

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Identificación de Híbridos Tropicales Élite con Base en el Valor al Mérito
de un Índice de Selección y Estabilidad**

Por:

ARNULFO MÉNDEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para

obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Identificación de Híbridos Tropicales Élite con Base en el Valor al Mérito de un Índice de Selección y Estabilidad

Por:

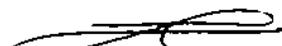
ARNULFO MÉNDEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada



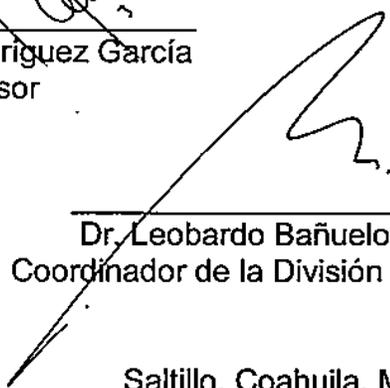
Dr. Humberto de León Castillo
Asesor Principal



Dr. Armando Rodríguez García
Coasesor



Ing. Raúl Gándara Huitrón
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2012

DEDICATORIA

A ti Dios por darme la oportunidad de la vida y de regalarme una familia maravillosa. Por haberme dado salud para salir adelante y llegar a este momento tan especial.

A mis padres Feliciano Méndez Gómez e Isabel Sánchez Gómez por todo el amor y cariño que me han dado, quienes han velado por mi bienestar y educación, depositando su entera confianza en mí en cada paso que he dado durante el largo camino de la vida.

A mi abuela Anita Gómez Torres por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional en mi vida, gracias por los estímulos y orientación, siendo ejemplo de honestidad, respeto y dedicación.

A mi hermano Augusto por haber estado conmigo en los momentos difíciles y apoyarme cuando más lo necesitaba al darme palabras de aliento y fortaleza para seguir adelante.

A la mujer que con su cariño, comprensión, enseñanzas, por sus buenos deseos y su valioso apoyo, con amor para ti: Adriana Vega Galaviz, te llevaré en mi corazón aunque la distancia y el tiempo nos separe, siempre ocuparás un lugar importante en mi vida, te quiero mucho.

A la familia Valdéz Camacho por su gran amistad y confianza desde el tiempo que lo conozco, en especial a las niñas Perla Jaqueline y Valeria Monserrat, estoy muy agradecido de ustedes.

A mis Familiares. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, comprensión y sus consejos. A quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertido en persona de provecho.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater por haberme permitido aprovechar sus conocimientos y por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Dr. Humberto De León Castillo por todo el apoyo brindado en la realización de este trabajo de tesis, por sus conocimientos, consejos y por su gran amistad, además de ser un excelente maestro.

Al Dr. Armando Rodríguez García por su disponibilidad en la revisión y por sus contribuciones acertadas en el presente trabajo.

Al Ing. Raúl Gándara Huitrón por la aportación, observaciones y sugerencias en la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. José Heriberto Torres Montalvo por darme la oportunidad de realizar mi estancia profesional en la empresa y por su gran amistad.

Al MC. Daniel Sámano Garduño por haberme permitido trabajar con los datos de la empresa, además por la revisión de este trabajo de investigación, por los conocimientos aportados y su valiosa amistad.

A mis compañeros de la generación CXIII y a mis buenos amigos: Delmar, Roberto, Gabriel, Lino César, Gildardo, D. Flaviano, J. Refugio, Sandro, J. Antonio, Valdemar, Joaquín, J. Luis García, María Luisa, Gisela y Emily Morales; por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos, que sin esperar nada a cambio compartieron pláticas, conocimientos y diversión.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Híbridos simples.....	4
Híbridos triples.....	5
Índices de selección.....	6
Interacción genotipo ambiente	8
Estabilidad.....	10
Modelos AMMI y SREG.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
Material genético.....	15
Localidades de evaluación.....	16
Parcela experimental.....	16
Labores culturales.....	16
Variables agronómicas de interés.....	17
Manejo estadístico de los datos agronómicos.....	20
Análisis de varianza de 9 variables agronómicas.....	20
Índices de selección.....	21

Análisis de varianza para la variable de respuesta IS.....	23
Grafico biplot del modelo AMMI para la variable de respuesta IS...	24
Análisis de regresión en los sitios para la variable de respuesta IS.....	25
Criterios de selección.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Análisis de varianza.....	28
Selección de híbridos con base en los valores de IS.....	32
Análisis de estabilidad mediante el modelo AMMI.....	34
Selección de híbridos por valores de IS y estabilidad empleando el modelo SREG.....	36
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. RESUMEN.....	42
VII. LITERATURA CITADA.....	44
VIII. APÉNDICE.....	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
3.1.	Identificación de híbridos experimentales y testigos comerciales utilizados en la evaluación.....	15
4.1.	Cuadros medios del análisis de varianza de 126 híbridos experimentales evaluados en 11 localidades considerando 9 variables agronómicas.....	29
4.2.	Agrupación estadística de 11 localidades con base a la diferencia de medias de Tukey para las variables de rendimiento y humedad.....	30
4.3.	Agrupación estadística de los 15 híbridos más sobresalientes en base a la prueba de Tukey para las variables de rendimiento y humedad.....	31
4.4.	Cuadros medios del análisis de varianza de 126 híbridos con base a los valores de IS (integrado por el rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de <i>fusarium</i>) por híbrido a través de 10 localidades.....	33
A1.	Metas e intensidades utilizadas para la estimación del IS en cada variable de la evaluación realizada.....	52
A2.	Prueba de medias de Tukey de híbridos según IS.....	53
A3.	Valores de índices de selección por híbrido.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
4.1.	Biplot del modelo AMMI para la interpretación de los patrones de respuesta de la interacción genotipo ambiente de 126 híbridos y 10 localidades.....	35
4.2.	Biplot GGE patrón de respuesta “cual-ganó-donde” para 126 híbridos experimentales y 4 testigos comerciales evaluados en 10 localidades.....	37
4.2.1.	Proyección “cual-ganó-donde” del Biplot GGE de la figura 4.2.....	38
4.2.2.	Proyección de la Figura 4.2 donde se aprecia el probador virtual y los híbridos más superiores y estables.....	39

I. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz es uno de los cultivos básicos en la alimentación, debido a su importancia constantemente se realizan estudios sobre mejoramiento genético para la formación de nuevos híbridos y variedades para uso comercial; teniendo como objetivo principal incrementar la producción por unidad de superficie, resistente a factores bióticos y abióticos adversos al cultivo.

Para identificar híbridos que manifiesten las características deseables se han desarrollado métodos como el de índices de selección que permite realizar mejoramiento de manera simultánea para múltiples características de interés. De esta manera considerando simultáneamente varios atributos agronómicos se puede tener un solo valor para cada material genético.

Es necesario evaluar los genotipos en diferentes ambientes para determinar la respuesta de los híbridos a través de la región de interés e identificar el híbrido con mejores atributos y estable, por ello las empresas públicas y privadas que se dedican a la venta de híbridos realizan ensayos de rendimientos en varias localidades.

Al evaluar los híbridos en diferentes ambientes de prueba es muy probable que se presente la interacción genotipo ambiente (IGA) que es la respuesta diferencial de los genotipos a través de las condiciones ambientales,

para explorar este importante factor una de las herramientas es el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) el cual permite analizar los efectos de IGA y el modelo de regresión en los sitios (SREG) para determinar estabilidad, además de considerar la IGA incluye el efecto genético y la estabilidad representados mediante los gráficos biplot.

En el mercado agrícola existen una gran cantidad de híbridos que son liberados por distintas empresas semilleras. Tal es el caso de Pioneer, que continuamente libera híbridos comerciales adaptables a diversas regiones dentro de un mega-ambiente. Para tal fin, evalúa continuamente cruza experimentales para identificar al mejor. El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad caracterizar fenotípicamente 126 híbridos experimentales adaptados a la región considerada como trópico. Por lo que se plantearon los siguientes:

Objetivos

- a) Identificar y seleccionar híbridos con base a los valores de un índice de selección construido con las variables rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*, que logren superar o al menos ser estadísticamente iguales a los testigos comerciales.
- b) Seleccionar híbridos experimentales que presenten buena estabilidad a través de ambientes.
- c) Identificar los ambientes más representativos y los de mayor capacidad de discriminación con respecto a los híbridos establecidos.

Hipótesis

- a) De los híbridos evaluados, se asume que al menos uno será igual o superior a los testigos en cuanto a características agronómicas mostrando un buen índice de selección.
- b) Al menos uno o más híbridos experimentales presentaran buena estabilidad.
- c) Como los ambientes de evaluación son diferentes, se espera que al menos uno sea representativo y de mayor capacidad de discriminación que permita la selección eficiente de los híbridos experimentales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Híbridos simples

La meta principal de cualquier programa de híbridos, es producir híbridos de cruza simple involucrando líneas homocigotas como progenitores, con el objeto de explotar al máximo la heterosis y obtener híbridos más uniformes y atractivos (Srinivasan *et al.*, 1993).

Un híbrido simple es el que se obtiene cruzando dos líneas puras. El híbrido simple se cultiva principalmente en sitios donde el consumo de maíz tiene mucha demanda (Ramírez, 2006).

Bejarano (2003) menciona que la producción de maíz en el país se basa en la utilización de híbridos dobles o de tres líneas con los cuales se lleva a cabo una producción satisfactoria de semilla puesto que la misma se obtiene sobre un híbrido simple.

Pugh y Layrisse (2005) indican que los híbridos simples son obtenidos por las empresas públicas o privadas pertenecientes de las líneas progenitoras. Para la obtención de los mismos incluye el mantenimiento de las líneas parentales, realizar las cruza posibles entre ellos, además requiere de una considerable inversión de tiempo, recursos financieros, trabajo y supervisión.

Para la formación de híbridos simples, éstos deberán tener líneas como hembras con un alto nivel de rendimiento y con tamaño de grano aceptable. Para estos híbridos simples se necesita identificar líneas como probadores que sirvan como un progenitor fijo en la formación de nuevos híbridos sobresalientes (Vasal *et al.*, 1994).

Los híbridos simples son más productivos que los híbridos triples, pero los primeros presentan mayor interacción genotipo ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido a que también su producción de semilla es más costosa (Moreno *et al.*, 2002; Espinosa *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2011).

Híbridos triples

Un híbrido triple es el resultado del cruzamiento de un híbrido simple como parental femenino, y una línea como macho (Palafox *et al.*, 2008). Tiene la ventaja del menor costo de la semilla. Sus características son intermedias entre híbridos simples y dobles, debido a que tiene mayor plasticidad que un híbrido simple y menor variabilidad que un híbrido doble (Ramírez, 2006).

Preciado *et al.* (2001) en un trabajo de investigación predijeron el comportamiento de cruza triples a partir de un análisis conjunto de rendimiento de un dialélico formado con 10 líneas de alta calidad proteínica liberadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, que fueron evaluadas en cinco localidades de México durante 1997. Las cruza triples predichas fueron evaluadas en 11 localidades tropicales y subtropicales de México durante el ciclo P-V en 1999. Los autores indican que las cruza triples predichas

constituyen una buena alternativa en países con climas tropicales y subtropicales con la ventaja de alta calidad proteínica.

Sin embargo para Sierra *et al.* (2005) señalan que la formación de híbridos triples representa una alternativa interesante de aprovechamiento de la heterosis al cruzar líneas de relativa divergencia genética con cruza simples de alto rendimiento, además de obtener ventajas adicionales en la producción de semillas.

Índices de selección

Para Gutiérrez *et al.* (2010) existen varios métodos para el mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres y los tres de mayor importancia son: selección en tándem, selección simultánea de caracteres independientes e índice de selección (IS). El uso de IS permite separar genotipos con base en la evaluación simultánea de varios caracteres (Cerón y Sahagún, 2005).

Ruales *et al.* (2007) señalan el índice de selección como una función lineal del valor genético de dos o más características, cada una con un peso acorde con un valor económico preasignado. Por ello la utilización de índices relacionados con atributos deseables en los materiales genéticos constituye una alternativa para la identificación de variedades sobresalientes con mayor potencial agronómico (Ruíz y Carrillo, 2005).

Un índice de selección es una metodología utilizada para hacer selección la cual toma en consideración los aspectos genéticos, la importancia económica

de las características involucradas; este índice está conformado por dos ecuaciones: la primera es aquella en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, la segunda se constituye las características sobre aquellas que se hace la selección es decir los criterios de selección (Yáñez, 2005).

Una de las metas principales en la definición de objetivos de selección es el establecimiento de una adecuada ponderación en el énfasis de selección aplicado a distintas características (Urioste *et al.*, 2003). Aunado a esto podemos recurrir a través del índice de selección el cual determina por separado el valor de cada uno de los caracteres a seleccionar y la suma de estos valores da la puntuación o el índice total para todos los caracteres (Vergara e Iriarte, 2002).

Córdova *et al.* (2002) mencionan que el mejor entendimiento de algunos aspectos fisiológicos relacionados con el rendimiento y la incorporación de índices de selección más eficientes en las metodologías de mejoramiento para ambientes adversos han mejorado las técnicas de selección.

El índice de selección es utilizado en la selección de genotipos cuando se basa en múltiples características evaluadas simultáneamente, ya que incorpora en un solo valor. Por lo tanto, el genotipo que contenga el valor más pequeño de índice será el mejor, mientras más grande es el valor del índice, más lejos se encuentra el genotipo de los criterios deseados y por lo tanto es inferior. Además el investigador deberá tener una idea clara de los criterios que desea usar en la selección según las variables y los logros que se desean hacer con la selección (Barreto *et al.*, 1991).

Tucuch *et al.* (2011) realizaron un trabajo con el objetivo de estimar índices de selección de caracteres agronómicos que ayuden a seleccionar los materiales genéticos para la producción de maíz forrajero, las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), rendimiento de forraje verde (RFV) y rendimiento de forraje seco (RFS). Los autores concluyen que la alta correlación genotípica positiva entre RFV, AP y AM indica que AP y AM pueden servir como indicadores de la potencialidad genética del rendimiento de forraje verde, es decir fueron las variables más importantes en la construcción de los índices de selección.

Interacción genotipo ambiente

En la formación de nuevos genotipos se requiere evaluar los materiales en diferentes ambientes para estimar su interacción genotipo ambiente que da una idea de la estabilidad de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales, esto ha sido uno de los criterios que debe tomarse en cuenta en los programas de mejoramiento (Rodríguez *et al.*, 2011).

De León *et al.* (2005) mencionan que la IGA es la respuesta diferencial de los genotipos en los ambientes de evaluación; este fenómeno es una preocupación constante para los fitomejoradores generalmente cuando su magnitud es grande ya que dificulta la elección y recomendación de genotipos estables y torna lento el avance de la selección.

Por su parte Gordón *et al.* (2006) señalan que la IGA ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente; esta interacción es gran de importancia en la evaluación de híbridos

ya que se deben seleccionar genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente, este ha sido uno de los principales objetivos de las instituciones estatales, así como de las empresas que se dedican a la venta de semillas mejoradas.

Los estudios de la interacción genotipo ambiente proveen información sobre el comportamiento de cada genotipo frente a variaciones ambientales, por esto se realizan análisis de estabilidad y adaptabilidad, mediante los cuales es posible identificar cultivares de comportamiento relativamente previsible (Rueda *et al.*, 2009; López *et al.*, 2011).

La presencia de la IGA se expresa como una respuesta inconsistente de algunos genotipos, cuando son evaluados en diferentes ambientes provocando la alteración del orden de los genotipos cuando se mueven de un ambiente a otro; por ello la identificación de ambientes representativos depende en gran medida para la definición de las estrategias de selección de los programas de mejoramiento (Giménez *et al.*, 2000; Camargo *et al.*, 2011).

Por otra parte, al disminuir la expresión del potencial genético por la condición ambiental, al grado de ser similar o menor a los efectos de IGA, es difícil seleccionar genotipos sobresalientes. Este comportamiento no implica que los ambientes críticos sean inadecuados para la selección de genotipos, puesto que en ellos es posible identificar características indispensables para la adaptación del cultivo (Rodríguez *et al.*, 2005).

Los ensayos comparativos de rendimiento multiambientales permiten identificar los genotipos de mejor rendimiento y los más estables, es decir,

aquellos que mantienen su alto potencial productivo a través de un amplio rango de condiciones ambientales. La recomendación de los híbridos se dificulta cuando el comportamiento relativo entre los genotipos difiere de una condición ambiental a otra; por ello la interacción genotipo ambiente se origina como consecuencia de este comportamiento diferencial de los genotipos en los distintos ambientes (Ibáñez *et al.*, 2006).

Estabilidad

La estabilidad se define como el atributo que le permite a los genotipos ajustar su capacidad productiva a la más amplia variación del estímulo ambiental cuando son evaluados en diferentes ambientes (Kandus *et al.*, 2010 y Mirassón *et al.*, 2011).

Para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares generados de los programas de mejoramiento genético es necesario medir la estabilidad de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación (Mejía y Molina, 2003; Alejos *et al.*, 2006 y Rodríguez *et al.*, 2011).

Según Gordón *et al.* (2006) argumentan que en la evaluación de híbridos es necesario la integración de los conceptos de adaptabilidad y estabilidad para definir el comportamiento de genotipos evaluados a través de ambientes contrastantes, por lo que definen a la adaptabilidad como la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente y a la estabilidad como la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental.

En consecuencia, el éxito de cualquier genotipo depende no sólo de su buen comportamiento con relación al rendimiento y a la tolerancia que muestre a las principales plagas, sino además, del desempeño que muestre en los diferentes ambientes donde sea probado (García *et al.*, 2009).

Akcura y Kaya (2008) consideran a la estabilidad para caracterizar un determinado genotipo que demuestra un rendimiento relativamente constante, independiente de las condiciones ambientales cambiantes, sobre la base de esta idea los genotipos con una variación mínima para el rendimiento en diferentes ambientes se considera estable.

Camargo *et al.* (2011) argumentan que la separación de las localidades respecto a la capacidad discriminadora y representatividad provee información útil sobre la efectividad o conveniencia de las localidades para el desarrollo y selección de germoplasma y/o recomendar cultivares con adaptación amplia o específica.

El conocimiento de la magnitud de la interacción entre el genotipo y el ambiente permite evaluar la estabilidad de los cultivares en una gama de ambientes donde se desean introducir, ya que los productores se interesan no solo en las variedades que dan buenos rendimientos, sino que prefieren aquellos que mantienen ese buen comportamiento a través del tiempo (Mora *et al.*, 2007).

El problema que ocasiona la IGA hace que en los trabajos de mejoramiento se considere indispensable medir el grado de estabilidad de las nuevas líneas o genotipos en un amplio rango de áreas productoras, con el

objeto de ofrecer recomendaciones de los genotipos más promisorios de altos rendimientos y alta estabilidad en cualquiera de los ambientes (Vertel *et al.*, 1999; Abbott y Pistorale, 2011).

Alcocer *et al.* (2005) señalan que la evaluación de cultivares en diferentes ambientes se realiza para recomendar aquellos que se comporten mejor en la mayor cantidad de ambientes de una región determinada, es decir aquellos de adaptación amplia, ya que los cambios en el ordenamiento de los cultivares al cambiar de ambiente indican la presencia de interacción genotipo por ambiente y la ausencia de estabilidad para el carácter en cuestión.

Modelos AMMI y SREG

Chavanne *et al.* (2007) mencionan que para analizar la interacción genotipo ambiente se han desarrollado numerosos métodos de análisis, entre los cuales se pueden citar el coeficiente de regresión de Finlay y Wilkinson (1963), los desvíos a la regresión de Eberhart y Russell (1966), los modelos estadísticos del AMMI de Gauch (1988) y el método GGE de Yan *et al.* (2000).

El modelo AMMI se basa en un modelo estadístico lineal-bilineal en el que los efectos principales de genotipos y de ambientes, considerados términos lineales, se explican mediante un análisis de varianza convencional; el componente bilineal (no aditivo) se atribuye a la interacción genotipo por ambiente y se analiza mediante la técnica de componentes principales (Rodríguez *et al.*, 2005).

Palemón *et al.* (2012) evaluaron 20 cultivares de maíz en 16 ambientes, con la finalidad de identificar por lo menos una cruza intervarietal estable, consistente y con buen potencial de rendimiento en varios ambientes de la región. Con esta información se realizó el análisis de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell. También se aplicó el modelo AMMI. Los autores reportan que los dos métodos usados registraron resultados semejantes, lo cual permite confiar en la recomendación de cultivares por su potencial de rendimiento y estabilidad en los ambientes explorados.

Williams *et al.* (2010) al comparar el modelo de Finlay Wilkinson y el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo ambiente de 44 genotipos de sorgo evaluados en 16 ambientes del noreste de México; encontraron que el modelo AMMI resultó más efectivo para caracterizar la respuesta de los genotipos.

Los modelos AMMI han sido aplicados fundamentalmente en experimentos de campo, más específicamente en el análisis de la interacción genotipo ambiente, con el objetivo de clasificar genotipos en estables e inestables a partir de su interacción con el ambiente (Varela y Castillo, 2005).

Castañón *et al.* (2000) realizaron un trabajo en un experimento de maíz repetido en cuatro ambientes, se aplicó el modelo AMMI y el de cluster, para estudiar si la estabilidad del rendimiento de grano de los híbridos ensayados se asociaba con el agrupamiento de los híbridos hecho por el cluster. Dichos resultados muestran que el modelo AMMI es efectivo en la estimación de la estabilidad de los híbridos evaluados y que junto con el cluster, pueden ser dos herramientas útiles para hacer una buena selección con mayores posibilidades de éxito.

El modelo SREG se basa en un modelo similar al AMMI, pero los términos lineales de genotipos no se consideran individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la IGA. El SREG es útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta, es decir, ordenamiento sin cambio de genotipos en ambientes que conforman un grupo (Yan *et al.*, 2000).

Ibáñez *et al.* (2006) mencionan que el modelo SREG se utiliza para el análisis de los datos provenientes de ensayos comparativos de rendimiento multiambientales, en especial cuando el ambiente (E) es la fuente de variación más importante en relación con la contribución del genotipo (G) y la interacción genotipo ambiente (GE). Este modelo, que incluye en el término bilineal G+GE, proporciona un análisis gráfico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos denominado biplot GGE. Este gráfico permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta.

Uno de los méritos del modelo GGE biplot es que puede mostrar gráficamente “quién (que cultivar) -ganó-dónde (en que localidad)” en un conjunto de datos (Yan *et al.*, 2000). Esto es las marcas de los genotipos más alejados del origen (0,0) se conectan con líneas rectas para formar un polígono; de tal manera que las marcas de los otros cultivares están dentro del polígono.

El modelo GGE biplot es una gráfica que muestra los genotipos y los ambientes de los datos multiambientales (Yan, 2001). Se construye mediante el trazado de los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) derivados de la descomposición en valores singulares de los datos centrados en el ambiente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético utilizado en esta investigación es perteneciente a la empresa Pioneer, fue integrado por 126 híbridos experimentales, incluyendo 4 híbridos comerciales como testigos, la identificación de estos híbridos se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Identificación de híbridos experimentales y testigos comerciales utilizados en la evaluación.

H EXP 1	H EXP 15	H EXP 29	H EXP 43	H EXP 57	H EXP 71	H EXP 85	H EXP 99	H EXP 113
H EXP 2	H EXP 16	H EXP 30	H EXP 44	H EXP 58	H EXP 72	H EXP 86	H EXP 100	H EXP 114
H EXP 3	H EXP 17	H EXP 31	H EXP 45	H EXP 59	H EXP 73	H EXP 87	H EXP 101	H EXP 115
H EXP 4	H EXP 18	H EXP 32	H EXP 46	H EXP 60	H EXP 74	H EXP 88	H EXP 102	H EXP 116
H EXP 5	H EXP 19	H EXP 33	H EXP 47	H EXP 61	H EXP 75	H EXP 89	H EXP 103	H EXP 117
H EXP 6	H EXP 20	H EXP 34	H EXP 48	H EXP 62	H EXP 76	H EXP 90	H EXP 104	H EXP 118
H EXP 7	H EXP 21	H EXP 35	H EXP 49	H EXP 63	H EXP 77	H EXP 91	H EXP 105	H EXP 119
H EXP 8	H EXP 22	H EXP 36	H EXP 50	H EXP 64	H EXP 78	H EXP 92	H EXP 106	H EXP 120
H EXP 9	H EXP 23	H EXP 37	H EXP 51	H EXP 65	H EXP 79	H EXP 93	H EXP 107	H EXP 121
H EXP 10	H EXP 24	H EXP 38	H EXP 52	H EXP 66	H EXP 80	H EXP 94	H EXP 108	H EXP 122
H EXP 11	H EXP 25	H EXP 39	H EXP 53	H EXP 67	H EXP 81	H EXP 95	H EXP 109	T1
H EXP 12	H EXP 26	H EXP 40	H EXP 54	H EXP 68	H EXP 82	H EXP 96	H EXP 110	T2
H EXP 13	H EXP 27	H EXP 41	H EXP 55	H EXP 69	H EXP 83	H EXP 97	H EXP 111	T3
H EXP 14	H EXP 28	H EXP 42	H EXP 56	H EXP 70	H EXP 84	H EXP 98	H EXP 112	T4

Fuente (Pioneer).

Localidades de evaluación

La evaluación de los híbridos se llevó a cabo en 11 ambientes representativos, de los cuales 4 localidades se ubican en el estado de Campeche, 6 en Chiapas y 1 localidad en el país de Venezuela durante la primavera del 2011.

Parcela experimental

El diseño de siembra utilizado para el experimento fue un bloques completos al azar, cada parcela experimental consistió en cuatro surcos, cosechando solo los surcos centrales, con una distancia de surco de 4 metros, separados a 0.80 m con 23 plantas para cada surco.

Labores culturales

Preparación del terreno: Todos las localidades se prepararon iniciando con un subsuelo y posteriormente se aplicaron dos pasos de rastra.

Siembra: Se realizó con una sembradora de semi-presición. Las fechas de siembras fueron diferentes para cada localidad.

Fertilización: La dosis aplicada en cada localidad fue 120N- 80P- 60K ha⁻¹, la aplicación se hizo en dos momentos: la mitad del nitrógeno y todo el

fosforo y potasio (50% de N y 100% de P y K) fue al realizarse el surcado y el resto del nitrógeno se aplicó cuando el cultivo se encontraba en la etapa V5.

Control de malezas: El control se hizo mediante las aplicaciones de Gesaprim Calibre 90 cuyo ingrediente activo es la atrazina, se aplicó al momento de la emergencia de la maleza para evitar una infestación.

Control de plagas: Se aplicó en siembra Lorsban 3G (ingrediente activo clorpirifos) para las plagas de suelo; Arrivo 200 CE (ingrediente activo cipermetrina) para gusanos trozadores en las primeras etapas; Ambush 50 (ingrediente activo permetrina) para plagas foliares; Pounce 5G (ingrediente activo permetrina) contra gusano cogollero, todas las aplicaciones se realizaron de manera preventiva.

Cosecha: Se cosechó por parcela útil en forma manual, para posteriormente registrar el peso y el contenido de humedad.

Variables agronómicas de interés

Rendimiento (REND): Es la producción estimada en toneladas por hectárea de grano al 14% de humedad. Este dato se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por un factor de conversión (FC), cuyas formulas se describen a continuación:

$$PS = \frac{(100 - \% H)}{100} \times PC$$

Donde:

%H= Porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela.

PC= Peso de campo en Kg.

$$FC = \frac{10000}{APU \times 0.845 \times 1000}$$

Donde:

APU= Área de parcela útil. Es el producto de la distancia entre surcos por la distancia entre matas por el número exacto de plantas por parcela.

0.845= Constante para transformar el rendimiento de peso seco al 14% de humedad.

1000= Constante para obtener el rendimiento en ton ha⁻¹.

10000= Valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m².

Por ciento de humedad (%H): Se obtiene tomando una muestra aleatoria de 100 gramos de las mazorcas de cada parcela y se colocan en el determinador de humedad Dickey John, esta medición se realiza al momento de la cosecha.

Textura de grano (TEXT): Se refiere al tipo de grano, la calificación asignada es de uno a nueve; uno, muy dentado y nueve, muy cristalino.

Apariencia general (APA): Se refiere a un valor asignado a la planta en base a su apariencia visual por parcela útil, en la que se considera el porte,

sanidad y uniformidad de la planta. La escala asignada es de uno a nueve; uno, muy malo y nueve, muy bueno.

Altura de planta (AP): Distancia en decímetros comprendida desde el nivel del surco hasta al punto superior de la espiga. Se midió una planta representativa por parcela experimental.

Altura de mazorca (AM): Distancia en decímetros comprendida desde el nivel del surco hasta el nudo donde se inserta la mazorca principal. Se midió una planta representativa por parcela experimental.

Fusarium en mazorca (FUS): Mazorcas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, la calificación asignada es de uno a nueve; uno, muy malo y nueve, muy bueno.

Floración masculina y femenina en GDU (FM y FF): Son las unidades calor acumuladas en grados °F, desde la fecha de siembra hasta que el cincuenta por ciento de las plantas de la parcela experimental presentaron anteras dehiscentes (floración masculina) y estigmas receptivos (floración femenina). Calculada mediante la siguiente fórmula:

$$GDU = \frac{(T.Max. + T.Min.) - 50}{2}$$

Donde:

GDU= Unidades calor.

T. Max= Temperatura máxima.

T. Min= Temperatura mínima.

Manejo estadístico de los datos agronómicos

Análisis de varianza de 9 variables agronómicas

El análisis de varianza para las nueve variables agronómicas involucradas se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar, debido a la existencia de una repetición por localidad, éstas fueron consideradas como repeticiones. Cuyo modelo estadístico es el siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable observada en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del tratamiento.

B_j = Efecto del bloque.

E_{ij} = Error experimental.

Se realizó una prueba de rango múltiple en base a la prueba de Tukey, cuya fórmula fue la siguiente:

$$qs = \frac{Y_A - Y_B}{SE}$$

Donde:

Y_A = Es la mayor de dos medias comparadas entre ellas.

Y_B = Es la menor de dos medias comparadas entre ellas.

SE = Error estándar.

Índices de selección

Para llevar a cabo la identificación de los genotipos más sobresalientes se consideraron 3 variables agronómicas en base a su representatividad e interés las cuales fueron: rendimiento, porciento de humedad y *fusarium* en mazorca. Para después se procedió a integrarlas en un IS.

La metodología utilizada fue la descrita por Barreto *et al.* (1991) solo que la estimación se realizó para cada una de las repeticiones, para tener la información necesaria para realizar un análisis de varianza. La fórmula empleada para estimar el índice fue la siguiente:

$$IS = \left\{ [(Y_j - M_j)^2 * I_j] + [(Y_i - M_i)^2 * I_i] + \dots \dots \dots [(Y_n - M_n)^2 * I_n] \right\}^{1/2}$$

Donde:

IS = Índice de selección.

$Y_{j...n}$ = Variable en unidades Z.

$M_{j...n}$ = Meta de selección.

$I_{j...n}$ = Intensidad de selección.

La **meta de selección** asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar del promedio que se desea lograr en la selección. La meta toma valores de -3 a +3, con valor negativo la selección será para aquellos genotipos que se encuentren por debajo de la media de la población para la variable en evaluación; por el contrario, con valores positivos aquellos genotipos que se encuentren por arriba de la media de la población y para seleccionar genotipos que se encuentren cercanos al promedio se utilizan metas con valor de cero.

La **intensidad de selección** es el grado de importancia que se le asignan a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 1 a 10. Este valor es diferente para cada una de las variables, según el criterio del investigador. El valor de intensidad más pequeño (1) es asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10) representa la variable de mayor importancia que se le da en la selección.

Las variables que fueron incluidas en la selección se encontraban con valores en unidades distintas (toneladas, porcentajes, etc.), por lo que fue necesario estandarizar cada uno de ellos y de esta forma las características pudieran combinarse mediante la fórmula siguiente:

$$Z = \frac{y_j - \bar{y}}{s}$$

Donde:

Z = Valor estandarizado.

y_j = Valor observado para la entrada j .

\bar{y} = Promedio de todas las entradas.

S = Desviación estándar del grupo de entradas.

El **valor estandarizado** de cada una de las variables entre más cerca se encuentre a la meta deseada más pequeño será el valor del IS y más cerca se encontrará el genotipo de los criterios deseados, es decir, entre más grande sea el valor de IS más alejado se encuentra del genotipo con los criterios establecidos. El genotipo que obtenga el valor de IS más pequeño es considerado como superior, ya que reúne la mayoría de los caracteres requeridos en la selección.

Análisis de varianza para la variable de respuesta IS

Una vez determinado el índice de selección (IS), se procedió a realizar un análisis de varianza con un diseño de bloques completos al azar, para determinar las diferencias estadísticas de los híbridos dentro de las localidades. El diseño estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + T_k + TL_{ki} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor del IS de la i-ésima localidad de la j-ésima repetición del k-ésimo genotipo.

μ = Media general.

L_i = Efecto de la i-ésima localidad.

$R_{j(i)}$ = Efecto de la j-ésima repetición dentro de la i-ésima localidad.

T_k = Efecto del k-ésimo genotipo.

TL_{ki} = Efecto del k-ésimo tratamiento por la i-ésima localidad.

ε_{ijk} = Efecto del error.

Grafico biplot del modelo AMMI para la variable de respuesta IS

Para modelar la respuesta de los ambientes, los genotipos y la IGA de los 126 híbridos evaluados en 10 localidades se empleó el modelo AMMI bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu_j + g_i + e_j + \sum_{k=1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j .

μ_j : Media del ambiente j para todos los genotipos y en este modelo se estima por medio de $\hat{\mu}_j = \bar{Y}_{\cdot j}$.

g_i : Efecto del i -ésimo genotipo.

e_j : Efecto del j -ésimo ambiente.

λ_k : Es el valor propio del eje k de componentes principales.

γ_{ik} : Son los vectores propios unitarios genotípicos asociados a λ_k .

α_{jk} : Son los vectores propios unitarios ambientales asociados a λ_k .

ε_{ij} : Error del genotipo i en el ambiente j .

P : Número de ejes de componentes principales considerados en el modelo AMMI.

Análisis de regresión en los sitios para la variable de respuesta IS

Para realizar una exploración del efecto de la interacción genotipo por ambiente y analizar la respuesta a ambientes específicos y estabilidad de los híbridos se empleo el modelo de regresión en los sitios. El modelo estadístico se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu_j + \sum_{k=1}^p \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j.

μ_j : Media del ambiente j para todos los genotipos y en este modelo se estima por medio de $\hat{\mu}_j = \bar{Y}_{\cdot j}$.

λ_k : Es el valor propio del eje k de componentes principales.

γ_{ik} : Son los vectores propios unitarios genotípicos asociados a λ_k .

α_{jk} : Son los vectores propios unitarios ambientales asociados a λ_k .

ε_{ij} : Error del genotipo i en el ambiente j.

p : Número de ejes de componentes principales considerados en el modelo SREG.

Para lograr una buena selección de los genotipos, se calculó el promedio de los eigenvalores (DIM1 Y DIM2), para obtener las coordenadas del probador virtual (P), con esta nueva coordenada y considerando el origen de la grafica se traza una línea que ocasiona la rotación de los ejes, aquellos genotipos que se encuentran más cerca del probador virtual son los más estables.

Criterios de selección

Con la finalidad de identificar híbridos que tengan buenas características agronómicas, las variables se integraron en base a un índice de selección. La selección se realizó mediante los resultados del análisis de varianza y el modelo de regresión en los sitios, para determinar si eran los mismos híbridos seleccionados. Por lo tanto los genotipos seleccionados van a ser aquellos que presente el IS con valores inferiores a la media menos dos desviaciones estándar.

Para seleccionar las localidades se considerará el poder discriminación que realizan los híbridos tomando en cuenta la representatividad dentro del mega-ambiente de acuerdo con la longitud del vector, además seleccionar híbridos que presenten una excelente estabilidad siendo los que se encuentren más cercano al probador virtual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se abordará la selección de híbridos con base en el valor al mérito de un índice de selección. También considerando la exploración del comportamiento de la interacción genotipo ambiente de cada híbrido evaluado. Además se identificarán los ambientes más representativos y con buena capacidad de discriminación.

Análisis de varianza

Con la finalidad de explicar si existen diferencias estadísticas, se sometieron a un análisis de varianza tomando en cuenta nueve variables agronómicas de interés. Cuyos cuadrados medios obtenidos de dicho análisis se concentran en el Cuadro 4.1.

La fuente de variación repeticiones que en el presente trabajo realmente corresponden a el efecto de las localidades de evaluación, presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables consideradas, lo cual indica que las localidades involucradas no presentaron las mismas condiciones, que pueden ser atribuidas al clima, condiciones edáficas; influyendo también el manejo agronómico que se estableció en cada localidad en específico, además este resultado es de suma importancia debido a que permite conocer el comportamiento de los híbridos a través de diferentes condiciones ambientales, logrando obtener mayor conocimiento sobre el comportamiento de ellos.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza de 126 híbridos experimentales evaluados en 11 localidades considerando 9 variables agronómicas.

FV	GL	Repeticiones	GL	Híbridos	GL	Error	Media	CV
REND (tha ⁻¹)	10	536738757**	125	3491697**	1250	733812	6898.96	12.42
HUM (%)	10	614.41**	125	6.81**	1250	1.41	19.25	6.17
APA(1-9)	9	17.26**	125	1.66**	1125	0.56	5.47	13.62
TEXT (1-9)	9	11.23**	125	2.36**	1125	0.26	6.52	7.88
AM (DC)	9	950.10**	125	3.01**	1125	0.97	13.14	7.51
AP (DC)	9	2553.97**	125	8.94**	1125	1.73	28.91	4.56
FUS (1-9)	9	37.22**	125	1.97**	1125	0.64	6.40	12.51
FM(Días)	7	887.96**	125	5.04**	875	1.12	54.62	1.94
FF (Días)	7	950.38**	125	4.58**	875	1.01	54.53	1.84

*, ** Significativos a los niveles de probabilidad al 0.05 y 0.01 respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación; REND= Rendimiento; HUM= Humedad; APA= Apariencia; TEXT= Textura; AM= Altura de mazorca; AP= Altura de planta; FUS= Fusarium; FM= Floración masculina; FF= Floración femenina.

Con respecto a la fuente de variación híbridos, se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todos los caracteres bajo estudio, siendo un indicador que en los materiales existe diferencias de comportamiento, la variación existente puede atribuirse a que los híbridos evaluados tienen diferente origen de germoplasma. Otra posible causa puede ser por la aportación que hacen los testigos comerciales debido a sus atributos agronómicos sobresalientes, dicha variabilidad es favorable ya que permite hacer la selección acertada de aquellos genotipos más prometedores.

En el cuadro 4.2 se muestra las medias de cada localidad de evaluación para las variables de rendimiento y humedad. En la variable de rendimiento resalta la localidad 5 como la mejor, seguida de las localidades 6, 11 y 8, todas ubicadas en el estado de Chiapas, lo que es indicador que la selección de los híbridos experimentales se está realizando preferentemente en este macroambiente.

Cuadro 4.2. Agrupación estadística de 11 localidades con base a la diferencia de medias de Tukey para las variables de rendimiento y humedad.

Loc	Rend	Tukey	Loc	Hum	Tukey
5	10009.30	A	4	15.91	F
6	8472.20	B	7	16.08	F
11	8259.10	BC	3	17.95	E
8	8093.10	C	6	18.52	D
10	7711.50	D	11	18.64	D
7	7637.20	D	10	18.73	D
9	7240.10	E	1	19.35	C
2	6344.50	F	5	21.26	B
3	4753.80	G	2	21.28	B
4	4050.80	H	8	21.30	B
1	3317.00	I	9	22.76	A

Loc= Localidades; Rend= Rendimiento; Hum= Humedad; Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Para la variable humedad se observa un cambio de orden con relación al rendimiento, situándose en el primer lugar las localidades 4 (Campeche 4) y 7 (Venezuela 1) que fueron estadísticamente iguales entre sí, seguida por la localidad 3 (Campeche 3). Estas diferencias pueden ser atribuidas por la temperatura, humedad relativa y condiciones edáficas que presenta cada ambiente de prueba.

En el cuadro 4.3 se concentran los mejores 15 híbridos de acuerdo a la media de dos variables (rendimiento y humedad). Los híbridos de mayor rendimiento fueron 14, 6, 22, 12, 67, 1, 27, 110 y 76, debido a la poca diferencia que existe entre el rendimiento de los híbridos esto hace más complicada la selección. Cabe resaltar que los híbridos experimentales antes mencionados tuvieron un rendimiento superior con respecto a uno de los testigos comerciales (híbrido 124), esto indica que el mejoramiento de nuevos materiales está siendo efectivo.

Cuadro 4.3. Agrupación estadística de los 15 híbridos más sobresalientes en base a la prueba de Tukey para las variables de rendimiento y humedad.

Híbridos	Rend	Tukey	Híbridos	Hum	Tukey
14	8089.20	A	75	17.13	Q
6	7745.90	AB	56	17.26	QP
22	7733.50	AB	58	17.70	QPO
12	7692.90	ABC	1	17.73	QPON
67	7687.40	ABC	76	17.87	QPONM
1	7630.30	ABCD	112	17.89	QPONML
27	7587.60	ABCDE	77	17.94	QPONMLK
110	7575.70	ABCDE	111	17.94	QPONMLK
76	7504.90	ABCDE	37	17.95	QPONMLK
124	7432.30	ABCDEF	6	18.11	QPONMLKJ
24	7424.00	ABCDEF	61	18.11	QPONMLKJ
30	7423.20	ABCDEF	44	18.14	QPONMLKJ
79	7397.40	ABCDEF	113	18.20	QPONMLKJI
29	7389.30	ABCDEF	78	18.23	QPONMLKJI
15	7370.20	ABCDEF	60	18.23	QPONMLKJI

Rend= Rendimiento; Hum= Humedad; Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

De acuerdo con Escorcía *et al.* (2010) se puede afirmar que los híbridos de alto rendimiento al menos uno de sus progenitores o ambos son de alto ACG aunado a efectos positivos de ACE, caso contrario para las cruza experimentales de bajo rendimiento puede deberse a que uno de sus progenitores es de baja ACG y efectos negativos de ACE, por ello en un programa de hibridación se debe tener el conocimiento de los progenitores para tener éxito en el programa.

En cuanto a la variable de humedad los mejores híbridos son los siguientes: 75, 56, 58, 1, 76, 112, 77, 111 y 37, por lo tanto son los que mostraron ser más precoces al tener las medias de humedad más bajas. De acuerdo al cuadro 4.3 se observaron que no fueron los mismos híbridos identificados en base a la variable de rendimiento y humedad lo que ha de suponerse que entre los híbridos existe variabilidad genética.

Selección de híbridos con base en los valores de IS

Al existir diferencias en los híbridos, es necesario generar un mecanismo para la identificación y selección de los mejores. El IS representa una buena estrategia para agrupar diferentes variables en un solo valor. Por ello se utilizó la metodología basada en índices de selección (IS) donde se integraron 3 características agronómicas de interés (rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*) y se estimaron para cada híbrido por repetición.

Los cuadrados medios del análisis de varianza de los valores de IS se concentran en el Cuadro 4.4, donde se observa que la fuente de variación localidades (Loc) fue altamente significativo ($P \leq 0.01$), esto puede suponerse a

las diferentes condiciones para cada ambiente de evaluación, lo que ocasiona una variación para la expresión de esta fuente de variación. Esto resulta interesante debido a que refleja el comportamiento de los híbridos frente a las variaciones ambientales de cada localidad en específico. Al respecto (Camargo *et al.*, 2005) indican que los ensayos para evaluar los genotipos experimentales deben realizarse con la finalidad de explorar esa variabilidad ambiental, repercutiendo en la respuesta diferencial de los genotipos en los ambientes de prueba.

Cuadro 4.4. Cuadrados medios del análisis de varianza de 126 híbridos con base a los valores de IS (integrado por el rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*) por híbrido a través de 10 localidades.

FV	GL	SC	CM
Loc	9	431.67	47.96**
Hib	125	4602.77	36.82**
Error	1125	9398.13	8.35
Total	1259	14432.57	
Media			14.19
CV			20.38

*, ** Significativos a los niveles de probabilidad al 0.05 y 0.01 respectivamente; FV= Fuentes de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; Loc= Localidades; Hib= Híbridos; CV= Coeficiente de variación.

Por otra parte, en la fuente de variación híbridos (Hib) se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$), esta variación era de esperarse ya que los valores analizados pertenecen a un IS en el cual se agrupan diferentes características, por lo que es muy difícil que todos los materiales se comporten de igual manera. Esta variabilidad resulta interesante,

ya que en los programas de mejoramiento genético lo que se busca es que exista diferencia entre los genotipos, de esta manera poder hacer selección de los híbridos más sobresalientes a través de los valores de un índice de selección que reúnan las características que el mejorador está buscando y puedan ser utilizados para la formación de nuevos híbridos.

La selección del genotipo que contenga el valor más pequeño de índice será el mejor de acuerdo con el criterio deseado por el usuario (Barreto *et al.*, 1991). Los híbridos que presentaron el índice más bajo (Cuadro A2), es el 124 (T2), seguido por los híbridos experimentales: 39, 61, 35 y 29. Todos ellos reúnen las características establecidas (rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*) reflejando superioridad entre el resto de los híbridos. En la selección se consideró el valor de la media menos dos desviaciones estándar que corresponde al 5% de una población de distribución normal estandarizada.

Durante el proceso de selección de híbridos es importante considerar, no solo los efectos del genotipo y el ambiente, sino también la interacción genotipo ambiente ya que a través de ella se detecta la eficacia de la selección en función de la adaptación de los genotipos a través de ambientes lo cual evita la necesidad de desarrollar programas específicos para cada ambiente en particular.

Análisis de estabilidad mediante el modelo AMMI

En la figura 4.1 corresponde al biplot del AMMI, en este análisis los dos componentes logran representar el 34.19% de la variación del efecto de la interacción genotipo ambiente. Los ambientes se clasificaron en tres mega-

ambientes, el primero formado por las localidades 1, 2, 3, el segundo formado por las localidades 5, 7 y 11, el último por las localidades 4, 6, 8 y 9.

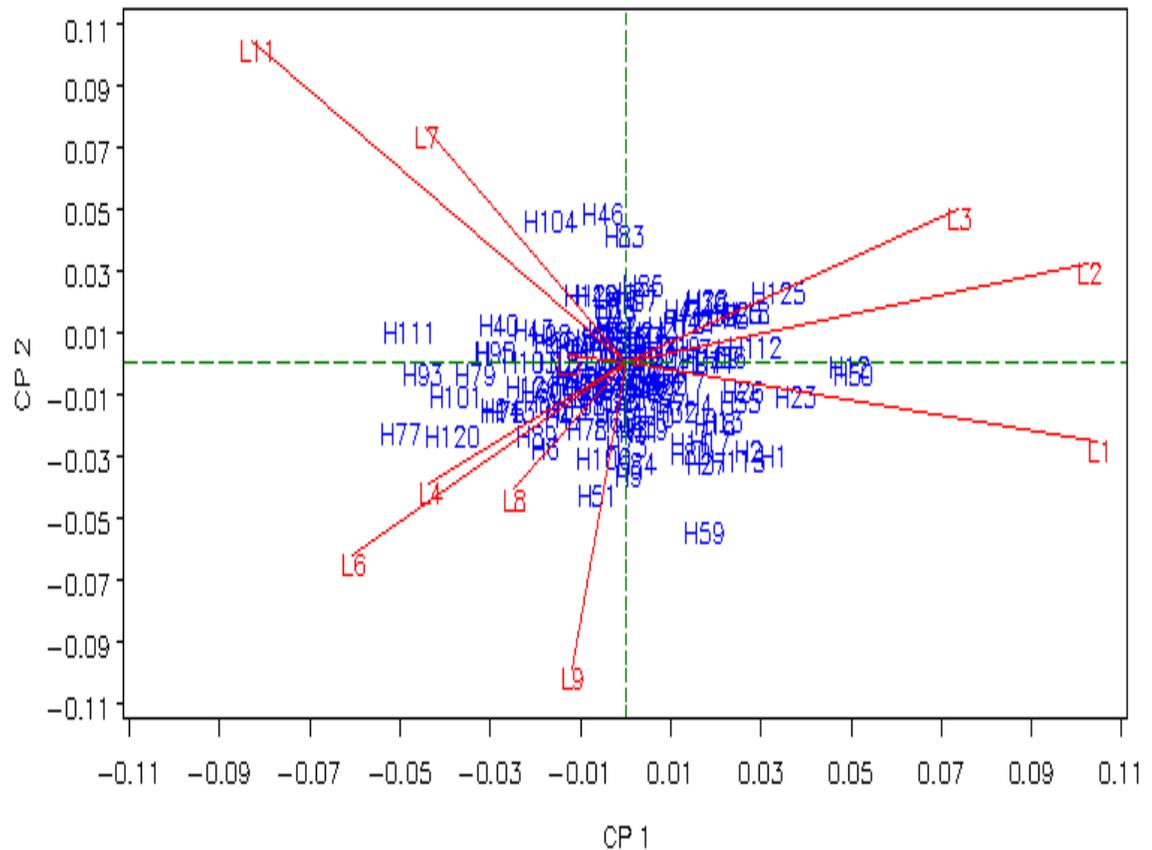


Figura 4.1. Biplot del modelo AMMI para la interpretación de los patrones de respuesta de la interacción genotipo ambiente de 126 híbridos y 10 localidades. CP1 y CP2= Correspondiente a componente principal uno y dos; H= Híbridos; L1= Campeche 1; L2= Campeche 2; L3= Campeche 3; L4= Campeche 4; L5= Chiapas 4; L6= Chiapas 6; L7= Venezuela 1; L8= Chiapas 2; L9= Chiapas 5 y L11= Chiapas 1.

De acuerdo con Zobel *et al.* (1988) las localidades que muestran interacción cruzada son las que forman un ángulo cercano a los 180°. En este gráfico se observa el comportamiento de los ambientes de evaluación, donde las localidades 1, 2 y 3 tienen interacción cruzada con las localidades 4, 6, 8 y 9. En cuanto a las localidades 7 y 11 se observa que presenta interacción cruzada para la localidad 1.

En cuanto a la asociación de los genotipos con respecto a las localidades de acuerdo lo dicho por Crossa *et al.* (2002) quienes señalan que un ángulo menor de 90° o mayor de 270° entre el vector de un cultivar y un vector de sitio indican que el cultivar tiene una respuesta positiva en el sitio. Una respuesta negativa del cultivar es indicada con ángulos mayores de 90° y menores de 270°.

Por lo antes mencionado el genotipo 23 tiene una alta asociación con la localidad 1, el genotipo 112 con la localidad 2, el genotipo 125 está asociado con la localidad 3, el genotipo 51 con la localidad 9, los genotipos 6 y 89 con las localidades 4, 6 y 8 y por último el genotipo 104 para la localidad 7.

El AMMI en el gráfico solo considera la IGA mientras que el modelo SREG incluye simultáneamente los efectos de los genotipos más los efectos de la interacción genotipo ambiente, además permite la identificación de los mejores genotipos con sus respectivos ambientes y logra una clasificación de los ambientes de prueba con base a su poder de discriminación.

Selección de híbridos por valores de IS y estabilidad empleando el modelo SREG

En la Figura 4.2 se presenta el comportamiento de los ambientes, híbridos y su interacción a través de la grafica biplot GGE del SREG. En el gráfico se observa que el polígono se encuentra dividido en 5 sectores, en cuanto a la relación entre las localidades se puede establecer que las que se encuentran en el mismo sector forman parte del mismo mega-ambiente.

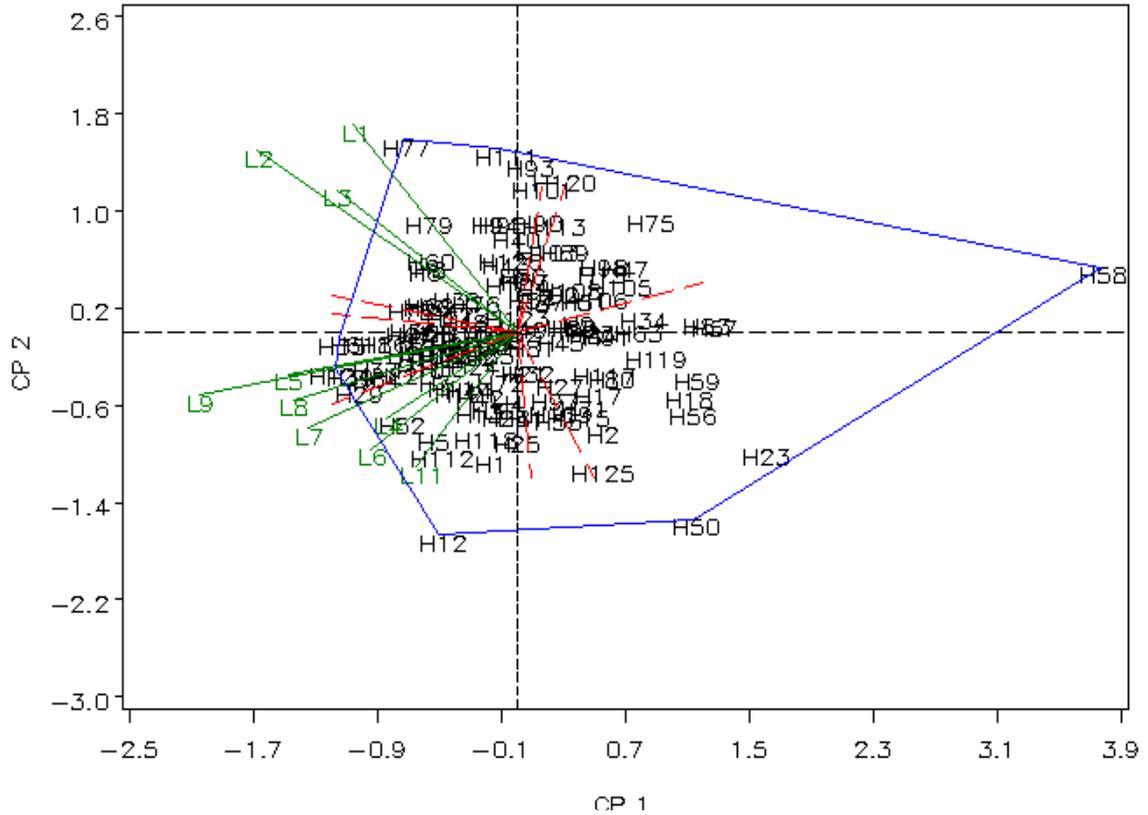


Figura 4.2. Biplot GGE patrón de respuesta “cual-ganó-donde” para 126 híbridos experimentales y 4 testigos comerciales evaluados en 10 localidades. CP1 y CP2= Correspondiente a componente principal uno y dos; H= Híbridos; L1= Campeche 1; L2= Campeche 2; L3= Campeche 3; L4= Campeche 4; L5= Chiapas 4; L6= Chiapas 6; L7= Venezuela 1; L8= Chiapas 2; L9= Chiapas 5 y L11= Chiapas 1.

Según Yan *et al.* (2000) indican que los ambientes que se encuentran dentro del mismo sector tiene la característica de clasificar a los genotipos de manera similar, es decir, tiende a presentar una similitud en el comportamiento de los híbridos, por lo que se puede recomendar eliminar a una de las localidades dentro de ellas sin perder precisión en los resultados en una próxima evaluación.

De acuerdo a lo anterior se seleccionaron los mejores híbridos para cada una de las localidades según su posición en el vértice de cada sector, lo que

corresponde a las localidades 1, 2 y 3 el mejor es el híbrido 77, en el sector donde se ubican las localidades 5, 8 y 9 los mejores híbridos son el 35 y el 124, y por último para las localidades 4, 6 ,7 y 11 el mejor híbrido es el 12, ya que estos híbridos poseen buen comportamiento en cuanto al valor de los índices de selección.

Por otra parte los híbridos 50 y 58 son los que presentaron índices de mayor valor por esta razón no se ubican en un sector, a su vez es considerado como inferior. En la Figura 4.2.1 se realiza una proyección de la Figura 4.2, donde se visualiza el comportamiento de los híbridos con relación al valor al mérito de los IS en las localidades de evaluación.

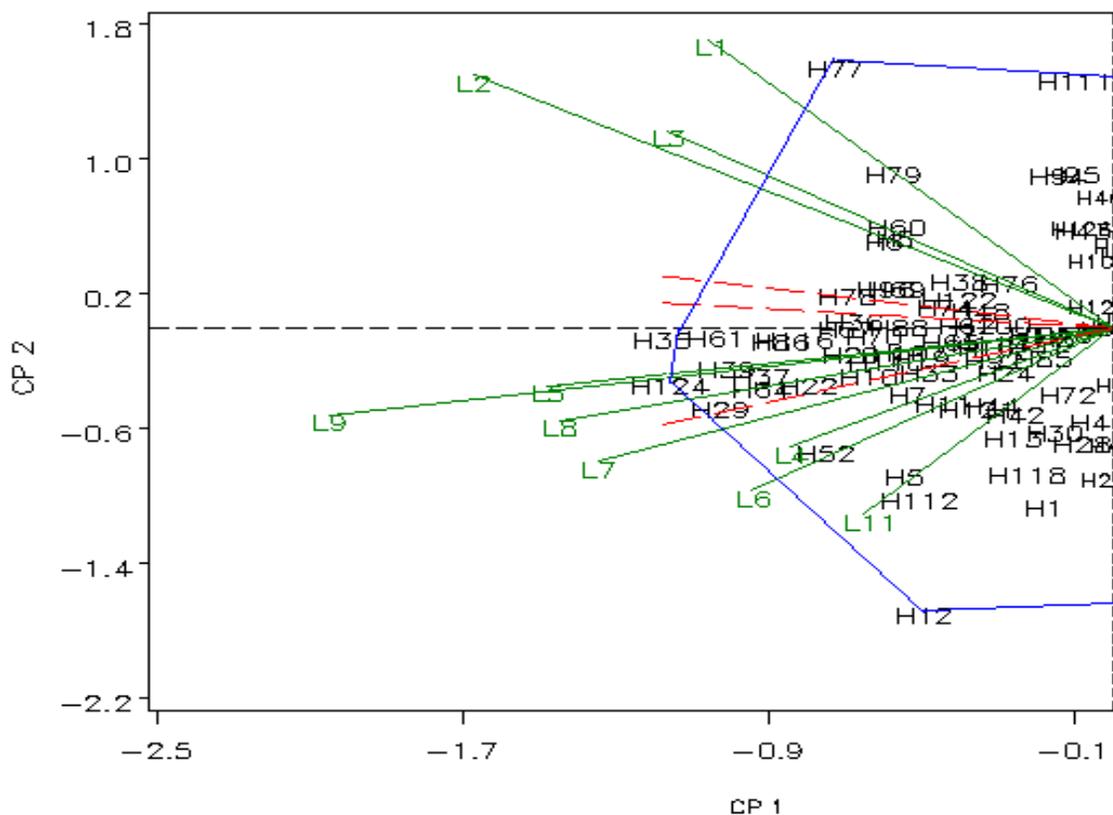


Figura 4.2.1. Proyección “cual-ganó-donde” del Biplot GGE de la figura 4.2. CP1 y CP2= Correspondiente a componente principal uno y dos; H= Híbridos; L1= Campeche 1; L2= Campeche 2; L3= Campeche 3; L4= Campeche 4; L5= Chiapas 4; L6= Chiapas 6; L7= Venezuela 1; L8= Chiapas 2; L9= Chiapas 5 y L11= Chiapas 1.

En lo que respecta a las localidades y su poder de discriminación Yan *et al.* (2000) mencionan que el mejor ambiente es el que muestra mayor poder de discriminación y se identifica por poseer el vector más largo, además de considerarse como el más representativo en cuanto a los ambientes de prueba. Por lo tanto la localidad con mayor poder de discriminación es la localidad 9 (Chiapas 5), seguido por las localidades 2 (Campeche 2), 1 (Campeche 1), 5 (Chiapas 4) y por último la localidad 8 (Chiapas 2).

Para poder tener una mejor apreciación de los materiales de evaluación se realizó otra proyección de la Figura 4.2 en la figura 4.2.2. Esta expansión logra proyectar de manera clara el comportamiento de los híbridos con respecto al probador virtual.

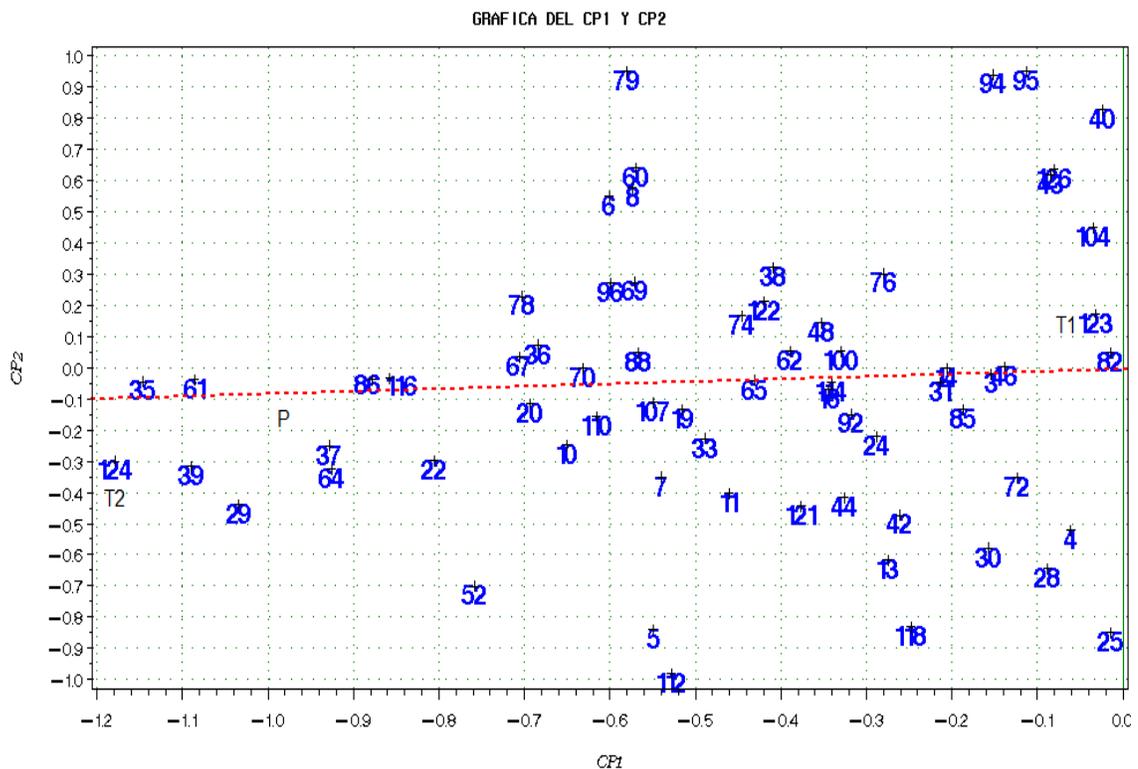


Figura 4.2.2. Proyección de la Figura 4.2 donde se aprecia el probador virtual y los híbridos más superiores y estables. T= Testigos; P= Coordenadas del ambiente virtual. Los números corresponden a los híbridos.

En esta proyección podemos observar los híbridos con mayor estabilidad y con el mejor IS. Por su parte Yan *et al.* (2000) mencionan que los genotipos que tiene mayor estabilidad son los que se encuentran más cercanos al probador virtual. Con lo anterior el híbrido más estable es el 86, seguido por los híbridos 116, 61 y el 35.

En lo referente a los híbridos más sobresalientes en base a valores de índice de selección es el 124, seguido por los híbridos 35, 39, 61 y 29, todos estos materiales ordenados con el IS más bajo. En cuanto a los testigos comerciales el híbrido 124 (T2) supera a los demás testigos tanto en estabilidad como en tener el menor índice, aunado a esto los híbridos experimentales 35 y 61 mantienen buena estabilidad superando al T2 en base a esa característica y a su vez presentan un buen valor de IS.

Considerando que los híbridos experimentales al menos uno de ellos son estadísticamente iguales con respecto a los comerciales, esto repercute que los híbridos identificados en cuanto a los criterios establecidos, deben seguir siendo evaluados para observar su comportamiento ya que pueden ser posibles candidatos para su explotación comercial, por lo tanto es indicio que el programa de mejoramiento de la compañía semillera está avanzando.

V. CONCLUSIONES

De los 126 híbridos experimentales evaluados los mejores de ellos considerando el valor de su índice de selección son el 124, 35, 39, 61 y 29. Cabe mencionar que fueron los mismos híbridos seleccionados tanto en el análisis de varianza como para el modelo de regresión en los sitios, existiendo un cambio de orden entre ellos.

Los híbridos que se identificaron más estables son el 86, 116, 61 y el 35. En cuanto a los híbridos 35 y 61 presentan un buen IS y excelente estabilidad.

Por otro lado el ambiente más representativo y de mayor capacidad de discriminación de todos los ambientes de evaluación es la localidad 9 (Chiapas 5), seguido por las localidades 2 (Campeche 2), 1 (Campeche 1), 5 (Chiapas 4) y 8 (Chiapas 2).

VI. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se llevó a cabo con la finalidad de estudiar el comportamiento agronómico de 126 híbridos experimentales incluyendo 4 híbridos comerciales como testigos, el material genético utilizado es perteneciente a la empresa Pioneer. La evaluación de los híbridos se llevó a cabo en 11 ambientes representativos, de los cuales 4 localidades se ubican en el estado de Campeche, 6 en Chiapas y 1 localidad en el país de Venezuela durante la primavera del 2011. Con los objetivos de a) Identificar y seleccionar híbridos con base a los valores de un índice de selección construido con las variables rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*, b) Seleccionar híbridos experimentales que presenten buena estabilidad a través de ambientes, c) Identificar los ambientes más representativos y los de mayor capacidad de discriminación con respecto a los híbridos establecidos. El diseño de siembra utilizado para el experimento fue un bloques completos al azar, cada parcela experimental consistió en cuatro surcos, cosechando solo los surcos centrales, con una distancia de surco de 4 metros, separados a 0.80 m con 23 plantas para cada surco. Se realizó un análisis de varianza general a través de las localidades, donde se incluyeron 9 variables agronómicas de interés con la finalidad de observar si los híbridos en cuestión presentaban diferencias estadísticas. Al identificarse diferencias entre todas las variables consideradas, esto hace que se dificulte la selección de los híbridos, por lo tanto se utilizó la metodología basada en índices de selección descrita por Barreto *et al.* (1991), ya que permite la selección de genotipos cuando se basa en múltiples características, el cual se construyó con tres variables agronómicas de interés (rendimiento, humedad a la cosecha e incidencia de *fusarium*). Dicha metodología permitió identificar los mejores híbridos considerando el valor de su

índice de selección con valores inferiores a la media menos dos desviaciones estándar, los cuales son el 124, 39, 61, 35 y 29. Para la exploración de la interacción genotipo ambiente de los híbridos y la identificación de los ambientes más representativos y con buena capacidad de discriminación se obtuvieron mediante los modelos AMMI y SREG. En cuanto a los ambientes de prueba se clasificaron en tres mega-ambientes, el primero formado por las localidades 1, 2, 3, el segundo formado por las localidades 5, 7 y 11, el último por las localidades 4, 6, 8 y 9. Los híbridos más estables son el 86, 116, 61 y el 35. Por otro lado el ambiente más representativo y de mayor capacidad de discriminación es la localidad 9 (Chiapas 5), seguido por las localidades 2 (Campeche 2), 1 (Campeche 1), 5 (Chiapas 4) y 8 (Chiapas 2).

Palabras clave: Híbridos, índices de selección, interacción genotipo ambiente, estabilidad, AMMI y SREG.

VII. LITERATURA CITADA

- Abbott** L. y Pistorale S. 2011. Análisis de la estabilidad y adaptabilidad de caracteres de interés agronómico en genotipos selectos de cebadilla criolla (*Bromus catharticus*). Agriscientia. Vol. 28(2): 109-117.
- Akcura** M. and Kaya Y. 2008. Nonparametric stability methods for interpreting genotype by environment interaction of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Genetics and Molecular Biology. 31(4): 906-913.
- Alcocer** G., Pérez P. G., García P. F. R. y Devani M. R. 2005. Determinación de estabilidad de la producción de cultivares de *Chloris gayana* Kunth en Tucumán y zonas de influencia. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. Tomo 82(1-2): 55-58.
- Alejos** G., Monasterio P. y Rea R. 2006. Análisis de la interacción genotipo ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. Agronomía Tropical. 56(3): 369-384.
- Barreto** H. J., Bolaños J. A., Córdova H. S. 1991. Programa índice de selección. Guía para la operación del software. Manual de Capacitación del Programa Regional de CIMMYT para Centro América y el Caribe.
- Bejarano** A. 2003. Descripción y principio del híbrido simple de maíz amarillo. Fonaiap 1. Agronomía Trop. Vol. 53(4): 61-69.

- Camargo** B. I., Martínez R. L., Batista M. E., Him H. P., Quirós R. E., Name T. B. 2005. Evaluación de cultivares de arroz (*Oriza Sativa* L.) bajo condiciones de secano y riego. Panamá. 2002-2003. *Agronomía Mesoamericana*. 16(2): 117-125.
- Camargo** B. I., Quirós M. I. E., Gordón M. R. 2011. Identificación de ambientes representativos y discriminatorios para seleccionar genotipos de arroz mediante el biplot GGE. *Agronomía Mesoamericana*. 22(2): 245-255.
- Castañón** G., Zetina R., Arano R., Raygoza B. 2000. El Ammi y cluster en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 11(1): 71-76.
- Cerón** R. J. J. y Sahagún C. J. 2005. Un índice de selección basado en componentes principales. *Agrociencia* Vol. 39: 667-677.
- Chavanne** E. R., Ostengo S. y García M. B. 2007. Evaluación del comportamiento productivo de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a través de diferentes ambientes en Tucumán aplicando la técnica estadística "GGE biplot". *Rev. Ind. Agríc. de Tucumán*. Vol. 84(2): 19-24.
- Córdova** H., Castellanos S., Barreto H., Bolaños J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: Logros y estrategias hacia el año 2000. *Agronomía Mesoamericana*. 13(1): 73-84.
- Crossa** J., Cornelius P., Yan W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover Genotype x Environment interaction. *Crop Science* 42, 619 – 633.
- De León** C. H., Rincón S. F., Reyes V. M. H., Sámano G. D., Martínez Z. G., Cavazos C. R. y Figueroa C. J. D. 2005. Potencial de rendimiento y

estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28(2): 135-143.

Escorcía G. N., Molina G. J. D., Castillo G. F. y Mejía C. J. A. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 33(3): 271-279.

Espinoza A., Sierra M., Gómez N. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el inifap en el escenario sin la pronase. Agronomía Mesoamericana. 14(1): 117-121.

García M. P. J., Cabrera P. S. R., Pérez C. A. A., Silva D. R. J., Álvarez P. R. M., Marín R. C. A., Monasterio P. P. y Santella Q. M. D. 2009. Estabilidad del rendimiento y potencial agronómico de cultivares de maíz de endospermo normal y QPM en zonas agroecológicas de Venezuela. Agronomía Trop. 59(4): 433-443.

Giménez F., Lúquez J. y Suárez J. C. 2000. Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Rev. Fac. Agron. La Plata 104(2): 93-103.

Gordón M. R., Camargo B. I., Franco B. J., González S. A. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. Agronomía Mesoamericana. 17(2): 189-199.

Gutiérrez V. B. N., Cornejo O. E. H., Zermeño G. A., Valencia M. S. y Mendoza V. R. 2010. Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *grggii* a huerto semillero mediante eigen-análisis. Bosque. Vol. 31(1): 45-52.

- Ibáñez** M. A., Cavanagh M. M., Bonamico N. C., Renzo M. A. 2006. Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 35(3): 83-93.
- Kandus** M., Almorza D., Ronceros R. B., Salerno J. C. 2010. Statistical models for evaluating the genotype environment interaction in maize (*Zea mays* L.). 79: 39-46.
- López** S. E., Acosta G. J. A., Tosquy V. O. H., Salinas P. R. A., Sánchez G. B. M., Rosales S. R., González R. C., Moreno G. T. Villar S. B., Cortinas E. H. M., Zandate H. R. 2011. Estabilidad de rendimiento en genotipos mesoamericanos de frijol de grano negro en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 2(1): 29-40.
- Mejía** C. J. A. y Molina G. J. D. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 26 (2): 89-94.
- Mirassón** H. R., Palomo I. R., Brevedan R. E., Fioretti M. N. 2011. Rendimiento y estabilidad de variedades de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en la Región Pampeana Semiárida. 80: 147-151.
- Mora** F., Pupim J. O. y Scapim C. A. 2007. Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo ambiente. *Cien. Inv. Agr.* 34(1): 13-21.
- Moreno** P. E., Lewis B. D., Cervantes S. T., Torres F. J. L. 2002. Aptitud combinatoria de líneas de maíz de valles altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25(3): 253-259.

- Palafox** C. A., Tosquy V. O. H., Sierra M. M., Zambada M. A., Córdova O. H. 2006. Híbridos trilineales de maíz comunes y de alta calidad de proteína para Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*. 17(2): 201-206.
- Palemón** A. F., Gómez M. N. O, Castillo G. F., Ramírez V. P., Molina G. J. D., Miranda C. S. 2012. Estabilidad de cruzas intervarietales de maíz (*Zea mays* L.) para la región semicálida de Guerrero. *Agrociencia*. 46(2): 133-145.
- Preciado** E., Córdova H., Terrón A., Cervantes E., Betanzos E., Ortega A., Gómez N., Reyes C., Vallejo H., Erazo M. 2001. Adaptación y rendimiento de híbridos de alta calidad de proteína en regiones tropicales y subtropicales de México. *Agronomía Mesoamericana*. 12(1): 33-39.
- Pugh** T. y Layrisse A. 2005. Utilización de generaciones avanzadas de híbridos simples como progenitores de híbridos dobles de maíz. *Agronomía Trop.* Vol. 55(1): 103-116.
- Ramírez** L. 2006. Mejora de plantas alógamas. Universidad Pública de Navarra. Depto. de Producción Agraria. P.1-33.
- Rodríguez** G. A., Zamora V. V. M., Reyes V. M. H., Villarreal Q. J. A., Rodríguez H. R. y Aguilar G. C. 2011. Interacción genotipo ambiente de 135 líneas endogámicas recombinantes de sorgo para producción de biocombustibles. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3(1): 21-34.
- Rodríguez** G. R. E., Ponce M. J. F., Rueda P. E. O., Avendaño R. L., Paz H. J. J., Santillano C. J., Cruz V. M. 2011. Interacción genotipo ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Vol. 14(2): 543-558.

- Rodríguez** P. J. E., Sahagún C. J., Villaseñor M. H. E., Molina G. J. D. y Martínez G. A. 2005. La interacción genotipo por ambiente en la caracterización de áreas temporaleras de producción de trigo. *Agrociencia*. 39: 51-64.
- Ruales** E. F. R. y Manrique P. C. 2007. Uso del análisis de componentes principales para construir un índice tipo producción en ganado Romosinuano (*Bos taurus*). *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:124-128.
- Rueda** R. J. A. y Cotes T. J. M. 2009. Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípica a través de validación cruzada. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 62(2): 5111-5123.
- Ruíz** V. J. y Carrillo R. J. C. 2005. Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum Bicolor*) y mijo (*Pennisetum Americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. *Agronomía Mesoamericana*. 16 (2): 153-160.
- Sierra** M. M., A. Palafox C. A., Espinoza C. A., Caballero H. F., Rodríguez M. F., Barrón F. S., Valdivia B. R. 2005. Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía mesoamericana*. 16(1): 13-18.
- Srinivasan** G., Vasal S. K., González C. F., Córdova H., Pandey S. y Vergara N. 1993. Rendimiento y estabilidad de híbridos de maíz de cruzas simples evaluadas en Colombia, México y Centro América. *Agronomía Mesoamericana*. 4: 23-29.
- Torres** F. J. L., Morales R. E. J., González H. A., Laguna C. A., Córdova O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en valles altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Vol. 2(6): 829-844.

- Tucuch** C. C. A., Rodríguez H. S. A., Reyes V. M. H., Pat F. J. M., Tucuch C. F. M., Córdova O. H. S. 2011. Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. 22(1):123-132.
- Urioste** J. I., Ponzoni R. W., Aguirrezabala M., Rovere G., Saavedra D. 2003. Características de la res en objetivos y criterios de selección para razas británicas en el Uruguay. *Agrociencia*. Vol. 7(1): 1-8.
- Varela** M. y Castillo J. G. 2005. Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción genotipo ambiente. *Cultivos Tropicales*. Vol. 26(3): 71-75.
- Vasal** S.K., Vergara N. y McLean. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de Maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 5: 184-189.
- Vergara** G. Ó. e Iriarte M. C. 2002. Determinación de un índice de selección para el peso al nacer y al destete en ganado cebú. *Revista MVZ Córdoba*. Vol 7(1): 148-151.
- Vertel** M., Espitia M. y Martínez R. 1999. Comparación de ocho índices para determinar estabilidad fenotípica en algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomía Colombiana*. 16(1-3): 30-34.
- Williams** A. H., Pecina Q. V., Zavala. G. F., Montes G. N., Gámez V. A. J., Arcos C. G., García G. M. A., Montes H. S., Alcalá S. L. 2010. Modelo de Finlay y Wilkinson vs el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo ambiente en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 (2): 117-123.
- Yan** W., Cornelius P. L., Crossa J. and Hunt L. A. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multienvironment trial data. *Crop Sci.* 41: 656-663.

Yan W., Hunt L. A., Sheng Q. and Szlavnicz Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40(3): 597-605.

Yáñez C. L. F. 2005. Índices de selección: Sugerencias para su utilización. En *Manual de Ganadería Doble Propósito*. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Pp. 106- 110.

Zobel R. W., Wright M. J. and Gauch H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80: 388-393.

VIII. APÉNDICE

Cuadro A1. Metas e intensidades utilizadas para la estimación del IS en cada variable de la evaluación realizada.

VAR	R1		R2		R3		R4		R5	
	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
REND	2.52	9	2.47	9	2.38	9	1.85	9	2.63	9
HUM	-2.72	8	-2.37	8	-2.43	8	-2.64	8	-2.83	8
FUS	3	10	3	10	3	10	3	10	3	10

VAR= Variable; R= Repeticiones; M= Meta; I= Intensidad; REND= Rendimiento; HUM= Humedad; FUS= Fusarium.

VAR	R6		R7		R8		R9		R11	
	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
REND	2	9	1.97	9	2.2	9	2.74	9	2.33	9
HUM	-2.25	8	-2.12	8	-2.12	8	-2.25	8	-2.35	8
FUS	3	10	3	10	3	10	3	10	3	10

VAR= Variable; REP= Repeticiones; M= Meta; I= Intensidad; REND= Rendimiento; HUM= Humedad; FUS= Fusarium.

Cuadro A2. Prueba de medias de Tukey de híbridos según IS.

Hib	Media	GE		Hib	Media	GE		Hib	Media	GE	
26	24.47		A	87	14.58	F	C E B D G	114	13.22	F	C E B D G
58	23.75		A	104	14.54	F	C E B D G	38	13.20	F	C E B D G
23	17.73		B	40	14.53	F	C E B D G	121	13.15	F	C E B D G
57	17.36	C	B	90	14.46	F	C E B D G	65	13.11	F	C E B D G
50	17.35	C	B	45	14.43	F	C E B D G	122	13.11	F	C E B D G
83	17.33	C	B	55	14.40	F	C E B D G	79	13.10	F	C E B D G
56	17.27	C	B D	46	14.39	F	C E B D G	44	13.07	F	C E B D G
18	16.98	C	E B D	111	14.37	F	C E B D G	13	12.98	F	C E B D G
59	16.82	F	C E B D	54	14.36	F	C E B D G	69	12.96	F	C E B D G
75	16.65	F	C E B D G	66	14.35	F	C E B D G	36	12.92	F	C E B D G
34	16.25	F	C E B D G	126	14.34	F	C E B D G	12	12.91	F	C E B D G
63	16.17	F	C E B D G	41	14.33	F	C E B D G	107	12.89	F	C E B D G
119	16.07	F	C E B D G	72	14.28	F	C E B D G	112	12.89	F	C E B D G
125	15.87	F	C E B D G	81	14.22	F	C E B D G	74	12.84	F	C E B D G
47	15.74	F	C E B D G	25	14.21	F	C E B D G	70	12.82	F	C E B D G
105	15.71	F	C E B D G	49	14.19	F	C E B D G	33	12.80	F	C E B D G
15	15.70	F	C E B D G	53	14.18	F	C E B D G	8	12.70	F	C E B D G
117	15.68	F	C E B D G	21	14.18	F	C E B D G	5	12.67	F	C E B D G
98	15.67	F	C E B D G	28	14.13	F	C E B D G	7	12.62	F	C E B D G
71	15.55	F	C E B D G	43	14.11	F	C E B D G	67	12.62	F	C E B D G
80	15.48	F	C E B D G	27	14.11	F	C E B D G	88	12.58	F	C E B D G
73	15.46	F	C E B D G	82	14.09	F	C E B D G	10	12.56	F	C E B D G
2	15.42	F	C E B D G	32	14.08	F	C E B D G	96	12.54	F	C E B D G
91	15.31	F	C E B D G	4	14.06	F	C E B D G	19	12.53	F	C E B D G
68	15.29	F	C E B D G	123	13.89	F	C E B D G	11	12.52	F	C E B D G
84	15.29	F	C E B D G	14	13.83	F	C E B D G	78	12.47	F	C E B D G
120	15.29	F	C E B D G	95	13.82	F	C E B D G	60	12.41	F	C E B D G
99	15.20	F	C E B D G	16	13.77	F	C E B D G	6	12.39	F	C E B D G
106	15.19	F	C E B D G	30	13.70	F	C E B D G	110	12.35	F	C E B D G
51	15.19	F	C E B D G	94	13.66	F	C E B D G	22	12.30	F	C E B D G
17	15.15	F	C E B D G	85	13.66	F	C E B D G	77	12.28	F	C E B D G
108	15.07	F	C E B D G	3	13.61	F	C E B D G	20	12.12	F	C E B D G
89	15.04	F	C E B D G	24	13.61	F	C E B D G	86	12.04	F	C E B D G
109	15.00	F	C E B D G	1	13.53	F	C E B D G	116	12.03	F	C E B D G
102	14.91	F	C E B D G	118	13.53	F	C E B D G	37	12.01	F	C E D G
9	14.85	F	C E B D G	92	13.50	F	C E B D G	52	11.97	F	C E D G
93	14.84	F	C E B D G	100	13.49	F	C E B D G	64	11.57	F	E D G
101	14.81	F	C E B D G	62	13.46	F	C E B D G	29	11.56	F	E G
115	14.76	F	C E B D G	48	13.44	F	C E B D G	35	11.52	F	E G
113	14.74	F	C E B D G	31	13.42	F	C E B D G	61	11.41	F	E G
103	14.73	F	C E B D G	76	13.41	F	C E B D G	39	11.24	F	G
97	14.72	F	C E B D G	42	13.31	F	C E B D G	124	11.08		G

Hib= Híbridos; GE= Grupo estadístico; Medias con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Cuadro A3. Valores de índices de selección por híbrido.

Hib	Índice	Hib	Índice	Hib	Índice	Hib	Índice
1	13.52809	33	12.79675	65	13.10724	97	14.72261
2	15.41826	34	16.24897	66	14.34711	98	15.66974
3	13.61419	35	11.51747	67	12.62159	99	15.20013
4	14.06267	36	12.9198	68	15.29249	100	13.48529
5	12.667	37	12.00858	69	12.95601	101	14.81175
6	12.39222	38	13.19794	70	12.81582	102	14.91298
7	12.6217	39	11.24376	71	15.55333	103	14.72949
8	12.70362	40	14.52699	72	14.27735	104	14.53566
9	14.85068	41	14.33251	73	15.46063	105	15.71076
10	12.55955	42	13.30831	74	12.83573	106	15.19318
11	12.51647	43	14.11058	75	16.64978	107	12.89205
12	12.90658	44	13.06562	76	13.41099	108	15.06792
13	12.9767	45	14.4327	77	12.27559	109	14.99859
14	13.83441	46	14.38552	78	12.46923	110	12.35383
15	15.69633	47	15.74273	79	13.10428	111	14.36636
16	13.7744	48	13.43793	80	15.47932	112	12.88724
17	15.15409	49	14.19043	81	14.22399	113	14.73637
18	16.97986	50	17.34581	82	14.08813	114	13.22018
19	12.52596	51	15.18743	83	17.32458	115	14.75935
20	12.11709	52	11.97131	84	15.29005	116	12.02589
21	14.17479	53	14.18058	85	13.65778	117	15.67581
22	12.29876	54	14.36298	86	12.03918	118	13.52583
23	17.73362	55	14.39671	87	14.57862	119	16.06767
24	13.60744	56	17.26909	88	12.58405	120	15.28905
25	14.21339	57	17.35838	89	15.03748	121	13.14697
26	24.47314	58	23.7491	90	14.46408	122	13.10489
27	14.10539	59	16.81509	91	15.31064	123	13.88638
28	14.12875	60	12.41067	92	13.49861	124	11.07695
29	11.55825	61	11.41109	93	14.84403	125	15.86759
30	13.6977	62	13.4563	94	13.65797	126	14.33468
31	13.42173	63	16.16723	95	13.81604		
32	14.07845	64	11.57094	96	12.54122		

Hib= Híbridos.