetros de estabilidad (Cuadro 8) se observa que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos a nivel de $\alpha = 0.05$; sin embargo, existen diferencias altamente significativas en la interacción genotipo x ambiente a nivel de $\alpha = 0.01$; reflejando este resultado en la prueba de F que existen diferencias genéticas entre los híbridos para su regresión sobre los índices ambientales. Resultando once genotipos con diferencias estadísticas significativas y cinco genotipos no mostraron diferencias significativas.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 9 de clasificación de los genotipos en base a los valores de los parámetros (b_i y Sd_i^2) y a la clasificación propuesta por Carballo en 1970 (Cuadro 1). El híbrido experimental 1831x154 con $b_i = 1.03$ y $Sd_i^2 = -0.25$ puede considerarse como el único híbrido estable dentro de la categoría propuesta por Eberhart y Russell (1966) de genotipos estables donde $b_i = 1$ y $Sd_i^2 = 0$. Por otra parte los híbridos 1831x151, 1831x1230 que mostraron valores de los parámetros de estabilidad $b_i = 1$ y $Sd_i^2 > 0$ se ubicaron en la categoría de genotipos con buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistentes. En la categoría de parámetros de estabilidad $b_i < 1$ y $Sd_i^2 = 0$ sólo se identificó el híbrido comercial P-8310 que corresponde a los genotipos que responden bien en ambientes desfavorables y son consistentes. En la siguiente categoría que corresponde a los parámetros de estabilidad con valores de $b_i < 1$ y $Sd_i^2 > 0$ se identificaron los híbridos experimentales 1823x151, 1829x150, 1829x153, 1831x150 y el 1831x159 que de acuerdo a la clasificación de Carballo respondieron bien en ambientes desfavorables y fueron consistentes. En la siguiente categoría de parámetros de estabilidad con valores de $b_i > 1$ y $Sd_i^2 = 0$ se identificaron sólo el híbrido experimental 1829x159 que fue el que expresó un buen comportamiento de rendimiento promedio de grano en ambientes buenos y fue consistente.

Cuadro 8. Análisis de varianza conjunto de genotipos-ambientes para determinar los parámetros de estabilidad, con distribución normal e independiente, media cero y varianza δ^2 .

Fuente de Variación	G. L ¹	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	P>F
Total	127	1115.539307			
Tratamientos	15	13.368896	0.891260	0.580	0.884 ^{ns}
Amb. G x A	112	1102.170410			
Amb. Lineal	1	892.786011			
G x A Lineal	15	61.826607	4.121774	2.682	0.002 [*]
Desv. Conj.	96	147.557800	1.537060		
Genotipo 1	6	8.109542	1.351590	2.447	0.028 [*]
Genotipo 2	6	7.224576	1.204096	2.180	0.049 [*]
Genotipo 3	6	13.023314	2.170552	3.930	0.002 [*]
Genotipo 4	6	6.705918	1.117653	2.024	0.067 ^{ns}
Genotipo 5	6	11.096025	1.849338	3.348	0.005 [*]
Genotipo 6	6	8.874749	1.479125	2.678	0.018 [*]
Genotipo 7	6	3.853445	0.642241	1.163	0.330 ^{ns}
Genotipo 8	6	14.164478	2.360746	4.274	0.001 [*]
Genotipo 9	6	8.559203	1.426534	2.583	0.022 [*]
Genotipo 10	6	10.514405	1.752401	3.173	0.007 [*]
Genotipo 11	6	1.803978	0.300663	0.544	0.775 ^{ns}
Genotipo 12	6	8.769576	1.461596	2.646	0.019 [*]
Genotipo 13	6	18.681739	3.113623	5.638	0.000 [*]
Genotipo 14	6	4.350925	0.725154	1.313	0.256 ^{ns}
Genotipo 15	6	18.980425	3.163404	5.728	0.000 [*]
Genotipo 16	6	2.845777	0.474296	0.859	0.529 ^{ns}
Error Pond.	120	132.551468	0.552298		

¹Grados de libertad. ^{ns}No significativa (P>0.05). ^{*}Significativa (P<0.05). El número del genotipo corresponde al orden de los híbridos del Cuadro 5

Cuadro 9. Concentrado de resultados de la estimación de los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966)

Híbridos	Ident.	\bar{Y}	b_i	δd_i^2	F cal.	P>F	Clasificación ($b_i, \delta d_i^2$)
1)1823x151	G351	4.70	0.87	0.79	2.4*	0.02	<1 >0 A. desfv. e inconsistente
2)1823x154	G354	4.60	1.15	0.65	2.1*	0.04	>1 >0 A. fav. e inconsistente
3)1823x1230	G330	5.46	1.31	1.61	3.9**	0.00	>1 >0 A. fav. e inconsistente
4)1829x150	G950	4.57	0.89	0.56	2.0NS	0.06	<1 >0 A. desfv. e inconsistente
5)1829x151	G951	5.15	1.10	1.29	3.3**	0.00	>1 >0 A. fav. e inconsistente
6)1829x153	G953	4.88	0.60	0.92	2.6*	0.01	<1 >0 A. desfv e inconsistente
7)1829x159	G959	5.05	1.25	0.08	1.1 NS	0.33	>1 =0 A. fav. y consistente
8)1829x162	G962	5.31	1.34	1.80	4.2**	0.00	>1 >0 A. fav. e inconsistente
9)1831x150	G150	4.74	0.46	0.87	2.5*	0.02	<1 >0 A. desfv e inconsistente
10)1831x151	G151	5.40	0.93	1.20	3.1**	0.00	=1 >0 En todos los A. Inconst
11)1831x154	G154	5.08	1.03	-0.25	0.5 NS	0.77	=1 =0 Híbrido estable
12)1831x159	G159	4.98	0.61	0.90	2.6*	0.01	<1 >0 A. desfv e inconsistente
13)1831x162	G162	5.63	1.37	2.56	5.6**	0.00	>1 >0 A. fav. e inconsistente
14)1831x163	G163	5.38	1.11	0.17	1.3 NS	0.25	>1 >0 A. fav. e inconsistente
15)1831x1230	G130	5.37	1.02	2.61	5.7**	0.00	=1 >0 En todos los A. Inconst
16) P-8310	GP10	4.43	0.89	-0.07	0.8 NS	0.52	<1 =0 A. desfv. y consistente

* Nivel de significancia $\alpha = 0.05$ de $F_{G, L=6, 96} = 2.19$, para cada híbrido en relación a la $H_0 : \delta d_i^2 = 0$.

** Nivel de significancia $\alpha = 0.01$ de $F_{G, L=6, 96} = 2.99$, para cada híbrido en relación a la $H_0 : \delta d_i^2 = 0$.

En la categoría $b_i > 1$ y $Sd_i^2 > 0$ se identificaron seis de los híbridos experimentales el 1823x154, 1823x1230, 1829x151, 1829x162, 1831x162 y el 1831x163 que corresponde a los genotipos que respondieron bien en los ambientes buenos con medias de rendimiento altas, pero que son inconsistentes. En la Figura 3 se observa más claramente el comportamiento de los genotipos de acuerdo a los parámetros de estabilidad propuestos por Eberhart y Russell, presentándose como: a) estable con una $b_i = 1.03$ y $\delta d_i^2 = -0.25$ el híbrido experimental 1831 x 154 *(G154); b) el híbrido experimental 1823 x 1230 (G330) inconsistente pero que responde bien en ambientes favorables con un $b_i = 1.31$ y $\delta d_i^2 = 1.61$ y c) consistente ó estable que responde bien en ambientes desfavorables el híbrido comercial testigo Pioneer 8310 (Gp10)◊.

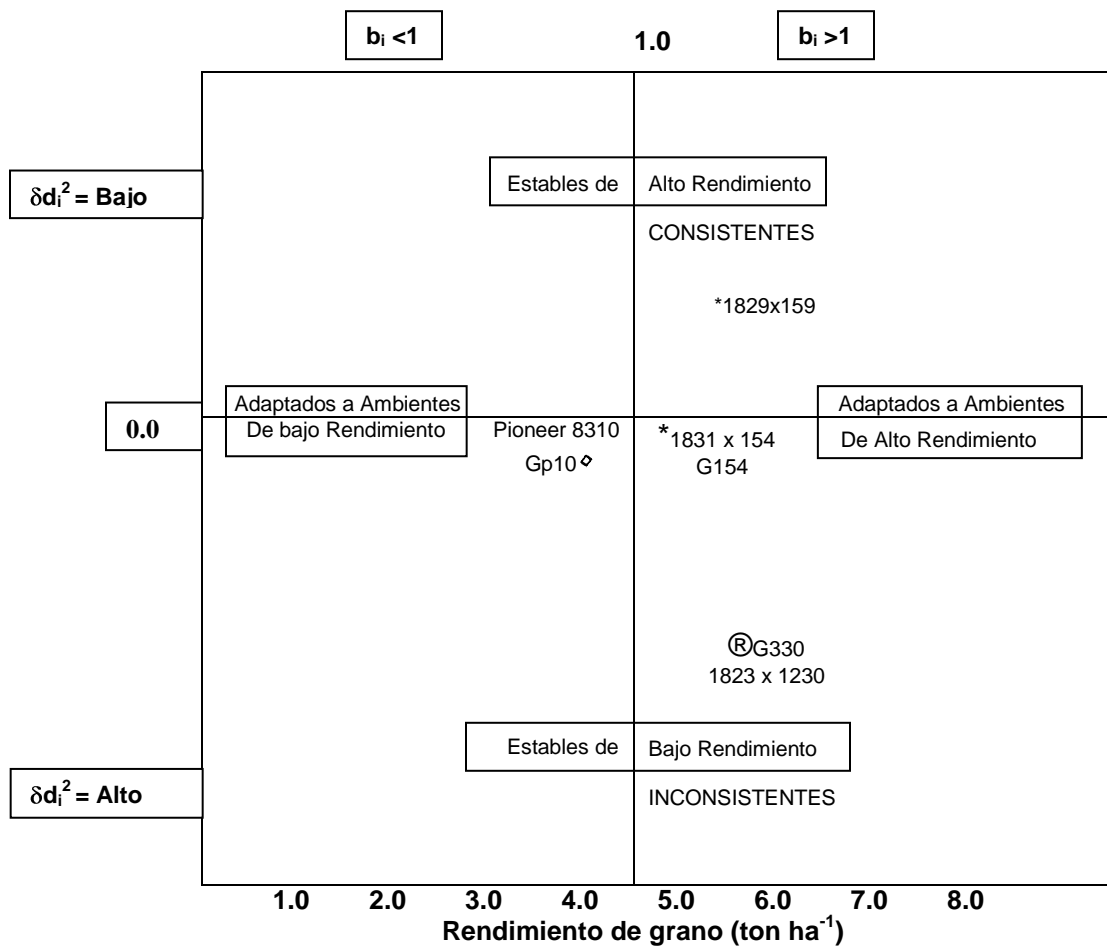


Figura 3. Interpretación de los datos de rendimiento en base a los parámetros de estabilidad b_i y δd_i^2 del análisis de regresión propuesto por Eberhart y Russell (1966).

IV. 1. 1. 3. Gabriel (1978), Método multivariado de componentes principales utilizando el modelo de efectos principales e interacción multiplicativa AMMI, con el testigo que se repite en todos los ambientes.

Como se menciona en el apartado de materiales y métodos, los datos de rendimiento de los genotipos evaluados en los diferentes ambientes se acomodaron con una distribución de genotipos, ambientes y repeticiones formando una matriz de datos (Cuadro 6); la cual se sometió al primer análisis de regresión lineal y de varianza en base a lo propuesto por Finlay y Wilkinson. Posteriormente el modelo AMMI somete los datos de rendimiento de grano a un análisis de varianza (Cuadro 11); para después, con los datos de las desviaciones de los CPA respecto a la media general se corre un análisis de varianza combinado, para obtener los “scores”, utilizando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Cuadro 12).

En los resultados del análisis de varianza con las medias de rendimiento de grano (ton ha⁻¹) de los 16 genotipos en los 8 ambientes de prueba (Cuadro 11) se encontró que para las fuentes de variación de genotipos y residual en la prueba de F no son significativas. Sin embargo, la interacción genotipo-ambiente componente principal 2 (CPA2) la prueba de F fue significativa y para las fuentes de variación de ambientes, bloques y en el componente principal 1 (CPA1) la prueba de F fue altamente significativa. Este resultado indica que no existen diferencias significativas estadísticamente a nivel de ($P > 0.05$) entre genotipos, pero si existe diferencia significativa a nivel de ($P > 0.05$) en la interacción genotipo-ambiente.

Los datos de las medias de rendimiento en ton ha⁻¹ de los genotipos y los scores de la interacción genotipo – ambiente se aprecian en la Figura 4.

Cuadro 11. Análisis de varianza con datos de rendimiento (ton ha⁻¹) de 16 genotipos de sorgo para grano (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) en 8 ambientes con 2 repeticiones, utilizando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI).

Fuente de Variación	G. L ¹	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	P>F
Ambientes	7	1793.16309	256.16616	0.0004401*
Bloques	8	131.14656	16.39332	0.0000007**
Genotipos	15	32.22215	2.14814	0.6349496 ^{ns}
G x A	105	401.15004	3.82048	0.0175190*
CPA 1	21	205.30137	9.77626	0.0000016**
CPA 2	19	97.12008	5.11158	0.0134270*
Residual	65	98.72859	1.51890	0.9894830 ^{ns}
Error	120	307.92844	2.56607	
Total	255	2665.61027	9.48463	

¹Grados de libertad. ^{ns}No significativa (P>0.05). *Significativa (P<0.05)

En los resultados del análisis de varianza combinado de componentes principales se encontró que la mayor variación se concentró en el componente principal uno (CPA1) siendo la prueba de F altamente significativa a nivel de (P>0.05) y en el componente principal dos (CPA2) también la prueba de F fue altamente significativa. Por lo que, los datos de los “escores” de genotipos y ambientes se tomaron de estos dos componentes (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza de componentes principales (CPA) de las desviaciones respecto a la media general, utilizando el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Con datos de los scores de 16 genotipos de sorgo de grano (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) en 8 ambientes con 2 repeticiones.

Fuente de Variación	G. L ¹	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	P>F
Tratamientos	127	2209.48371	17.39751	0.0000000**
CPA 1	23	1892.45829	82.28080	0.0000000**
CPA 2	21	137.27805	6.53705	0.0000000**
CPA 3	19	75.37216	3.96696	0.0000068*
CPA 4	17	56.20839	3.30638	0.0001968*
Residual	47	48.16681	1.02483	0.5790760 ^{ns}
Bloques	8	52.40969	6.55121	0.0000016*
Error	120	130.27531	1.08563	
Total	255	2392.16871	9.38105	

¹Grados de libertad. ^{ns}No significativa (P>0.05). *Significativa (P<0.05)

En el Cuadro 13 se observan los escores de los 16 híbridos y de los 8 ambientes, así como su media de rendimiento, datos que se encuentran en la grafica de la Figura 4. Se estima la interacción de los genotipos y de los ambientes en base a los valores de los escores (rangos), ubicándose en la grafica “biplot” en un cuadrante con datos de los residuales del CPA 1 (interacción genotipo – ambiente) y el rendimiento medio de grano en ton ha⁻¹. Al observar la figura 4 los genotipos G950(1829x150), G351(1823x154), G154(1831x151) y el G163(1831x163) son los que se encuentran en los escores(rangos) más cortos ó más cercanos al centro de la grafica “biplot”, por lo que son considerados como estables, mientras que los genotipos G330(1823x1230), G962(1829x162), G150(1831x150) y el G159(1831x159) son los que presentan la más alta interacción al estar más alejados del centro de la grafica “biplot”. Por otra parte los ambientes también, presentan interacción ó estabilidad dependiendo de los valores de los escores (rangos), considerándose SF’99 (San Fernando 1999) el ambiente más estable por ser el que se ubica más cerca al centro de la “biplot” de acuerdo a los valores de sus escores.

Cuadro 13. Valores de los rangos (score) del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). De 16 híbridos de sorgo de grano (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) y 8 ambientes expresados en ton ha⁻¹.

Genotipo	SCORE	Ambiente	SCORE
1823x151	0.0157549	Marín `97	-0.3205192
1823x154	0.5125020	Marín `99	-1.2048544
1823x1230	1.1739788	Linares `98	-0.1334105
1829x150	0.0393345	Linares `99	-0.4039654
1829x151	0.7675680	Díaz Ordaz `98	-0.4310935
1829x153	-0.8585874	Díaz Ordaz `99	2.8416422
1829x159	0.7512472	San Fernando `98	-0.3100073
1829x162	1.3624468	San Fernando `99	-0.0377922
1831x150	-1.4366088		
1831x151	-0.5573315		
1831x154	0.1267535		
1831x159	-1.1630215		
1831x162	0.3142966		
1831x163	0.1103008		
1831x1230	-0.8782633		
P-8310	-0.2803705		

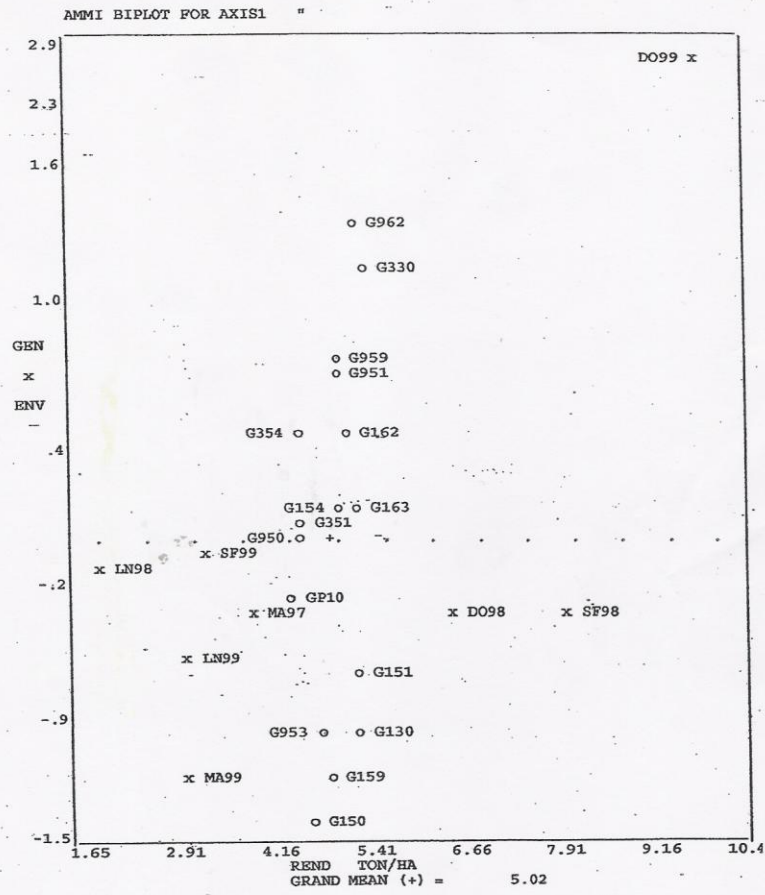


Figura 4. "Biplot" de datos de "escores" del análisis AMMI del CPA1 (interacción genotipo-ambiente) y rendimiento de grano de 16 híbridos de sorgo y 8 ambientes (Gabriel, 1972).

En el cuadro 14 se presentan los datos los de los escores de los 16 híbridos de los residuales de los CPA 1 y 2 y en el Cuadro15 se muestran los valores de los escores de los 8 ambientes de los residuales de los CPA 1 y 2. Estos valores se encuentran graficados en la “biplot” de la Figura 5.

Cuadro 14. Valores de los rangos (SCORE) CPA1 (Score1) y CPA2 (Score2) del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), de 16 híbridos de sorgo para rendimiento de grano (ton ha⁻¹) (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) con su identificación gráfica (Ident. Fig.) y las medias de rendimiento (Media Rend) en ton ha⁻¹.

No. híbrido	Híbridos	Ident. Fig.	Media Rend.	Score 1	Score 2
1	1823x151	G351	4.64	0.0157549	0.4037454
2	1823x154	G354	4.60	0.5125020	0.4009723
3	1823x1230	G330	5.46	1.1739788	0.6314268
4	1829x150	G950	4.57	0.0393345	0.5095893
5	1829x151	G951	5.15	0.7675680	0.4383840
6	1829x153	G953	4.88	-0.8585874	1.0050437
7	1829x159	G959	5.05	0.7512472	0.0447983
8	1829x162	G962	5.31	1.3624468	-0.0522143
9	1831x150	G150	4.74	-1.4366088	0.2094586
10	1831x151	G151	5.40	-0.5573315	-0.7903826
11	1831x154	G154	5.08	0.1267535	-0.2485301
12	1831x159	G159	4.98	-1.1630215	0.4822008
13	1831x162	G162	5.63	0.3142966	-1.6284635
14	1831x163	G163	5.38	0.1103008	-0.6935538
15	1831x1230	G130	5.38	-0.8782633	-0.7225486
16	P-8310	GP10	4.37	-0.2803705	0.0100739

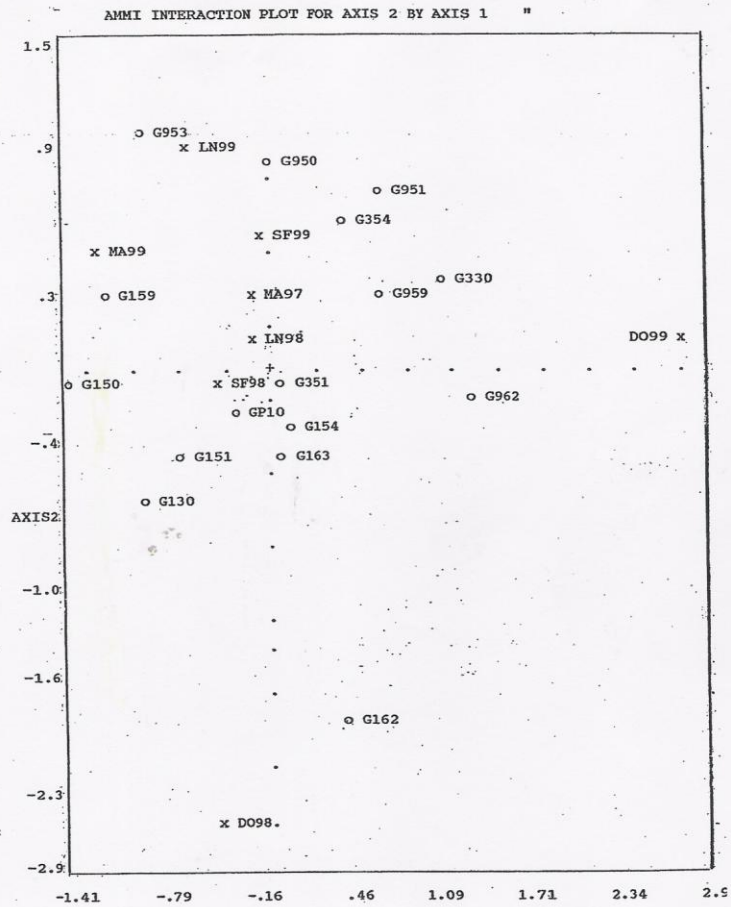


Figura 5. "Biplot" (Gabriel, 1972).de datos de "escores" del CPA1 y del CPA 2 de 16 híbridos de sorgo y 8 ambientes.

Cuadro 15. Valores de los rangos (SCORE) PCA1 y PCA2 del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), de los 8 ambientes de prueba y las medias de rendimiento expresadas en ton ha⁻¹.

No. Amb.	Localidad	Ident. en las Figuras	Media Red. (ton ha ⁻¹)	Score 1	Score 2
1	Marín '97	MA97	3.93	-0.32051	0.468018
2	Marín '99	MA99	3.15	-1.204854	1.044337
3	Linares '98	LN98	1.94	-0.133410	0.347317
4	Linares '99	LN99	3.32	-0.403965	-0.180567
5	Díaz O. '98	DO98	6.59	-0.431093	-2.172371
6	Díaz O. '99	DO99	9.87	2.8416422	0.129079
7	San Fdo. '98	SF98	8.13	-0.310007	-0.338510
8	San Fdo. '99	SF99	3.39	-0.037792	0.702697

Una vez analizados los datos de los “scores” para ambientes y genotipos (Figura 5) en la que se expresa la interacción genotipo-ambiente en una grafica doble “biplot” en la línea de las abscisas CPA 1 (AXIS 1) y en la línea de la ordenada el valor del CPA 2 (AXIS 2). Observando que los híbridos de mayor interacción por tener una mayor longitud del vértice de la grafica “biplot” al punto donde se ubico el escore (rango) del híbrido son: G162(1831x162), G953(1829x153), G159(1831x159), G962(1829x162), G150(1831x150) y el G130(1831x1230). El G351(1823x151) es el híbrido más estable por estar muy cercano al centro de la “biplot”. Los híbridos G354(1823x154), G951(1829x151), G154(1831x154) y el G163(1831x163) tienen una alta correlación positiva. Los híbridos G150(1831x150) y el G962(1829x162) presentan correlación negativa. Los híbridos G159(1831x159) y el G330(1823x1230) son muy diferentes entre sí presentando una correlación cercana a cero. También, se puede apreciar en la grafica (“biplot”) que los híbridos G953(1829x153) con el ambiente LN'99 (Linares 1999), G162(1831x162) en el ambiente DO'98 (Díaz Ordaz 1998) y el G351 (1823x151) con el ambiente SF'98 (San Fernando 1998) presentan una alta interacción residual.

Es importante mencionar que con los valores de los escores se estiman los incrementos ó de decrementos de la interacción de los genotipos con los ambientes, dado que los genotipos por su estructura genética presentan capacidad de adaptación a las variaciones del ambiente.

Con la información anterior, de acuerdo con Alberts (2004) se calculó el valor promedio de estabilidad o “Average Stability Value” (ASV) AMMI, por sus siglas en inglés, para cada uno de los híbridos, los cuales se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Valores promedio de estabilidad (ASV) para los híbridos estudiados y orden de estabilidad (OE)

No.	Híbrido	ASVAMMI	OE
1	1823x151	0.44	2
2	1823x154	1.15	6
3	1823x1230	2.56	14
4	1829x150	0.52	3
5	1829x151	1.68	8
6	1829x153	2.07	12
7	1829x159	1.59	7
8	1829x162	2.88	15
9	1831x150	3.04	16
10	1831x151	2.01	11
11	1831x154	0.36	1
12	1831x159	2.50	13
13	1831x162	1.76	9
14	1831x163	0.73	5
15	1831x1230	1.99	10
16	P-8310	0.59	4

En el cuadro #+1, se presentan las medias de rendimiento de grano (ton ha^{-1}) de los 16 híbridos evaluados, así como su clasificación de acuerdo a su comportamiento en base a los parámetros analizados para su selección en cada una de las tres formas tradicionales de medición de la estabilidad del rendimiento. Por el método propuesto de Finlay y Wilkinson, nueve (9) de los 16 híbridos experimentales serían seleccionados como estables y por los métodos de Eberhart y Russell y Gabriel (AMMI) tres (3) de los híbridos experimentales resultaron comportarse como estables.

Cuadro#+1. Concentrado de híbridos experimentales en las formas tradicionales de medición de la estabilidad del rendimiento de grano (ton ha^{-1}).

Cuadro #+1. Medias de rendimiento en (ton ha^{-1}) y diferentes índices para medir la estabilidad de 16 híbridos de sorgo para grano en la modalidad del híbrido comercial testigo que se repite en los ocho sitios de prueba del Noreste de México.

No.	Híbrido	M. Rend ton ha^{-1}	Finlay y Wilkinson (1963)				Eberhart y Russell (1966)			AMMI			
			OE	b_i	OE	R^2	OE	b_i	S^2_{di}	S^2_{di}/b_i	OE	ASV	OE
1	1823x151	4.65	13	-0.11	5	0.07	12	0.87	0.79	0.90	7	0.44	2
2	1823x154	4.61	14	0.16	8	0.16	10	1.15	0.65	0.56	5	1.15	6
3	1823x1230	5.46	1	0.31	11	0.28	6	1.31	1.61	1.22	9	2.56	14
4	1829x150	4.58	15	-0.10	4	0.08	11	0.89	0.56	0.62	6	0.52	3
5	1829x151	5.16	7	0.12	6	0.07	13	1.10	1.29	1.17	8	1.68	8
6	1829x153	4.89	11	-0.39	15	0.49	3	0.60	0.92	1.53	13	2.07	12
7	1829x159	5.06	8	0.26	9	0.51	2	1.25	0.08	0.06	1	1.59	7
8	1829x162	5.31	5	0.35	12	0.32	5	1.34	1.80	1.34	11	2.88	15
9	1831x150	4.74	12	-0.54	16	0.65	1	0.46	0.87	1.89	15	3.04	16
10	1831x151	5.40	2	-0.06	2	0.02	15	0.93	1.20	1.29	10	2.01	11
11	1831x154	5.09	9	0.37	13	0.04	14	1.03	-.25	-0.24	4	0.36	1
12	1831x159	4.98	10	-0.38	14	0.47	4	0.61	0.90	1.47	12	2.50	13
13	1831x162	5.26	6	0.28	10	0.20	7	1.37	2.56	1.86	14	1.76	9
14	1831x163	5.39	3	0.13	7	0.19	9	1.11	0.17	0.15	3	0.73	5
15	1831x1230	5.38	4	0.03	1	0.00	16	1.02	2.61	2.55	16	1.99	10
16	P-8310	4.43	16	-0.10	3	0.20	8	0.89	-.07	-0.07	2	0.59	4

En el cuadro anterior se aprecia que los híbridos más estables (en negrillas con el OE = 1) bajo los cuatro procedimientos de medición de la estabilidad ninguno coincidió, lo que indica que ninguno de los procedimientos convencionales de medición de la

estabilidad es confiable para definir cuál de los 15 híbridos experimentales debe llevarse por su estabilidad a la producción.

IV. 1. 2. Propuestas de selección de híbridos estables por estratificación genética ambiental

IV.1. 2. 1. Selección de híbridos experimentales por su comportamiento respecto al mejor testigo en cada ambiente de prueba.

Como se menciona en el apartado de materiales y métodos, aparte de los híbridos experimentales se incluyeron como tratamientos otros híbridos comerciales que se sabía eran sembrados por los productores en cada ambiente de prueba. Después de la cosecha y de los análisis estadísticos de estos últimos por separado se eligió en cada ambiente el híbrido comercial con la mayor media de rendimiento, para luego identificarlo como el mejor testigo en cada ambiente de prueba, para comparar contra este la media de rendimiento de los híbridos experimentales en cada ambiente de prueba, para considerar como los más estables aquellos que fueran superiores en al menos una localidad y que a la vez tuvieran baja desviación estándar y bajo coeficiente de variación.

Cuando el análisis de varianza detectó diferencia significativa entre híbridos se procedió a la prueba de la DMS protegida de Fisher bajo la modalidad de Valdés y Gómez (1995), estos resultados se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro17. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al mejor testigo (MT) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de todos los híbridos ensayados.

Híbrido	A3 (1)		A2 (2)		A1 (3)		A8 (4)	
	L´98 1.99 ton ha ⁻¹		MA´99 3.15 ton ha ⁻¹		MA´97 3.96 ton ha ⁻¹		SF´98 3.53 ton ha ⁻¹	
	Media	Med vs MT	Media	Med vs MT	Media	Med vs MT	Media	Med vs MT
1823 x 151	2,50	B	4,20		3,60	B	3.35	B
1823 x 154	1,15	B	2,10	B	4,45	B	2.05	C
1823 x 1230	2,55	B	3,30	B	4,60	B	3.75	B
1829 x 150	1,85	B	2,45	B	3,65	B	2.60	C
1829 x 151	1,70	B	1,75	B	3,75	B	5.10	B
1829 x 153	1,50	B	4,90	B	3,80	B	4.75	B
1829 x 159	1,65	B	1,80	B	3,90	B	3.25	B
1829 x 162	2,40	B	2,40	B	3,15	B	3.90	B
1831 x 150	2,40	B	4,85	B	4,50	B	3.95	B
1831 x 151	2,05	B	2,65	B	3,45	B	3.85	B
1831 x 154	1,95	B	3,25	B	3,50	B	3.60	B
1831 x 159	2,15	B	5,70	A	4,75	B	2.80	C
1831 x 162	1,60	B	2,05	B	4,20	B	2.75	C
1831 x 163	2,15	B	2,35	B	3,30	B	3.35	B
1831 x 1230	2,05	B	3,60	B	4,30	B	2.45	C
Mejor Test.	2,25	B	3,05	B	4,60	B	5.25	B
Mejor Test.	Px-364		P-8310		Cargil847		P-8428	
DMS 0.05	N. S.		2,35		N. S		2.35	
DMS L. S.			5,40				7.60	
DMS L. I.			0,70				2.90	

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), '## año, y #.## rendimiento medio en (ton ha⁻¹) de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.

A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al mejor testigo en cada ambiente

B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al mejor testigo en cada ambiente

C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al mejor testigo en cada ambiente

Continua.....

Cuadro17. Continuación.

Híbrido	A5 (5) DO'98 6.55 ton ha ⁻¹		A4 (6) LN'99 3.47 ton ha ⁻¹		A6 (7) SF'99 8.32 ton ha ⁻¹		A7 (8) DO'99 9.84 ton ha ⁻¹	
	Media	Media. Vs MT	Media	Media Vs MT	Media	Media Vs MT	Media	Media Vs MT
1823 x 151	6.30	B	1.10	C	6.30	C	9.80	B
1823 x 154	4.40	B	3.35	C	8.40	B	10.95	A
1823 x 1230	5.35	B	1.85	C	8.45	B	13.85	A
1829 x 150	4.25	B	4.55	C	7.80	B	9.45	B
1829 x 151	5.10	B	4.00	C	8.00	B	11.85	A
1829 x 153	4.40	B	4.35	C	8.05	B	7.35	B
1829 x 159	5.70	B	3.35	C	8.90	B	11.90	A
1829 x 162	6.95	B	2.45	C	7.10	C	14.15	A
1831 x 150	7.10	B	2.80	C	6.90	C	5.45	C
1831 x 151	8.45	A	5.00	B	9.45	B	8.30	B
1831 x 154	7.55	B	3.05	C	7.45	C	10.35	A
1831 x 159	6.15	B	3.40	C	8.05	B	6.85	B
1831 x 162	11.00	A	1.25	C	7.95	C	11.30	A
1831 x 163	8.05	B	4.50	C	9.05	B	10.35	A
1831 x 1230	8.20	B	3.35	C	11.45	B	7.60	B
Mejor Test.	6.00	B	7.25	B	9.85	B	7.95	B
Mejor Test.	P-8310		P-8310		P8133		P8133	
DMS 0.05	2.35		2.35		2.35		2.35	
DMS L. S.	9.60		9.60		11.95		10.80	
DMS L. I.	4.90		4.90		7.25		6.10	

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), '## año, y #.## rendimiento medio en (ton ha⁻¹) de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.

A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al mejor testigo en cada ambiente

B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al mejor testigo en cada ambiente

C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al mejor testigo en cada ambiente

El criterio teórico para que un híbrido experimental se considere estable es cuando su media es estadísticamente superior al mejor testigo en todos los ambientes, es difícil de alcanzar por lo que se consideró que el o los híbridos más estables serán aquellos que sean superiores al mejor testigo en al menos un ambiente de prueba y que estadísticamente no sean inferiores al mejor testigo en ningún ambiente de prueba, así

como presentar una media alta en los ambientes de prueba con una desviación estándar y un coeficiente de variación bajos, así considerando el criterio de estabilidad por estratificación genética ambiental.

Se puede observar en el Cuadro 18 que sólo el híbrido experimental 1831 x 151 (G151) fue igual estadísticamente al mejor testigo en los ocho ambientes de prueba al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ Por otra parte, se encontraron híbridos experimentales superiores estadísticamente ($P=.05$) al mejor testigo en algún ambiente pero inferiores en otros ambientes por lo que no deben ser liberación por inestables.

Cuadro 18. Medias de rendimiento en (ton ha^{-1}) de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al mejor testigo en cada ambiente.

Híbrido	Ident.	En todos los Ambientes	$\sqrt{S^2}$	C. V.	Resumen del Cuadro17, comparación vs MT
1823 x 151	G351	4,64	2,73	58,8	6=MT y 2<MT
1823 x 154	G354	4,61	3,40	73,9	1>MT, 5=MT y 2<MT
1823 x 1230	G330	5,46	3,95	72,3	1>MT, 6=MT y 1<MT
1829 x 150	G950	4,58	2,70	59,0	6=MT y 2<MT
1829 x 151	G951	5,16	3,38	65,5	1>MT, 6= MT y 1<MT
1829 x 153	G953	4,89	2,04	41,8	7=MT y 1<MT
1829 x 159	G959	5,06	3,62	71,6	1>MT, 6=MT y 1<MT
1829 x 162	G962	5,31	4,07	76,6	1>MT, 6=MT y 2<MT
1831 x 150	G150	4,74	1,72	36,2	5=MT y 3<MT
1831 x 151	G151	5,40	2,91	53,9	8=MT
1831 x 154	G154	5,09	2,96	58,2	7=MT, 1<MT
1831 x 159	G159	4,98	2,07	41,6	1>MT, 5=MT y 2<MT
1831 x 162	G162	5,26	4,21	79,9	2>MT, 4=MT y 2<MT
1831 x 163	G163	5,39	3,25	60,4	7=MT y 1<MT
1831 x 1230	G130	5,38	3,33	62,0	6=MT y 2<MT
Mejor Test.	GP10	5,87	2,56	43,6	Mejor Testigo

IV.1. 2. 2. Comparación de híbridos experimentales respecto al testigo adyacente en los ocho ambientes de prueba.

En el Cuadro 19 se aprecian los resultados para la comparación de las medias por la DMS bajo la modalidad de Valdés y Gómez (1995) del rendimiento medio de cada híbrido experimental respecto al testigo adyacente.

Cuadro 19. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al testigo adyacente (TA) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de grano en (ton ha⁻¹).de todos los híbridos ensayados.

Híbrido	A3 (1), L'98, 1.91 ton ha ⁻¹		A2, MA'99 (2) 3.15 ton ha ⁻¹		A4, L'99 (3) 3.25 ton ha ⁻¹		A1, MA'97 (4) 3.93 ton ha ⁻¹	
	Media	Vs TA	Media	Vs TA	Media	Vs TA	Media	Vs TA
1823 x 151	2,50	B	4,20	B	1,10	C	3,60	B
1823 x 154	1,15	B	2,10	B	3,35	B	4,45	B
1823 x 1230	2,55	B	3,30	B	1,85	B	4,60	B
1829 x 150	1,85	B	2,45	B	4,55	B	3,65	B
1829 x 151	1,70	B	1,75	B	4,00	B	3,75	B
1829 x 153	1,50	B	4,90	B	4,35	B	3,80	B
1829 x 159	1,65	B	1,80	B	3,35	B	3,90	B
1829 x 162	2,40	B	2,40	B	2,45	B	3,15	B
1831 x 150	2,40	B	4,85	B	2,80	B	4,50	B
1831 x 151	2,05	B	2,65	B	5,00	B	3,45	B
1831 x 154	1,95	B	3,25	B	3,05	B	3,50	B
1831 x 159	2,15	B	5,70	A	3,40	B	4,75	B
1831 x 162	1,60	B	2,05	B	1,25	C	4,20	B
1831 x 163	2,15	B	2,35	B	4,50	B	3,30	B
1831 x 1230	2,05	B	3,60	B	3,35	B	4,30	B
Test. Ady.	1,00	B	3,15	B	3,75	B	4,10	B
Test. Ady.	P-8282		P-83G66		Px-364		DK-38	
DMS 0.05	N.S		2,32		2,32		N.S.	
DMS L. S.			5,47		6,07			
DMS L. I			0.83		1.43			

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), ## año, y #.## rendimiento medio en (ton ha⁻¹) de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.

A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al testigo adyacente en cada ambiente
 B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al testigo adyacente en cada ambiente
 C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al testigo adyacente en cada ambiente

Continua.....

Cuadro 19. Continuación

Híbrido	A8, SF'98 (5) 3.53 ton ha ⁻¹		A5, DO'98 (6) 6.55 ton ha ⁻¹		A6, D0'99 (7) 8.32 ton ha ⁻¹		A7, SF'99 (8) 9.84 ton ha ⁻¹	
	Media		Media		Media		Media	
	Media	Vs TA	Media	Vs TA	Media	Vs TA	Media	Vs TA
1823 x 151	3.35	B	6.30	B	6.30	C	9.80	B
1823 x 154	2.05	C	4.40	B	8.40	B	10.95	A
1823 x 1230	3.75	B	5.35	B	8.45	B	13.85	A
1829 x 150	2.60	C	4.25	B	7.80	B	9.45	B
1829 x 151	5.10	B	5.10	B	8.00	B	11.85	A
1829 x 153	4.75	B	4.40	B	8.05	B	7.35	B
1829 x 159	3.25	B	5.70	B	8.90	B	11.90	A
1829 x 162	3.90	B	6.95	B	7.10	C	14.15	A
1831 x 150	3.95	B	7.10	B	6.90	C	5.45	C
1831 x 151	3.85	B	8.45	A	9.45	B	8.30	B
1831 x 154	3.60	B	7.55	B	7.45	C	10.35	A
1831 x 159	2.80	B	6.15	B	8.05	B	6.85	B
1831 x 162	2.75	B	11.00	A	7.95	C	11.30	A
1831 x 163	3.35	B	8.05	B	9.05	B	10.35	A
1831 x 1230	2.45	C	8.20	B	11.45	B	7.60	B
Test. Ady.	5.00	B	6.00	B	9.85	B	7.95	B
Test. Ady.	P-8133		HS-9500		P-83G66		P-8310	
DMS 0.05	2.32		2.32		2.32		2.32	
DMS L. S.	7.32		8.32		12.17		10.27	
DMS L. I.	2.68		3.68		7.53		5.63	

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), ## año, y ### rendimiento medio en ton ha⁻¹ de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.
 A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al testigo adyacente en cada ambiente
 B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al testigo adyacente en cada ambiente
 C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al testigo adyacente en cada ambiente

En el Cuadro 20 se presentan las medias de rendimiento (\bar{Y}) de los 16 híbridos experimentales, las desviaciones estándar $\sqrt{S^2}$ y el coeficiente de variación (CV %) de cada uno, estos parámetros estimados para el promedio de los diferentes testigos

adyacentes en los ocho ambientes de prueba, así como el resumen de los resultados del Cuadro 19.

Cuadro 20. Medias de rendimiento en ton ha⁻¹ de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al testigo adyacente en cada ambiente.

Híbrido	Ident.	Ȳ En todos los Ambientes	√S ²	C. V. %	Resumen del Cuadro19, comparación vs TA
1823 x 151	G351	4.64	2.73	58.8	6=TA y 2<TA
1823 x 154	G354	4.61	3.40	73.9	1>TA, 6=TA y 1<TA
1823 x 1230	G330	5.46	3.95	72.3	1>TA y 7=TA
1829 x 150	G950	4.58	2.70	59.0	7=TA y 1<TA
1829 x 151	G951	5.16	3.38	65.5	1>TA y 7=TA
1829 x 153	G953	4.89	2.04	41.8	8=TA
1829 x 159	G959	5.06	3.62	71.6	1>TA y 7=TA
1829 x 162	G962	5.31	4.07	76.6	1>TA, 6=TA y 1<TA
1831 x 150	G150	4.74	1.72	36.2	6=TA, 2<TA
1831 x 151	G151	5.40	2.91	53.9	1>TA y 7=TA
1831 x 154	G154	5.09	2.96	58.2	1>TA, 6=TA y 1<TA
1831 x 159	G159	4.98	2.07	41.6	1>TA y 7=TA
1831 x 162	G162	5.26	4.21	79.9	2>TA, 4=TA y 2<TA
1831 x 163	G163	5.39	3.25	60.4	1>TA y 7=TA
1831 x 1230	G130	5.38	3.33	62.0	8=TA
Media T. Ad.	GP10	5.10	2.80	54.9	T. Adyacente*

* T. Adyacente: sólo en Marín N. L. 99 y Díaz Ordáz Tamps. 99 se repitió el híbrido testigo adyacente que fue P-83G66, en los otros seis ambientes de prueba el testigo adyacente fue diferente.

Como se puede observar en el Cuadro 20 seis híbridos: 1823 x 1230 (G330), 1829 x 151 (G951), 1829 x 159 (G959), 1831 x 151 (G151), 1831 x 159 (G159) y el 1831 x 163 (G163), fueron superiores en un ambiente y en siete ambientes iguales estadísticamente al testigo adyacente al nivel de significancia $\alpha = 0.05$. También se puede apreciar que los híbridos experimentales 1829 x 153 (G153) y 1831 x 1230 (G130) fueron estadísticamente iguales a nivel de significancia $\alpha = 0.05$ al testigo adyacente y los otros ocho híbridos experimentales fueron inferiores al testigo adyacente en alguno de

sus ambientes de prueba siendo por ello inestables y por tanto no deben ser liberados a la producción.

Considerando las $\sqrt{S^2}$ y el CV, tanto los seis híbridos experimentales que fueron iguales y superiores al testigo adyacente como los dos que mostraron igualdad en rendimiento en los ambientes de prueba, pueden ser considerados potencialmente para liberarse a la producción; sin embargo, de estos ocho híbridos experimentales, el 1831 x 151 (G151) es el que presentó la media de rendimiento más alta en todas las localidades ($\bar{Y} = 5.4 \text{ ton ha}^{-1}$), la desviación estándar más baja ($\sqrt{S^2} = 2.91$) y el coeficiente de variación mas bajo (CV = 53.9%), por lo que este híbrido tendría preferencia para ser liberado a la producción por su alta estabilidad bajo el principio de estratificación genético ambiental utilizando como indicador ambiental el híbrido comercial adyacente sembrado por el agricultor.

IV. 1. 2. 3.- Comparación de híbridos experimentales respecto al testigo que se repite en los ocho ambientes de prueba.

En esta modalidad de estratificación genético-ambiental se comparan los híbridos experimentales contra un híbrido comercial utilizado como testigo en todos los ambientes de prueba, cumpliéndose la condición exigida por las metodologías de Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966) y Gabriel (1972) de considerar en los análisis estadísticos los mismos híbridos tanto experimentales como comerciales a través de los ambientes de prueba.

En el Cuadro 21 se presenta la comparación de medias de rendimiento de grano de los híbridos experimentales respecto al testigo que se repite en los ambientes.

Cuadro 21. Concentrado de medias de rendimiento de híbridos experimentales con respecto al testigo que se repite (TR) en los ocho ambientes de prueba (A#), ordenados (#) de menor a mayor rendimiento medio de todos los híbridos ensayados.

A3, L'98 (1)

A4, L'99 (2)

A8, SF'98 (3)

A2, MA'99 (4)

Híbrido	1.94 ton ha ⁻¹		3.13 ton ha ⁻¹		3.39 ton ha ⁻¹		3.93 ton ha ⁻¹	
	Media		Media		Media		Media	
	Media	Vs TR	Media	Vs TR	Media	Vs TR	Media	Vs TR
1823 x 151	2.50	B	1.10	B	3.35	B	4.20	B
1823 x 154	1.15	B	3.35	B	2.05	B	2.10	B
1823 x 1230	2.55	B	1.85	B	3.75	B	3.30	B
1829 x 150	1.85	B	4.55	A	2.60	B	2.45	B
1829 x 151	1.70	B	4.00	B	5.10	B	1.75	B
1829 x 153	1.50	B	4.35	A	4.75	B	4.90	B
1829 x 159	1.65	B	3.35	B	3.25	B	1.80	B
1829 x 162	2.40	B	2.45	B	3.90	B	2.40	B
1831 x 150	2.40	B	2.80	B	3.95	B	4.85	B
1831 x 151	2.05	B	5.00	A	3.85	B	2.65	B
1831 x 154	1.95	B	3.05	B	3.60	B	3.25	B
1831 x 159	2.15	B	3.40	B	2.80	B	5.70	A
1831 x 162	1.60	B	1.25	B	2.75	B	2.05	B
1831 x 163	2.15	B	4.50	A	3.35	B	2.35	B
1831 x 1230	2.05	B	3.35	B	2.45	B	3.60	B
T. R.: P-8310	1.45	B	1.80	B	2.80	B	3.05	B
Test. Rep.	N. S.		2.33		2.33		2.33	
DMS 0.05			4.13		5.13		5.38	
DMS L. S.			-0.53		0.47		0.72	

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), ## año, y #.## rendimiento medio en ton ha⁻¹ de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.
A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al testigo que se repite en todos los ambientes
B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al testigo que se repite en todos los ambientes
C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al testigo que se repite en todos los ambientes

Continua.....

Cuadro 21. Continuación

Híbrido	A1, MA'97 (5)		A5, DO'98 (6)		A7, SF'99 (7)		A6, DO'99 (8)	
	3.96 ton ha ⁻¹		6.59 ton ha ⁻¹		8.13 ton ha ⁻¹		9.87 ton ha ⁻¹	
	Media		Media		Media		Media	
	Media	Vs TR	Media	Vs TR	Media	Vs TR	Media	Vs TR
1823 x 151	3.60	B	6.30	B	6.30	B	9.80	B
1823 x 154	4.45	B	4.40	B	8.40	B	10.95	A
1823 x 1230	4.60	B	5.35	B	8.45	B	13.85	A
1829 x 150	3.65	B	4.25	B	7.80	B	9.45	B

1829 x 151	3.75	B	5.10	B	8.00	B	11.85	A
1829 x 153	3.80	B	4.40	B	8.05	B	7.35	B
1829 x 159	3.90	B	5.70	B	8.90	B	11.90	A
1829 x 162	3.15	B	6.95	B	7.10	B	14.15	A
1831 x 150	4.50	B	7.10	B	6.90	B	5.45	C
1831 x 151	3.45	B	8.45	B	9.45	A	8.30	B
1831 x 154	3.50	B	7.55	B	7.45	B	10.35	B
1831 x 159	4.75	B	6.15	B	8.05	B	6.85	B
1831 x 162	4.20	B	11.00	A	7.95	B	11.30	A
1831 x 163	3.30	B	8.05	B	9.05	B	10.35	B
1831 x 1230	4.30	B	8.20	B	11.45	A	7.60	B
T. R: P-8310.	3.60	B	6.50	B	6.90	B	8.45	B
Test. Rep.	N. S.		2.33		2.33		2.33	
DMS 0.05			8.85		9.23		10.80	
DMS L. S.			4.15		4.57		6.10	

A# = Ambiente número, localidad (L = Linares, MA = Marín, SF = San Fernando, DO = Díaz Ordáz), ## año, y #.## rendimiento medio en ton ha^{-1} de todos los híbridos experimentales ensayados en cada ambiente.
A = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente superior al testigo que se repite en todos los ambientes
B = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente igual al testigo que se repite en todos los ambientes
C = Media de rendimiento del híbrido experimental estadísticamente inferior al testigo que se repite en todos los ambientes

En el Cuadro 22 se observan las medias de rendimiento (\bar{Y}) en los ambientes de prueba, las desviaciones estándar ($\sqrt{S^2}$), el coeficiente de variación (CV) en % y las frecuencias de superioridad respecto al testigo que se repite (TR) en todos los ambientes de prueba.

Cuadro 22. Medias de rendimiento en ton ha^{-1} de híbridos experimentales en cada uno de los ambientes de prueba, desviación estándar, coeficiente de variación y número de veces que es superior, igual ó inferior respecto al testigo que se repite en todos los ambientes.

Híbrido	Ident.	\bar{Y} En todos los Ambientes	$\sqrt{S^2}$	C. V. %	Resumen del Cuadro 21, comparación vs TR
1823 x 151	G351	4.64	2.73	58.80	8=TR
1823 x 154	G354	4.61	3.40	73.87	1>TR y 7=TR
1823 x 1230	G330	5.46	3.95	72.30	1>TR y 7=TR

1829 x 150	G950	4.58	2.70	58.98	1>TR y 7=TR
1829 x 151	G951	5.16	3.38	65.47	1>TR y 7=TR
1829 x 153	G953	4.89	2.04	41.84	1>TR y 7=TR
1829 x 159	G959	5.06	3.62	71.60	1>TR y 7=TR
1829 x 162	G962	5.31	4.07	76.56	1>TR y 7=TR
1831 x 150	G150	4.74	1.72	36.23	7=TR y 1<TR
1831 x 151	G151	5.40	2.91	53.88	2>TR y 6=TR
1831 x 154	G154	5.09	2.96	58.24	8=TR
1831 x 159	G159	4.98	2.07	41.64	1>TR y 7=TR
1831 x 162	G162	5.26	4.21	79.94	2>TR y 6=TR
1831 x 163	G163	5.39	3.25	60.40	1>TR y 7=TR
1831 x 1230	G130	5.38	3.33	62.05	1>TR y 7=TR
T. R: P-8310	GP10	4.32	2.60	60.31	Testigo que se Repite

Al revisar los resultados consignados en el Cuadro 22, bajo la modalidad de la propuesta de estratificación genético-ambiental con el testigo que se repite en todos los ambientes, sólo el híbrido 1831 x 150 (G150), no es candidato para liberarse, debido a que en un ambiente, su media de rendimiento es inferior estadísticamente al testigo, recomendándose bajo este criterio para su liberación final catorce de los quince híbridos experimentales que se evaluaron.

IV. 1. 3. Selección tradicional vs. Propuestas de selección

En los siguientes apartados se presentan los concentrados de los resultados de las metodologías tradicionales utilizadas, así como los resultados de la propuesta de la presente investigación para la selección de híbridos experimentales en base a su estabilidad del rendimiento.

IV.1.3.1.1. Estabilidad por los métodos tradicionales.

En el Cuadro 16 en el apartado IV.1.1.4. Concentrado de híbridos más estables y de mayor rendimiento en cada forma tradicional de selección, se presentan los genotipos clasificados como estables o que presentan interacción con los ambientes de prueba de acuerdo a las metodologías de Finlay y Wilkinson, Eberhart y Russell y AMMI y se observa que en base a la metodología de Finlay y Wilkinson nueve híbridos resultaron ser estables con un b_i entre cero y uno, sólo tres fueron estables bajo la metodología de Eberhart y Russell con un coeficiente de regresión (b_i) igual a uno y una desviación de regresión (δd_i^2) igual a cero ó muy cercana a cero. Mientras que en la metodología propuesta por Gabriel (AMMI) tres híbridos fueron estables por ser los más cercanos al vértice (centro) de la grafica doble “biplot”, y sólo los híbridos 1831 x 154 (G154) y el testigo que se eligió para repetirse en todos los ambientes P-8310 (GP10), fueron clasificados como estables por las tres metodologías, en tanto que siete de los híbridos experimentales fueron considerados como híbridos que interactúan con el ambiente y otros siete fueron clasificados como estables o con interacción por una u otra metodología.

IV.1.3.1.2. Estabilidad por los métodos de estratificación genético ambiental propuestos.

Los resultados de la propuesta de estratificación genético-ambiental en las tres modalidades para la selección de híbridos experimentales como estables en su rendimiento se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Concentrado de híbridos experimentales en las formas propuestas de medición de la estabilidad del rendimiento de grano en toneladas por hectárea.

Híbridos	Ident.	\bar{Y}	T. Rep.	T. Ady.	M. Test
1) 1823x151	G351	4.70	Si	No	No
2) 1823x154	G354	4.60	Si	No	No
3) 1823x1230	G330	5.46	Si	Si	No
4) 1829x150	G950	4.57	Si	No	No

5)	1829x151	G951	5.15	Si	Si	No
6)	1829x153	G953	4.88	Si	Si	No
7)	1829x159	G959	5.05	Si	Si	No
8)	1829x162	G962	5.31	Si	No	No
9)	1831x150	G150	4.74	No	No	Si
10)	1831x151	G151	5.40	Si	Si	No
11)	1831x154	G154	5.08	Si	No	No
12)	1831x159	G159	4.98	Si	Si	No
13)	1831x162	G162	5.26	Si	No	No
14)	1831x163	G163	5.38	Si	Si	No
15)	1831x1230	G130	5.37	Si	Si	No
16)	P-8310	GP10	4.43	T. Rep.	T. Ady.	M. Test.

Si = Si se libera respecto a las condiciones del criterio de selección de Estratificación Genética.

No = No se libera respecto a las condiciones del criterio de selección de Estratificación Genética.

En el Cuadro 23 se puede observar que por su estabilidad respecto al testigo que se repite en todos los ambientes, catorce híbridos experimentales podrían liberarse para siembras comerciales, ocho híbridos serían seleccionados por superar y no ser inferiores al testigo adyacente y sólo uno superó ó fue igual al mejor testigo en todos los ambientes de prueba.

IV.1.3.1.3. Híbridos identificados como estables bajo las metodologías tradicionales.

Los híbridos experimentales seleccionados por su estabilidad del rendimiento bajo las metodologías tradicionales se aprecian en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Medias de rendimiento en ton ha^{-1} (M) en ocho sitios de prueba y diferentes índices de estabilidad y orden de estabilidad (OE) de 16 híbridos de sorgo para grano, y un híbrido testigo comercial que se repitió en los ocho ambientes de prueba del Noreste de México. Los cinco híbridos cuyo OE está en negrillas corresponden a los que presentaron mayor estabilidad de acuerdo con el procedimiento correspondiente.

		Rendimiento									
		medio		Finlay y		Eberhart y Russell				ASV	
<u>Híbridos</u>		<u>ton ha⁻¹</u>		<u>Wilkinson</u>						<u>AMMI</u>	
No.	Genotipo	M	OE	b _i	OE	b _i	S ² _{di}	S ² _{di} /b _i	OE	ASV	OE
1	1823x151	4.65	13	-0.11	5*	0.87	0.79	0.90	6	0.44	2
2	1823x154	4.61	14	0.16	8	1.15	0.65	0.56	5	1.15	6
3	1823x1230	5.46	1	0.31	11	1.31	1.61	1.22	8	2.56	13
4	1829x150	4.58	15	-0.10	3	0.89	0.56	0.62	7	0.52	3
5	1829x151	5.16	7	0.12	6	1.10	1.29	1.17	8	1.68	8
6	1829x153	4.89	11	-0.39	15	0.60	0.92	1.53	13	2.07	12
7	1829x159	5.06	9	0.26	9	1.25	0.08	0.06	1	1.59	7
8	1829x162	5.31	5	0.35	12	1.34	1.80	1.34	10	2.88	15
9	1831x150	4.74	10	-0.54	16	0.46	0.87	1.89	15	3.04	16
10	1831x151	5.40	2	-0.06	2	0.93	1.20	1.29	9	2.01	11
11	1831x154	5.09	8	0.37	13	1.03	-0.25	-0.24	4	0.36	1
12	1831x159	4.98	9	-0.38	14	0.61	0.90	1.47	11	2.50	13
13	1831x162	5.26	6	0.28	10	1.37	2.56	1.86	14	1.76	9
14	1831x163	5.39	3	0.13	7	1.11	0.17	0.15	3	0.73	5
15	1831x1230	5.38	4	0.03	1	1.02	2.61	2.55	16	1.99	10
16	P. 8310	4.37	16	-0.10	4	0.89	-0.07	-0.07	2	0.59	4

*En negrillas los cinco híbridos más estables bajo cada procedimiento de medición de la estabilidad

Cuadro 24. Híbridos experimentales clasificados como estables y e inestables bajo las tres metodologías tradicionales y las tres modalidades de estratificación genético ambiental.

Híbridos	Finlay y Wilkinson	Eberhart y Russell	AMMI	T. Rep.	T. Ady.	M. Test
1) 1823x151	Estable	Inestable	Estable	Estable	Inestable	Inestable
2) 1823x154	Estable	Inestable	Inestable	Estable	Inestable	Inestable

3) 1823x1230	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
4) 1829x150	Estable	Inestable	Inestable	Estable	Inestable	Inestable
5) 1829x151	Estable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
6) 1829x153	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
7) 1829x159	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
8) 1829x162	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Inestable	Inestable
9) 1831x150	Inestable	Inestable	Inestable	Inestable	Inestable	Estable
10) 1831x151	Estable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
11) 1831x154	Estable	Estable	Estable	Estable	Inestable	Inestable
12) 1831x159	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
13) 1831x162	Inestable	Inestable	Inestable	Estable	Inestable	Inestable
14) 1831x163	Estable	Estable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
15) 1831x1230	Estable	Inestable	Inestable	Estable	Estable	Inestable
16) P-8310	Estable	Estable	Estable			

Estab = Estable, Inest. = Inestable, interactúa con el ambiente

Si = Si se libera respecto a las condiciones del criterio de selección de Estratificación Genética.

No = No se libera respecto a las condiciones del criterio de selección de Estratificación Genética.

En el Cuadro 24 se aprecia que de las metodologías tradicionales, bajo la de Finlay y Wilkinson ocho híbridos experimentales y uno comercial se calificaron como estables (1823x151, 1823x154, 1829x150, 1829x151, 1831x151, 1831x154, 1831x163, 1831x1230 y P-8310), bajo el procedimiento de Eberhart y Russell fueron estables dos experimentales y uno comercial (1831x154, 1831x163, P-8310) y por el método AMMI dos experimentales y uno comercial (1823x151, 1831x154, P-8310) se clasificaron como estables. De los 16 híbridos experimentales sólo dos híbridos (1831x154 y P-8310) fueron calificados como estables por las tres metodologías tradicionales, en sólo uno (1823x151) Finlay y Wilkinson y AMMI coinciden que es estable y similarmente sólo uno (1831x163) es clasificado como estable por Finlay y Wilkinson y Eberhart y Russell. Dado que las tres metodologías tradicionales coincidieron en calificar el híbrido experimental 1831 x 154 como estable, éste sería el más viable de seleccionar para liberarse a la producción bajo la consideración que su rendimiento será estable en los ocho ambientes de prueba.

En cuanto a la propuesta de estratificación genético ambiental para clasificar la estabilidad del rendimiento de híbridos experimentales se observa que la que usa un

híbrido comercial como testigo repetido en todos los ambientes es la menos estricta ya que bajo esta variante todos los híbridos experimentales fueron estables excepto sólo el híbrido experimental (1831 x 150) fue considerado como inestable, esto por tener un rendimiento estadísticamente inferior ($P = 0.05$) al híbrido comercial testigo que se repite en todos los ambientes en uno solo de ellos (Cuadro 22).

Sólo uno (1831 x 150) de los 15 híbridos experimentales fue clasificado como estable cuando se utilizó el híbrido comercial que fue experimentalmente seleccionado como el de mayor rendimiento en cada uno de los ambientes de producción, aclarando que en esta selección entre híbridos comerciales para escoger el mejor testigo no participó el híbrido utilizado por el productor; por lo anterior este criterio de estabilidad es el más estricto y no coincidió con las otras dos variantes de estratificación genético ambiental ni con las tres metodologías tradicionales de calificación de la estabilidad del rendimiento las cuales calificaron este híbrido como inestable.

Por otro lado, ocho híbridos experimentales de los 15 ensayados fueron considerados estables cuando se utilizó como testigo el híbrido comercial sembrado por el agricultor en la parcela comercial en la cual se ubicó el experimento en cada ambiente, donde este testigo comercial del productor sólo casualmente se repitió en dos de los ocho ambientes de prueba, por ello, esta modalidad de evaluación de la estabilidad fue intermedia en su presión de selección para identificar los híbridos experimentales como estables; sin embargo, esta modalidad es la más representativa de la práctica de producción en cuanto a la elección por el agricultor del híbrido comercial a sembrar en su ambiente de producción, por lo que calificar un híbrido como estable por superar estadísticamente en al menos un ambiente de prueba al híbrido del productor y no ser inferior a éstos en el resto de los ambientes de prueba, es más realista y confiable que las otras dos variantes para identificar como estables los híbridos experimentales bajo la modalidad de estratificación genético ambiental.

Bajo la consideración anterior el híbridos 1831 x 163 fue considerado como estable por las metodologías de estratificación genético ambiental en las modalidades del utilizar

como testigo un híbrido designado para el efecto y que se repite en todos los ambientes y también bajo la modalidad de utilizar como testigo en cada ambiente de prueba el híbrido comercial sembrado adyacentemente por el agricultor y también fue considerado como estable por las metodologías de Finlay y Wilkinson y Eberhart y Russell.

El híbrido experimental 1823 x 151, fue estable bajo las metodologías de Finlay y Wilkinson, AMMI y estratificación genética ambiental con el testigo que se repite en los ambientes de prueba, 1829 x 151 y 1831 x 151 fueron estables bajo las metodologías de Finlay y Wilkinson, estratificación genética ambiental con el testigo que se repite en los ambientes de prueba y con el testigo del agricultor, por lo que posiblemente la línea restauradora 151 pueda tener una buena aptitud combinatoria general para estabilidad del rendimiento.

REVISAR SU INCLUSIÓN EN EL APARTADO DE RESULTADOS EN BASE A LAS COORRECCIONES QUE MENCIONO

La interacción variedades por ambientes de prueba fue significativa y en el Cuadro 1 aparecen los parámetros correspondientes a los procedimientos de estabilidad convencionales de: la media de rendimiento de la variedad, Finlay y Wilkinson, Heberhart y Russel y ASVAMMI, los cuales fueron obtenidos con el híbrido testigo que se repitió en todos los ambientes y para cada uno el orden de estabilidad de los híbridos experimentales. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de procedimientos EGA1, de comparar con la DMS de rangos los rendimientos medios de cada híbrido experimental contra el del híbrido comercial Pioneer 8310 repetido en los ocho ambientes de prueba y en los Cuadros 3 y 4, las comparaciones por la DMS de rangos de los híbridos experimentales respecto al híbrido comercial correspondiente en cada ambiente de prueba en EGA2 y EGA3, así como el orden de estabilidad por EGA. Bajo

los cuatro procedimientos convencionales se seleccionaron, bajo una presión de selección del 30% los cinco híbridos experimentales con valores de los parámetros de estabilidad más cercanos al ideal y en el Cuadro 1 se aprecia que los resultados son similares a los encontrados por Rodríguez P. J. E., *et al* (2002), Alberts (2004), Pérez L. D de J., *et al* (2007) y Padilla V. I. *et al* (2008) en el sentido de que el orden de estabilidad (OE) de los cinco híbridos más estables no coincide bajo los cuatro procedimientos y ninguno identificó un mismo híbrido con un OE de 1, 1831x151 presentó un OE de 2 bajo el rendimiento medio y Finlay y Wilkinson, 1829x151 presentó un OE de 3 bajo Finlay y Wilkinson y ASVAMMI, en tanto que Pioneer 8310 presentó un OE de 4 bajo los dos procedimientos anteriores y de 2 bajo Eberhart y Russell, ningún procedimiento coincidió en identificar con un OE de 5 a ningún híbrido experimental. Considerando estos resultados bajo la recomendación de Rodríguez P. J. E., *et al* (2002) referente a que es necesario medir la estabilidad por diversos métodos para obtener información complementaria, y bajo el hecho de que al menos dos de los cuatro procedimientos coincidan en calificar un mismo híbrido como estable (OE 1 a 5) se tendrían que considerar que 1823x 151, 1829x150, 1831x151, 1831x154, 1831x163 y 1831x1230 son estables y podrían llevarse a la producción. Considerando que los híbridos experimentales seleccionados como estables serían aquellos que presentaran en al menos un sitio de prueba una media de rendimiento estadísticamente superior al híbrido comercial testigo y que no fueran estadísticamente inferiores a éste en ninguno de los ocho sitios de prueba y también que presentaran un coeficiente de variación bajo, se identificaron 5, 8, y 5 híbridos experimentales respectivamente bajo EGA1, EGA2 y EGA3, coincidiendo los tres procedimientos EGA en identificar como

estables a 1823x1230, 1831x151 y 1831x159, éstos tres híbridos bajo cualquier ambiente de prueba (excepto en Linares 99) no fueron inferiores a los testigos, por lo que potencialmente pueden liberarse a la producción y de estos tres híbridos experimentales 1823x120 y 1831x151 fueron estables bajo el rendimiento promedio y 1831x151 también por Finlay y Wilkinson. EGA2 y EGA3, son una opción para tener mayor probabilidad de identificar híbridos estables al no ser inferiores y superar en rendimiento a los híbridos testigos ya sea el sembrado por el agricultor y al seleccionado por ser el de mayor rendimiento en cada ambiente de prueba. El éxito de identificar variedades experimentales estables bajo EGA dependerá del programa de mejoramiento genético y del rendimiento de los testigos del ambiente de producción objetivo.

QUE CUADROS SE VAN A DEJAR FINALMENTE?

Cuadro 2. (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al híbrido Pioneer 8310 que se repitió en todos los ambientes de prueba ¹(HRTA); híbrido

experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al HRTA, orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de prueba donde el híbrido experimental fue superior (a), igual (b) o inferior (c) al HRTA (EGA1), CV= coeficiente de variación, OEGA1 = orden de estabilidad por EGA1

Híbridos	Marín OI'97			Marín OI'99			Linares OI'98			Linares OI'99			Díaz O.OI'98		
	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O
1) 1823x151	3.6	b	12	4.2	b	4	2.5	b	2	1.1	b	16	6.3	b	9
2) 1823x154	4.4	b	4	2.1	b	3	1.2	b	16	3.4	b	6	4.4	c	14
3) 1823x1230	4.6	b	2	3.3	b	6	2.6	b	1	1.9	b	13	5.4	b	12
4) 1829x150	3.6	b	11	2.5	b	10	1.9	b	10	4.6	a	2	4.3	c	16
5) 1829x151*	3.7	b	10	1.8	b	15	1.7	b	11	4.0	a	5	5.1	b	13
6) 1829x153	3.8	b	9	4.9	b	2	1.5	b	14	4.4	a	4	4.4	c	15
7) 1829x159	3.9	b	8	1.8	b	16	1.7	b	12	3.4	b	7	5.7	b	11
8) 1829x162	3.2	b	15	2.4	b	11	2.4	b	3	2.5	b	12	7.0	b	7
9) 1831x150	4.5	b	3	4.8	b	3	2.4	b	4	2.8	b	11	7.1	b	6
10) 1831x151	3.4	b	14	2.7	b	9	2.1	b	7	5.0	a	1	8.5	a	2
11) 1831x154	3.5	b	13	3.3	b	7	2.0	b	9	3.1	b	10	7.6	b	5
12) 1831x159	4.7	b	1	5.7	a	1	2.2	b	5	3.4	b	8	6.2	b	10
13) 1831x162	4.2	b	6	2.1	b	14	1.6	b	13	1.3	b	14	11.0	a	1
14) 1831x163	3.3	b	16	2.4	b	12	2.2	b	6	4.5	a	3	8.1	b	4
15) 1831x1230	4.3	b	5	3.6	b	5	2.1	b	8	3.4	b	9	8.2	b	3
1HRTA	4.1	-	-	3.1	-	-	1.5	-	-	1.8	-	-	6.5	-	-
² DMS (0.05)	NS.			1.9			NS			1.9			1.7		
³ LSDMS	-			5.0						3.7			8.2		
⁴ LIDMS	-			1.2						0.1			4.8		

Cuadro 2 (continúa y termina). (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al híbrido Pioneer 8310 que se repitió en todos los ambientes de prueba ¹(HRTA); híbrido experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al HRTA, orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de

prueba donde el híbrido experimental fue superior (A), igual (B) o inferior (C) al HRTA (EGA1), CV= coeficiente de variación, OEGA1 = orden de estabilidad por EGA1.

Híbridos	Díaz O. Ol'99			San F. Ol'98			San F. PV'99			AP	CV	OEGA3
	M	C	O	M	C	O	M	C	O			
1) 1823x151	9.8	b	9	6.3	b	16	3.4	b	8	8b	58.8	10
2) 1823x154	11.0	b	6	8.4	b	6	2.1	b	16	7b,1c	73.8	-
3) 1823x1230	13.9	a	2	8.5	b	5	3.8	b	6	1a,7b	72.3	6
4) 1829x150	9.5	b	10	7.8	b	11	2.6	b	14	1a,6b,1c	59.0	-
5) 1829x151*	11.9	b	3	8.0	b	9	5.1	b	1	2a,6b	65.0	2
6) 1829x153	7.4	b	14	8.1	b	7	4.8	b	2	2a,5b,1c	41.8	-
7) 1829x159	11.9	b	4	8.9	b	4	3.3	b	10	8b	71.6	12
8) 1829x162	14.2	a	1	7.1	b	13	3.9	b	4	1a,7b	76.5	5
9) 1831x150	5.5	b	16	6.9	b	14	4.0	b	3	8b	36.2	8
10) 1831x151	8.3	b	12	9.5	b	2	3.9	b	5	2a,6b	53.9	1
11) 1831x154	10.4	b	7	7.5	b	12	3.6	b	7	8b	58.2	9
12) 1831x159	6.9	b	15	8.1	b	8	2.8	b	11	1a,7b	41.6	3
13) 1831x162	11.3	b	5	8.0	b	10	2.8	b	12	1a,7b	79.9	7
14) 1831x163	10.4	b	8	9.1	b	3	3.4	b	9	1a,7b	60.4	4
15)1831x1230	7.6	b	13	11.5	b	1	2.5	b	15	8b	62.1	11
¹ HRTA	8.5	-		6.9	-		2.8	-				
² DMS (0.05)	4.2			N.S.			1.5					
³ LSDMS	12.7						4.3					
⁴ LIDMS	4.3						1.3					

*En negrillas los híbridos estables de acuerdo con EGA1.

Cuadro 3. (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al híbrido comercial sembrado adyacentemente ¹(HCSA) a cada parcela experimental, híbrido experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al HCSA (EGA2), orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de prueba donde el híbrido experimental fue

superior (A), igual (B) o inferior (C) al HCSA en cada ambiente de prueba, CV= coeficiente de variación, OEGA2 = orden de estabilidad por estratificación genética ambiental 2.

Híbridos	Marín OI'97			Marín OI'99			Linares OI'98			Linares OI'99			Díaz O. OI'98		
	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O
1) 1823x151	3.6	b	12	4.2	b	4	2.5	b	2	1.1	c	16	6.3	b	9
2) 1823x154	4.4	b	4	2.1	b	3	1.2	b	16	3.4	b	6	4.4	b	14
3) 1823x1230	4.6	b	2	3.3	b	6	2.6	b	1	1.9	b	13	5.4	b	12
4) 1829x150	3.6	b	11	2.5	b	10	1.9	b	10	4.6	b	2	4.3	c	16
5) 1829x151*	3.7	b	10	1.8	b	15	1.7	b	11	4.0	b	5	5.1	b	13
6) 1829x153	3.8	b	9	4.9	b	2	1.5	b	14	4.4	b	4	4.4	b	15
7) 1829x159	3.9	b	8	1.8	b	16	1.7	b	12	3.4	b	7	5.7	b	11
8) 1829x162	3.2	b	15	2.4	b	11	2.4	b	3	2.5	b	12	7.0	b	7
9) 1831x150	4.5	b	3	4.8	b	3	2.4	b	4	2.8	b	11	7.1	b	6
10) 1831x151	3.4	b	14	2.7	b	9	2.1	b	7	5.0	b	1	8.5	a	2
11) 1831x154	3.5	b	13	3.3	b	7	2.0	b	9	3.1	b	10	7.6	b	5
12) 1831x159	4.7	b	1	5.7	a	1	2.2	b	5	3.4	b	8	6.2	b	10
13) 1831x162	4.2	b	6	2.1	b	14	1.6	b	13	1.3	c	14	11.0	a	1
14) 1831x163	3.3	b	16	2.4	b	12	2.2	b	6	4.5	b	3	8.1	a	4
15) 1831x1230	4.3	b	5	3.6	b	5	2.1	b	8	3.4	b	9	8.2	a	3
¹ HCSA	4.1	-		3.2	-		1.0	-		3.8	-		6.0		
² DMS (0.05)	ns			1.8			ns			2.0			1.6		
³ LSDMS				5.0						5.8			7.6		
⁴ LIDMS				1.4						1.8			4.4		

HSA: DK-38 en Marín 97; Pioneer 83G66 en Marín 99; Pioneer 8282 en Linares 98; PX-364 en Linares 99; HS9500 en Díaz Ordaz 98.

Cuadro 3 (continúa y termina). (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al híbrido comercial sembrado adyacentemente ¹(HCSA) a cada parcela experimental, híbrido experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al (EGA2), orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de prueba donde el híbrido experimental fue superior (a), igual (b) o inferior (c) al HCSA en cada ambiente de prueba, CV= coeficiente de variación, OEGA2 = orden de estabilidad por estratificación genética ambiental 2.

Híbridos	Díaz O. Ol'99			San F. Ol'98			San F. PV'99			AP	CV	OEGA3
	M	C	O	M	C	O	M	C	O			
1) 1823x151	9.8	b	9	6.3	b	16	3.4	b	8	7b,1c	58.8	-
2) 1823x154	11.0	b	6	8.4	b	6	2.1	b	16	8b	73.8	12
3) 1823x1230	13.9	a	2	8.5	b	5	3.8	b	6	1a,7b	72.3	7
4) 1829x150	9.5	b	10	7.8	b	11	2.6	b	14	7b,1c	59.0	-
5) 1829x151*	11.9	b	3	8.0	b	9	5.1	a	1	1a,7b	65.0	6
6) 1829x153	7.4	b	14	8.1	b	7	4.8	a	2	1a,7b	41.8	2
7) 1829x159	11.9	b	4	8.9	b	4	3.3	b	10	8b	71.6	11
8) 1829x162	14.2	a	1	7.1	b	13	3.9	b	4	1a,7b	76.5	8
9) 1831x150	5.5	b	16	6.9	b	14	4.0	b	3	8b	36.2	9
10) 1831x151	8.3	b	12	9.5	b	2	3.9	b	5	1a,7b	53.9	3
11) 1831x154	10.4	b	7	7.5	b	12	3.6	b	7	8b	58.2	10
12) 1831x159	6.9	b	15	8.1	b	8	2.8	b	11	1a,7b	41.6	1
13) 1831x162	11.3	b	5	8.0	b	10	2.8	b	12	1a,6b,1c	79.9	-
14) 1831x163	10.4	b	8	9.1	b	3	3.4	b	9	1a,7b	60.4	4
15)1831x1230	7.6	b	13	11.5	b	1	2.5	b	15	1a,7b	62.1	5
¹ HCSA	8.0	-		9.9			5.0	b	8			
² DMS (0.05)	4.2			Ns			ns					
³ LSDMS	12.2											
⁴ LIDMS	3.8											

HSA: Pioneer 8310 en Díaz Ordaz 99; Pioneer 83G66 en San Fernando 98; Pioneer 8133 en San Fernando 99. *En negrillas los híbridos estables de acuerdo con EGA2.

Cuadro 4. (Continúa). (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al mejor híbrido comercial testigo ¹(MHCT) en cada ambiente de prueba, híbrido experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al MHCT (EGA3), orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de prueba donde el híbrido experimental fue superior (A), igual (B) o inferior (C) al HSA en cada ambiente de prueba, CV=

coeficiente de variación, OEGA3 = orden de estabilidad por estratificación genética ambiental 3.

Híbridos	Marín OI'97			Marín OI'99			Linares OI'98			Linares OI'99			Díaz O. OI'98		
	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O	M	C	O
1) 1823x151	3.6	b	12	4.2	b	4	2.5	b	2	1.1	c	16	6.3	b	9
2) 1823x154	4.4	b	4	2.1	b	3	1.2	b	16	3.4	c	6	4.4	c	14
3) 1823x1230	4.6	b	2	3.3	b	6	2.6	b	1	1.9	c	13	5.4	b	12
4) 1829x150	3.6	b	11	2.5	b	10	1.9	b	10	4.6	c	2	4.3	c	16
5) 1829x151	3.7	b	10	1.8	b	15	1.7	b	11	4.0	c	5	5.1	b	13
6) 1829x153	3.8	b	9	4.9	b	2	1.5	b	14	4.4	c	4	4.4	c	15
7) 1829x159	3.9	b	8	1.8	b	16	1.7	b	12	3.4	c	7	5.7	b	11
8) 1829x162	3.2	b	15	2.4	b	11	2.4	b	3	2.5	c	12	7.0	b	7
9) 1831x150	4.5	b	3	4.8	b	3	2.4	b	4	2.8	c	11	7.1	b	6
10) 1831x151	3.4	b	14	2.7	b	9	2.1	b	7	5.0	c	1	8.5	a	2
11) 1831x154	3.5	b	13	3.3	b	7	2.0	b	9	3.1	c	10	7.6	b	5
12) 1831x159	4.7	b	1	5.7	a	1	2.2	b	5	3.4	c	8	6.2	b	10
13) 1831x162	4.2	b	6	2.1	b	14	1.6	b	13	1.3	c	14	11.0	a	1
14) 1831x163	3.3	b	16	2.4	b	12	2.2	b	6	4.5	c	3	8.1	b	4
15) 1831x1230	4.3	b	5	3.6	b	5	2.1	b	8	3.4	c	9	8.2	b	3
¹ MHCT	4.6	-		3.1	-		2.3	-		7.3	-		6.5	-	
² DMS (0.05)	Ns			1.9			ns			1.9			1.7		
³ LSDMS	-			5.0			-			9.2			8.2		
⁴ LIDMS	-			1.2			-			5.4			4.8		

MHCT: Cargil 847 en Marín 97, Pioneer 8310 en Marín 99, PX-364 en Linares 98, HS9500 Linares 99, Pioneer 8310 en Díaz Ordaz 98,

Cuadro 4 (continúa y termina). (M) Medias de rendimiento ton ha⁻¹, DMS de rangos (C) respecto al mejor híbrido comercial testigo ¹(MHCT) en cada ambiente de prueba, híbrido experimental superior (a), igual (b) e inferior (c) al MHCT (EGA3), orden de mayor a menor media (O), AP = Ambientes de prueba donde el híbrido experimental fue superior (A), igual (B) o inferior (C) al MHCT en cada ambiente de prueba, CV= coeficiente de variación, OEGA3 = orden de estabilidad por estratificación genética ambiental 3.

Híbridos	Díaz O. OI'99			San F. OI'98			San F. PV'99			AP	CV	OEGA3
	M	C	O	M	C	O	M	C	O			

1) 1823x151	9.8	b	9	6.3	b	16	3.4	b	8	7b,1c	58.8	8
2) 1823x154	11.0	b	6	8.4	b	6	2.1	b	16	7b,1c	73.8	9
3) 1823x1230	13.9	a	2	8.5	b	5	3.8	b	6	1a,6b,1c	72.3	3
4) 1829x150	9.5	b	10	7.8	b	11	2.6	b	14	6b,2c	59.0	15
5) 1829x151	11.9	b	3	8.0	b	9	5.1	b	1	7b,1c	65.0	12
6) 1829x153	7.4	b	14	8.1	b	7	4.8	b	2	6b,2c	41.8	14
7) 1829x159	11.9	b	4	8.9	b	4	3.3	b	10	7b,1c	71.6	13
8) 1829x162	14.2	a	1	7.1	b	13	3.9	b	4	1a,6b,1c	76.5	4
9) 1831x150	5.5	b	16	6.9	b	14	4.0	b	3	7b,1c	36.2	6
10) 1831x151	8.3	b	12	9.5	b	2	3.9	b	5	1a,6b,1c	53.9	2
11) 1831x154	10.4	b	7	7.5	b	12	3.6	b	7	7b,1c	58.2	7
12) 1831x159	6.9	b	15	8.1	b	8	2.8	b	11	1a,6b,1c	41.6	1
13) 1831x162	11.3	b	5	8.0	b	10	2.8	b	12	1a,6b,1c	79.9	5
14) 1831x163	10.4	b	8	9.1	b	3	3.4	b	9	7b,1c	60.4	10
15) 1831x1230	7.6	b	13	11.5	b	1	2.5	b	15	7b,1c	62.1	11
¹ MHCT	8.5	-		9.6			5.3					
² DMS (0.05)	4.2			Ns			ns					
³ LSDMS	12.7			-								
⁴ LIDMS												

MHCT: Pioneer 83G66 en Díaz Ordaz 99, Pioneer 8133 en San Fernando 98 y Pioneer 8428 en San Fernando 99. *En negrillas los híbridos estables de acuerdo con EGA3.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. 1.- Conclusiones

1.- Las metodologías tradicionales para seleccionar híbridos experimentales por su estabilidad del rendimiento de grano en los diferentes ambientes de prueba no son

consistentes y difieren entre ellas en cuanto al número y a los híbridos que se identifican como estables.

2.- La selección de híbridos experimentales por la estabilidad del rendimiento utilizando la propuesta de estratificación genético-ambiental en la modalidades de establecer los experimentos de evaluación en las siembras de las parcelas de los productores permite identificar como estables un número moderado de híbridos experimentales al superar y no ser inferiores al híbrido local de agricultor sembrado comercialmente de manera adyacente a cada parcela experimental.

3.- La propuesta de estratificación genético-ambiental en la modalidad de comparar los híbridos experimentales con el híbrido comercial que fue el mejor testigo en cada ambiente es más rigurosa y no coincidente con las tres metodologías tradicionales de evaluación y las otras dos de estratificación genético ambiental.

4.- Considerando en su conjunto las metodologías de medición de la estabilidad del rendimiento, cinco híbridos experimentales (1831x154, 1831 x 163, 1823 x 151, 1829 x 151 y 1831 x 151) pueden ser considerados como estables en su rendimiento al coincidir dos o más metodologías tradicionales o de estratificación genético ambiental al calificarlos como estables.

5.- Por la naturaleza conceptual de los parámetros que se utilizan en las metodologías tradicionales para estimar la estabilidad de las variedades experimentales que se evalúan en diversos ambientes de prueba para fines de su liberación a la producción, comparativamente con el concepto y parámetros estadísticos utilizados por la propuesta de estratificación genético ambiental utilizando las variedades sembradas por los agricultores que generalmente cambian entre los sitios de evaluación, estos dos grupos de metodologías no son comparables desde un punto de vista estadístico, pero sí bajo el punto de vista pragmático requerido tanto por el productor como por el fitomejorador.

V. 2. Recomendaciones

1) La selección de híbridos experimentales de sorgo para grano para su liberación como híbridos comerciales en las zonas agrícolas del país, requiere de utilizar metodologías con un manejo práctico que permita aplicar arreglos y modelos estadísticos en el análisis de los resultados, dándole seguridad al fitomejorador en la selección de nuevos genotipos para la producción comercial, por lo que esta propuesta de *estratificación genético-ambiental*, basa su aplicación práctica en:

2) Que los productores a través de los ciclos agrícolas de los híbridos comerciales de sorgo que están disponibles en el mercado, han seleccionado los mas adaptados, de mayor rendimiento y mas estables para su ambiente de producción y son éstos híbridos comerciales los que se deben desplazar por los nuevos híbridos experimentales al superarlos en rendimiento y estabilidad en cada ambiente de prueba.

3) Para medir la estabilidad del rendimiento de híbridos experimentales en diversos ambientes de producción mediante la metodología de estratificación genético ambiental no se requieren utilizar en todos los ambientes los mismos híbridos comerciales como testigos, éstos pueden cambiar al utilizar como testigos los híbridos preferidos por los agricultores, los cuales generalmente son diferentes entre las localidades y años que constituyen los subambientes de prueba de un ambiente de producción objetivo durante el tiempo de evaluación de los híbridos experimentales.

VI. BIBLIOGRAFÍA

Alberts, M. J. A. 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype x environment interaction and yield stability in multi-location maize trials.

Magister Scientiae Agriculturae thesis. Faculty of Agriculture, Department of Plant Sciences (Plant Breeding) at the University of the Free State., Bloemfontein, South Africa.

Allard, R. W. y A. D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503-504.

Anónimo, 1988. Producción y manejo de semillas. Patronato para la investigación, fomento y sanidad vegetal, Tamaulipas Norte, SARH, México.

Anónimo, 1989. Seed planting guide. ASGROW seed company. U.S.A.

Ávila, V. A. y F. S. Márquez. 1978. Comparación de métodos de ajuste para corrección de fallas en sorgo para grano. *Agrociencia.* 31: 45-64.

Bhatti, D. J., F. E. Mulla., Koehler y A. H. Gurmani. 1991. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1523-1528

Biswanger H P and B C Barah (1980). Yield risk, risk aversion and genotype selection: conceptual issues and approaches. *ICRISAT.Res. Bull.* No 3. 25p

Carballo C A y F Márquez S. 1972. Comparación de variedades de maíz del bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5 (1) 129-146.

Brauer, H. O. 1978. Filogenética aplicada. Limusa, Chapingo, México.

Brownie, C., D. T. Bowman y J. W. Burton. 1993. Estimating spatial variation in of data from yield trials: a comparison of methods. *Agron. J.* 85:1244-1253.

Carballo, C. A. y F. S. Márquez. 1972. Comparación de variedades de maíz de el bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5 (1) 129-146.

CIA, 1982. Instructivo para la toma de datos en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Boletín No. 1. FAUANL. Marín N. L., México.

Crossa, J., H. G. Gauch., R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*. V. 30. Pp. 493-500.

De la Loma, J. L. 1980. Experimentación agrícola, UTEHA. Chapingo. México.

De Paw, R. M. y L. H. Shebeski. 1973. *Canadian Journal of plant science* 53: 465-470.

Eberhart, S. A. y W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.

Flores, D. N. 1996. Identificación de híbridos experimentales de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) mediante estratificación genética y bases para su producción en el ciclo (O-I) en San Fernando, Tam. Tesis de maestría, Facultad de Agronomía de la U. A. N. L. Marín N. L., México.

Finlay, K. W. y G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaption in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.

Fox P N, A A Rosiele. 1982. Reducing de influence of environmental-main effects on pattern analysis of plant breeding environments. *Euphytica* 31:645-656

Francis T R, R W Kannenberg. 1978. Yield Stability studies in short season maize. I. A. descriptive method to grouping genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 58:1029-1034.

Gauch H G and Zobel R W. 1996. AMMI analysis of yield trials. *In: Genotype by environment interaction*. Kang, M. S., and Gauch, H. G. Jr. (eds).pp. 85 -122

Gregorius H R and Namkoong G. 1986. Joint analysis of genotypic and environmental effects. *Theor. Appl. Genet.* 72:413-422

Garza, H. V.M. 1985. Evaluación de variedades experimentales de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) en años y localidades. Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía de la U. A. N. L. Marín N. L., México.

House, L. R. 1982. El sorgo, guía para su mejoramiento genético. GACETA, S. A. Universidad Autónoma de Chapingo. México D. F.

Kirk, H. J., F. L. Haynes y R. J. Monroe. 1980. Application of trend analysis to horticultural field trials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 (2): 189-193.

Krause, G. F., S. Mohanty y W. P. Sappenfield- 1969. Relative efficiency of 4x4 balanced lattice squares compared to randomized complete blocks for measuring cotton variety lint yield. *Crop. Sci.* 9: 719-721.

Le Clerg, E. L. 1967. Significance of experimental design in plant breeding. *Plant breeding. A symposium held at Iowa State University. The Iowa State University Press Ames. Iowa., U.S.A.* Pp: 243-249.

Leland R, H. 1985. Guide to sorghum breeding. ICRISAT. Andhra Pradesh, India.

Lin C S, Binns M R and Lefkovitch L P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Sci.* 26:894-900

Lin C S and M R Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. *Can. J. Plant Sci.* 68:193-198

Marquez, S. F. 1973. Relationship between genotype-environmental interaction and stability parameters. *Crop Sci.* 13: 577-579.

Melton, B. y M. D. Frinkner. 1967. Relative efficiency of experimental designs with systematic control plots for alfalfa yield tests. *Crop Sci.* 7: 305-307.

Nassar R and M Hün. 1987. Studies on estimation of phenotypic stability: test of significance for none parametric measures of phenotypic stability. *Biometrics* 43:45-53.

Padilla I V, R A Salinas P, J A Acosta G, F G Rodríguez C. 2008. Adaptación y estabilidad de cinco genotipos de frijol azufrado en el sur de Sonora, Mexico. 2008. *Revista Fitotécnica Mexicana*, abril – junio, año/vol.31, número 003. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, México, pp 225 -233

Olivares, S. E. 1996. Notas de diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. FAUANL. Marin N. L. México.

Ostle, B. 1983. Estadística aplicada. Editorial LIMUSA, México, D. F.

Paterniani, E. 1978. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Fundação Cargill. Piracicaba. ESALQ., Brasil.

Pérez L D de J, L M Vázquez G y J Saghún C. 2007. Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Fitotécnia Mexicana, año/vol. 30, número 003, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo México pp 279-284

Purchase J L. 1997. Parametric analysis to describe genotype x environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph. D. Thesis. Department of Agronomy, faculty of Agriculture of the University of the Free State, Bloemfontein, South Africa.

Purchase J L, Hatting H. and Van Deventer C S, 2000. Genotype x Environment interaction and yield stability of winter wheat (*Triticum aestivum*_L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. S. afr. J. Plant Soil 17: 101-107

Poehlman, M.J. 1983. Mejoramiento genético de las cosechas. LIMUSA., México D. F.

Quinby, R. J. 1974. Sorhum improvement and the genetics of growht. Texas A.& M. University Press. Texas, U. S.A.

Rodríguez J E, J Saghún C, H E Villaseñor M, J D Molina G, A Martínez G. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Revista Fitotécnia Mexicana, abril – junio, año/vol. 25, número 002. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, México, pp 143 – 151.

Riggs, T.J. 1986. Collaborative spring barley trials in europe 1980-1982: analysis of grain yield. Plant Breeding. V. 96. Pp. 289-303.

S. A. G. A. R., 2000. Situación actual y perspectiva de la producción de sorgo en México 1990-1999. C. E. A., México, D. F.

SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Version 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC USA. USA.

Shafii, B., K. A. Mahler, K. M. Price, J. F. Pedersen. 1992. Genotype x environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. *Crop Science*. V. 32. Pp. 922-927.

Shukla G K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245

Steel, G. D. R. y H. J. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. De. McGraw-Hill. Inc., U.S.A.

Tai G C C. 1971. Genotypic stability analysis and its application on potato regional trails. *Crop Sci*. 11: 184-190

Valdés L C G S. 1987-2009. Curso de metodologías tradicionales del mejoramiento genético de plantas. Material no publicado. División de Estudios de Posgrado, programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola y Doctorado en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. Marín N. L., México. (Com. Personal)

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, ISBN: 968-6923-90-X, p 96, 17 -22 August 1997, México City, Mexico.

Valdés, L. C. G. S. 1990. Avances de investigación. CIA, Facultad de Agronomía de la UANL. Marín N. L., México.

Valdés, L. C. G. S. 1991. Avances de investigación. CIA. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín N. L., México.

Valdés, L. C. G. S. 1994. Avances de investigación. CIA, Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N. L., México.

Valdés, L. C. G. S. 1995. Avances de investigación. CIA, Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N. L., México.

Valdés, L. C. G. S. 1997. Apuntes del curso: Metodologías tradicionales de mejoramiento genético de las plantas. Material no publicado. Facultad de Agronomía de la UANL. Marín, N. L., México.

Westcott B. 1987. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. J. Agric. Sci. 108:267-274

Williams, A. H. 1988. Producción de semilla de sorgo. Patronato para la investigación, fomento y sanidad vegetal, INIFAP (CIAGON). Tamaulipas Norte. México

Williams, A. H., G. N. Montes., R. J. I. Aguirre. 1998. El Ergot del sorgo: su presencia en México y medidas preventivas para su control. Folleto técnico No. 22. Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo experimental Río Bravo. Tamaulipas, México.

Wricke G. 1964. Zur berechnung der ökovalenz bei sommerweizen und hafer. Z. Pflanzenzüchtg. 52: 127-138

Zobel, R.W., M. J. Wright., H. G. J. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal, .80. Pp. 388-393.