

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Índices de Selección, Modelos Multivariados y Análisis de Varianza para Identificar
Híbridos, Parentales y Probadores Superiores en Maíz

Por:

MARÍA LUISA FRANCISCO MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.
Abril de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Índices de Selección, Modelos Multivariados y Análisis de Varianza para Identificar
Híbridos, Parentales y Probadores Superiores en Maíz

Por:

MARÍA LUISA FRANCISCO MENDOZA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada:

Dr. Humberto De León Castillo
Asesor Principal

Dr. Alfredo De La Rosa Loera
Coasesor

Ing. Raúl Gándara Huitrón
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.
Abril de 2014.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS y a la Virgen de Guadalupe por haberme prestado la vida, por estar conmigo en cada paso que doy, por cuidar a mi familia estando a la distancia por darme paz en momentos de angustia, por guiarme sobre el mejor camino y sobre todo por dejarme concluir mi carrera profesional. Gracias por todas las bendiciones recibidas.

A mi Alma Terra Mater por permitirme formar parte de ella y ser mi segundo hogar, fue aquí donde crecí tanto personal como profesionalmente.

Al Dr. Humberto de León Castillo por su amistad que es invaluable, por su sabiduría, por sus consejos realizados y por hacer las pláticas muy amenas pero sobre todo por su gran disposición, aportación y por la confianza para la realización de esta tesis.

Al Ing. Raúl Gándara Huítrón por su amistad, consejos y apoyo en la revisión de este trabajo de tesis.

Al Dr. Alfredo de la Rosa Loera por ayudarme sin conocerme antes de ingresar a nuestra Alma Mater y por el tiempo invertido en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Leobardo Bañuelos Herrera por permitirme aprender de sus conocimientos, por su gran amistad, sus consejos y por todo el apoyo brindado.

Al M.C Daniel Samano Garduño por permitirme realizar mis prácticas profesionales, por su paciencia y por brindarme la oportunidad de recurrir a su experiencia en un marco de confianza y amistad.

Al Mario Ernesto Vázquez Badillo por su paciencia, por compartir su experiencia y por todo el gran apoyo brindado.

A cada uno de los catedráticos que estuvieron a lo largo de mi carrera, por compartir todos sus conocimientos, experiencias, consejos y herramientas necesarias para forjarme como profesionalista.

A la familia Amasende Ramírez por haberme recibido, por su grandiosa amistad, por su confianza y por darme una mano cuando lo necesite, muchísimas gracias.

A mis amigos de generación: Omar Bautista, Juan Mendoza, Rodrigo Barreto, Salvador Zepeda, Amos García, Jabneel García, Benito García le doy gracias a Dios por haberlos encontrado y haber convivido tantos años juntos, por haber compartido tanto momentos y por su amistad incondicional.

A todos mis compañeros de la generación CXVI por apoyarme de una u otra forma pero sobre todo por haber compartido momentos inolvidables.

A mis amigos de otras carreras: Sandra Jacobo, Odalís Pérez, Karen López, Salvador Cortes, Ezequiel Guevara, Ángel Delgado, Néstor Moreno junto con todos los que no me olvido aunque no los mencione no significa que no sean importantes, pero si no esta tesis se llenaría de nombres, a cada uno gracias por todos los momentos compartidos y el apoyo brindado.

A todas aquellas personas que me han brindado una mano, una palmadita en la espalda, una sonrisa, y me motivaron a continuar, gracias.

DEDICATORIAS

A mis padres:

María de los Ángeles Mendoza Pulido y José Luis Francisco Díaz

A mi madre, gracias por darme la vida, por estar conmigo a pesar de todo lo que hemos pasado, por ser mi pilar, mi consejera, simplemente gracias, nunca tendré con que pagar todos tus desvelos y sacrificios que has realizado-

A mi padre, gracias por todo tu apoyo a pesar de tener ideas diferentes siempre has respetado mis decisiones, por tus palabras de aliento y por tus horas de trabajo invertidas para que no faltara nada en el hogar.

Simplemente gracias a ambos por darme la mejor herencia que ha sido el estudio a pesar de sacrificar todo para que saliera adelante, por su amor incondicional que me han brindado, por creer en mí, por su comprensión y paciencia en momentos difíciles, por mostrarme el camino para hacer siempre lo correcto, por ser mi pilar más fuerte para que no me derrumbara en momentos difíciles, por inculcarme buenos valores, es por todo ello y mas que tienen todo mi amor y respeto. Les dedico este logro que también es suyo.

A mi hermano Luis Ángel Francisco Mendoza por compartir momentos de alegría y tristezas, por aconsejarme e incluso por llegar a ser más fuerte que yo, nunca olvides que te quiero mucho y a pesar de los obstáculos siempre saldremos adelante y cuentas conmigo para siempre.

A mi abuelito Odilón y a mi abuela Gabriela gracias por su cariño, pero en especial a mi abuelita Crescencia (+), gracias por haber compartido parte de tu vida brindándome tu apoyo hasta el último momento, por compartir mis ocurrencias y por aconsejarme cuando más lo necesitaba, nunca se me olvidaran los gratos y malos momentos que vivimos, sé que dios se ganó un ángel en el cielo, te quiero chenchita.

A mis tías: Catalina, Verónica, Edith, Marisol y Amalia, a mis tíos: Manuel, Alejandro, Bonifacio, José, Jesús (Chucho), Gabriel, Gerardo y Roberto, personas a quienes aprecio, respeto y admiro, por todos sus consejos, por soportarme, por su apoyo moral y por cada momento que he compartido con cada uno, gracias.

A mi primo Alejandro (Alex) ya que contigo he convivido parte de toda mi vida y hemos compartimos muy gratos momentos, junto con todos los primos de quienes no me olvido, Frida, Jaime, Silvia, Lalo, Uriel, Esperanza, Ilse, Robert, Jazmín, Eduardo, porque son parte especial y muy importante, los quiero.

Al resto de mi familia que siempre me brindo un consejo, su amistad y apoyo moral, gracias.

A Miguel García Calvario por estar conmigo en las buenas y en las malas, por sacarme una sonrisa en momentos tristes y apoyarme incondicionalmente, por tu paciencia, comprensión y todo tu amor. Le agradezco a Dios por habernos cruzado en el camino y compartir parte de mi vida con alguien como tú.

Finalmente gracias a todas las personas que han creído en mí a lo largo de todo este tiempo. Gracias.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
I. INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS	3
HIPOTESIS	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
Hibridación.....	4
Probadores.....	5
Índices de selección.....	6
Interacción Genotipo-Ambiente.....	8
Estabilidad	10
Modelos multivariados para la exploración genotipo ambiente.	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
Material genético	14
Descripción de las localidades	17
Descripción de la parcela experimental.....	17
Labores culturales	18
Variables agronómicas evaluadas.....	19
Análisis de varianza de variables agronómicas	22
Grafico biplot del modelo AMMI	23
Índice de selección (IS)	24
Análisis de Varianza de IS.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
Análisis de varianza combinado.....	28

Agrupamiento de las variables agronómicas con el modelo AMMI.....	40
Análisis de varianza del IS.....	42
Análisis de estabilidad y selección de híbridos por IS mediante el modelo SREG	46
V. CONCLUSIONES	49
VI. RESUMEN	50
VII. LITERATURA CITADA	51
VIII. APÉNDICE	57

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
3.1	Genealogía de líneas utilizadas en la evaluación.....	15
3.2	Situación geográfica y características climáticas de los ambientes de evaluación: Silao Gto, Jaral del Progreso Gto y el Mezquite Nuevo León.....	17
4.1	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.....	30
4.2	Agrupamiento estadístico de 3 localidades con base a la diferencia de medias de tukey para las variables evaluadas.....	31
4.3	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando a los probadores evaluados como variable de respuesta.....	35
4.4	Agrupamiento estadístico de 2 probadores con base a la diferencia de medias de tukey para las variables evaluadas.....	36
4.5	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando a las líneas evaluadas como variable de respuesta.....	39
4.6	Metas e intensidades utilizadas en las localidades (Silao, Gto.; El Jaral del Progreso, Gto. y El Mezquite, NL).....	42
4.7	Cuadros medios del análisis de varianza de 100 híbridos considerando como variable de respuesta los valores de IS a través	43

	de localidades.....	
4.8	Resumen de los híbridos asociados a su IS.....	44
4.9	Identificación de líneas de acuerdo a las medias del IS.....	45
A ₁ .	Genealogía de híbridos Experimentales.....	57
A ₂	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 1 (Silao, Gto.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.....	60
A ₃	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 2 (Jaral del Progreso, Gto.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.....	61
A ₄	Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 3 (El Mezquite, NL.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.....	62

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
4.1	Biplot AMMI de agrupamientos de variables agronómicas.....	41
4.2.	Biplot GGE. Patrón de respuesta de IS para 100 híbridos evaluados en 3 localidades.....	47
4.3	Proyección de la Figura 4.2 donde se aprecian los híbridos superiores y estables.....	48

I. INTRODUCCION

El maíz constituye uno de los cereales de mayor importancia por su utilización en la alimentación humana, animal y como materia en la producción de biocombustibles. El mejoramiento genético de maíz en México se encuentra en constante crecimiento, gracias a los programas nacionales, que junto con las compañías privadas, buscan mejorar las características agronómicas de este cultivo para lograr el autoabastecimiento.

El objetivo principal de todo programa de mejoramiento, es el desarrollo de materiales mejorados que posean características agronómicas, fisiológicas y morfológicas, superiores a los materiales originales, además de responder a las necesidades de los agricultores.

De acuerdo con Copeland y McDonald (2001), las semillas de variedades mejoradas son el medio para incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas, al servir como puente entre el mejoramiento genético (la investigación) y el productor.

Por ello entre otras cosas es necesario tener varios tipos de probadores bien definidos para poder separar nuevas líneas en diferentes grupos heteróticos y tener una buena manipulación en formación de híbridos más eficientes (Vasal *et al.* 1994).

En la actualidad el uso de modelos y simulación de sistemas, son herramientas que se han integrado a los programas de mejoramiento genético como estrategia de manejo de los recursos naturales, en combinación con los ambientes agro ecológicos, climáticos y socioeconómicos.

Pretendiendo con ello la elección de híbridos con buen comportamiento agronómico y alto grado de estabilidad, es decir que presenten comportamientos con menores variaciones entre distintos años las condiciones climáticas de cada sitio.

En un programa de mejoramiento, se consideran varios caracteres al tiempo. Una alternativa práctica es el uso del índice de selección (IS) descrito por Barreto et al (1991) que solo requiere de los valores fenotípicos registrados a los que se les establece una meta de selección y asigna un valor económico a cada variable con la combinación lineal de los resultados por variable, se obtienen los valores de IS de cada genotipo.

Para identificar el híbrido con el mejor atributo y estabilidad es necesario la evaluación de genotipos en diferentes ambientes para determinar la respuesta de los híbridos a través de la región de interés. Y una de las formas de medirlos es por medio de: el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y el modelo de regresión de sitios (SREG) representado mediante los gráficos biplot.

En el presente trabajo de investigación se evaluaron 100 híbridos experimentales derivados del apareamiento de 75 líneas con 2 probadores con el objeto de seleccionar los materiales más estables en 3 ambientes representativos mediante la metodología de IS y auxiliados por el Gráfico Biplot.

OBJETIVOS

- Explorar la variabilidad presente en las diferentes variables medidas por tratamiento.
- Identificar el mejor probador con respecto a su habilidad de discriminación de líneas.
- Identificar las mejores combinaciones auxiliados por un índice de selección.
- Identificar los híbridos más estables mediante un IS e identificar el ambiente con mayor poder de discriminación.

HIPOTESIS

- Se lograra una mayor eficiencia en la selección de híbridos cuando se emplean diseños experimentales eficientes, con el uso de índices de selección y el modelo de regresión de sitios

I. REVISION DE LITERATURA

Hibridación

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento esto ha dado lugar a que haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad rápida y ampliamente difundidas. (Paliwal, 2001).

Vega *et al.* (2003) mencionan que la generación de híbridos que puedan ser explotados comercialmente, es el resultado del mejoramiento genético que se enfoca a la resolución de problemas reales y urgentes, como es el caso de la falta de semilla mejorada de origen nacional que conlleve la seguridad de que por su calidad y pureza genética, los agricultores incrementan su producción por unidad de superficie.

De León *et al.* (2005) manifiestan que el vigor híbrido solo puede ser expresado mediante mejoramiento dirigido y es planeado desde la elección de germoplasma apropiado para la producción de híbridos superiores y explotar al máximo la heterosis.

Gómez *et al.* (2008) Indican que un híbrido se caracterizan por la estabilidad de rendimiento en ambientes favorables y mayor uniformidad y sanidad de planta y

mazorca. Sin embargo, el movimiento tan intenso de germoplasma introducido, aunado a los cambios climáticos exigen la generación de genotipos de maíz con características de resistencia a condiciones adversas de cultivo.

Escorcía *et al.* (2010) mencionan, un propósito importante del mejoramiento genético de maíz (*Zea mays L.*) por hibridación es generar cruza que superen en rendimiento de grano a las variedades locales criollas y mejoradas. En la producción comercial de maíz se usan tres tipos de híbridos: cruza simple, cruza trilineal y cruza doble. El rendimiento potencial de los tres tipos de híbridos es: cruza simple > cruza trilineal > cruza doble.

Probadores

El uso de probadores para la selección de líneas avanzadas, al mismo tiempo que la evaluación *per se*, representa una estrategia alternativa para la generación de híbridos de maíz, ya que permite dirigir de manera eficiente los cruzamientos de las líneas seleccionadas y lograr mejores combinaciones híbridas. (Vasal *et al.* 1994; Sierra *et al.* 2004).

Los probadores son utilizados para establecer modelos heteróticos, mejoramiento entre poblaciones, formación y mejoramiento de nuevos grupos heteróticos, evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas e identificación de las combinaciones específicas de híbridos. (Paliwal 2001).

Mendoza *et al.* (2000) evaluaron probadores de amplia y reducida base genética para saber cuál es el más valioso para discriminar y clasificar líneas, los

resultados obtenidos indicaron que el probador más apropiado para la discriminación y clasificación de líneas, fue el de amplia base genética.

Dentro de un programa de mejoramiento genético por hibridación de maíz, es importante disponer de un probador confiable y eficiente de la aptitud combinatoria general (ACG) de líneas autofecundadas. El uso de líneas de baja ACG como probador permitirá de manera eficiente identificar líneas para usarse en la formación de híbridos y variedades sintéticas con alto potencial productivo (Lobato *et al.* 2010).

La elección de probadores apropiados es un tema complejo en el mejoramiento genético de cultivos, debido al tipo de herencia de los caracteres en estudio y a las interacciones entre genotipo y ambiente. Un probador es el que clasifique y discrimine correctamente el comportamiento de cualquier tipo de material, como líneas homogéneas, poblaciones heterogéneas y especies silvestres, todo esto, aún sin conocer el origen y pedigrí del material. (De la Cruz *et al.* 2008).

Índices de selección

Vergara e Iriarte (2002) señalan que el índice de selección es el método más apropiado, ya que en él se considera el mérito integral para los caracteres elegidos, tanto desde el punto de vista genético como económico.

Yáñez (2005) indica que un Índice de selección es utilizado para hacer selección de manera simultánea por varias características, toma en consideración además de los aspectos genéticos, la importancia económica de las características involucradas. Está conformado por dos ecuaciones; la primera es la que incluye las

características que se desea mejorar, es decir el objetivo de selección y la segunda se constituye de las características sobre aquellas que se hace selección denominadas criterios de selección.

Cerón y Sahagún (2005) indican que 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). Los índices de selección permiten separar genotipos con base en la evaluación simultánea de varios caracteres. Cada método tiene una eficiencia diferente y el que proporcione la ganancia genética máxima por unidad de tiempo y esfuerzo es el mejor.

Restrepo, *et al.* (2008). Indican que un índice de selección es un método de puntaje total en el cual se desarrolla una ecuación que proporciona valores óptimos a la importancia económica de cada característica, la heredabilidad de cada una de ellas y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las características de manera que permite separar genotipos con base en la evaluación simultánea de caracteres y los ordena basándose en el valor obtenido. El objetivo principal del índice de selección es maximizar el promedio del valor genético de una población. (Tucuch *et al.* 2011).

Betancur *et al.* (2012) señalan que un índice de selección es el mejor predictor lineal del valor de mejoramiento por unidad de selección y toma la forma de la regresión múltiple del valor de mejoramiento, sobre todas las fuentes de información.

El programa de índice de selección desarrollado en Centro internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo (CIMMYT), por Barreto *et al.*, (1991), genera una

variable llamada índice, que incorpora matemáticamente en un solo valor numérico todas las características expresadas por el usuario, lo ideal es que las variables consideradas para construir este tipo de índice se encuentren lo más cercano al prototipo para cada variable, es decir, la distancia entre el valor observado y el prototipo sea mínima por lo tanto, mientras más pequeño es el valor del índice más cerca se encuentra el genotipo de los criterios deseado, se considera el genotipo superior.

Interacción Genotipo-Ambiente

Córdova (1991) argumenta que la interacción genotipo-ambiente merece gran importancia en la evaluación de cultivares desarrollados para diferentes circunstancias de producción, es necesario la integración de los conceptos de estabilidad para definir el comportamiento de cultivares evaluados a través de ambientes contrastantes. No obstante, Epinat-le *et al.* (2001) refiere que la selección de los genotipos superiores y estables se dificulta, debido a la respuesta genotípica diferencial a condiciones ambientales variables.

De León *et al.* (2005) mencionan que la interacción genotipo x ambiente es la respuesta diferencial de los genotipos en los ambientes de evaluación; es de constante preocupación este fenómeno especialmente cuando su magnitud es grande, ya que dificulta la elección y recomendación de genotipos estables y torna lento el avance de la selección.

Rodríguez *et al.* (2005) mencionan que la definición de las estrategias de selección de los programas de mejoramiento genético de cultivos, depende en gran medida de la caracterización ambiental. Esto permite la identificación de localidades

que proporcionen información aplicable a otras similares, y la definición de ambientes que demanden programas particulares de selección, de evaluación o ambos.

Para la obtención de nuevas variedades es necesario evaluar los materiales en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo x ambiente (IGA) la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de las variedades ante las fluctuaciones ambientales. En la IGA son importantes fuentes de variación en cualquier cultivo y el término estabilidad es usado para caracterizar genotipos que muestran rendimientos relativamente constantes, independientemente de las condiciones ambientales cambiantes. (Roa *et al.*, 2010).

Alejos *et al.* (2006) consideran que la ocurrencia de interacción genotipo ambiente exige la realización de estudios adicionales con el propósito de precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica y varios procedimientos estadísticos han sido usados para el análisis de la IGA, incluyendo métodos univariados y multivariados. El uso del “biplot”, es una técnica de representación gráfica, es una herramienta útil para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, ambientes y de la interacción G x A.

La respuesta diferencial de los genotipos a diversos ambientes es llamada interacción genotipo-ambiente (IG*A), esta interacción merece gran importancia en la formación de nuevos híbridos, ya que si hay respuesta positiva la comparación y recomendación de los mismos se dificulta, para esto se requiere evaluar los materiales en diferentes ambientes con la finalidad de tener una idea de su estabilidad y permitir seleccionar con menor interacción, este ha sido uno de los principales objetivos de las instituciones estatales, así como de empresas que se dedican a la venta de semillas mejoradas y uno de los criterios que debe tomarse en

cuenta en los programas de mejoramiento.(Gordon *et al.* 2006; Rodríguez *et al.* 2011; Lozano del Rio *et al.* 2009 e Ibáñez *et al.* 2006).

Estabilidad

Gordon *et al.* (2006) definen a la estabilidad como la capacidad de los genotipos de mostrar un comportamiento altamente previsible en función del estímulo ambiental y a la adaptabilidad como la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente.

La estabilidad de especies vegetales tiene varias interpretaciones. Becker (1981) propuso dos conceptos: el biológico cuyo ideal es el genotipo de mínima variación a través de ambientes, que muestra un rendimiento constante en cualquier condición de producción y el agronómico, que representa una mínima interacción genotipo x ambiente, lo cual está asociado con la pretensión de obtener un incremento del rendimiento en respuesta a mejoras ambientales. (Jarma *et al.* 2011).

Para Coutiño y Vidal (2003) El fitomejorador desea cultivares estables con buen rendimiento en todas las condiciones de la región de producción de interés. La incorporación de la estabilidad en los programas de fitomejoramiento, con énfasis en la selección final de potenciales cultivares comerciales, sería benéfico para los productores. La meta del fitomejorador sería minimizar las interacciones genotipo-ambiente, lo que puede hacer con el uso de genotipos estables.

Alejos *et al.* (2006) destacan que la presencia de la interacción genotipo-ambiente en ensayos multi-ambientales exige una realización de estudios adicionales para poder precisar la selección de individuos con adaptabilidad general y específica.

En la selección de los mejores híbridos, la adaptabilidad de los genotipos es importante, ya que permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes, definidos por: clima, suelo y manejo agronómico (Sierra *et al.* 2008).

Según Lee *et al.* (2003) la estabilidad fenotípica ha sido reconocida como un importante objetivo en mejoramiento influenciada en parte por la estructura genética. Aún muy poco se conoce acerca de los componentes genéticos subyacente de estabilidad y como las estrategias de mejoramiento influyen la estabilidad.

Para López *et al.* (2011) los estudios de adaptabilidad y estabilidad del rendimiento son importante para determinar la respuesta de las variedades en diferentes localidades, años y ciclos de cultivo. Existen diferentes métodos que pueden usarse en la selección de genotipos por su estabilidad entre los más comunes están el análisis de regresión lineal, componentes de varianza y la descomposición de la interacción genotipo-ambiente (IGA) total en un componente para cada genotipo.

Camargo *et al.* 2011 argumentan que la separación de las localidades respecto a la capacidad discriminatoria 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.

Modelos multivariados para la exploración genotipo ambiente.

Varios procedimientos estadísticos han sido usados para estudiar la interacción genotipo ambiente (IGA), incluyendo métodos univariados y multivariados (Rea y De Sousa, 2002).

Chavanne *et al.* (2007) argumentan que para analizar la interacción genotipo-ambiente en diferentes cultivos 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 biplot” de Yan *et al.* (2000).

Alejos *et al.* (2006) Indican que el procedimiento AMMI consiste en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) en un solo modelo, donde el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes y los análisis de CP la interacción G x A la cual es tratada de forma multivariada para su interpretación.

El modelo SREG se basa en un modelo similar al AMMI, pero los términos lineales de genotipos no se consideran individualmente y se adiciona el término multivariado de la IGA. El SREG es útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta. (Yan *et al.* 2000). Genera un gráfico biplot GGE de fácil interpretación, que se utiliza para la evaluación del genotipo ideal en ensayos multi-ambientales, siempre y cuando exista una alta correlación entre los efectos principales CP1 y el efecto principal del genotipo (Crossa *et al.*, 2002;. Yan *et al.*, 2000).

Una útil herramienta para la interpretación y evaluación de los patrones de respuesta genética, ambiental y de la IGA de los ensayos evaluados en varios ambientes son los gráficos “Biplot”, que son una representación gráfica del comportamiento simultaneo de los factores de interés (Crossa *et al.*, 1991; Yan *et al.*, 2001).

Por otra parte, el gráfico permite visualizar el agrupamiento de genotipos y ambientes (mega-ambientes) con patrones similares de respuesta, así como identificar los ambientes más representativos y los más discriminatorios (Yan, 2002).

El modelo de regresión en sitios (SREG) que incluye el término bilineal G+GE proporciona un análisis gráfico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos denominado biplot GGE el cual permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambiente con patrones similares de respuesta. (Ibáñez *et al.* 2006)

De León *et al.* (2005) reportan resultados importantes de la respuesta a la IGA se logran trabajando con el modelo de efectos principales aditivos y de la interacción multiplicativa. Hasta la fecha el modelo ha pasado por una serie de adecuaciones hasta llegar a lo que hoy se conoce como grafica GGE, que no es otra cosa que la conjugación del análisis de varianza convencional con el análisis de componentes principales (ACP).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El material genético utilizado fueron 100 híbridos formados con 75 líneas y 2 probadores: una línea (PE-212-1-2-A) y una cruce simple (CS) que se describen en el cuadro 3.1, este material proviene del programa de mejoramiento genético del área del Bajío, del Instituto Mexicano de Maíz “Dr. Mario Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

La evaluación de los híbridos se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2011.

Cuadro 3.1 Genealogía de líneas utilizadas en la evaluación

Línea	Genealogía	Línea	Genealogía
1	((M13xPE-115-3-1-11) x M13)-3-2	27	(M47 x 351-296-1-6-A)-20-3
2	((M13xPE-115-3-1-3) x M13)-6-1	28	(M47 x 351-296-1-6-A)-6-3
3	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-14-1	29	(M7 x 43-46-2-3-2)-10-2
4	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-19-A	30	(M7 x 43-46-2-3-2)-10-4
5	((M15xPE-115-3-3-2) x M15)-12-2	31	(M7 x 43-46-2-3-2)-14-1
6	((M16xE-195) x M16)-15-3	32	(M7 x 43-46-2-3-2)-14-2
7	((M16xE-197) x M16)-15-2	34	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-9-1
8	((M16xE-197) x M16)-6-1	35	((M15xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-4-2
9	((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-1-1	36	((M16xE-195) x M16)-11-1
11	((M31xE-197) x E-197-6)-16-1	38	((M16xE-197) x E-197-1)-12-5
12	((M31xE-197) x E-197-6)-19-2	39	((M16xE-197) x M16)-13-3
13	((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-7-1	40	((M16xE-197) x M16)-14-2
14	((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-1	41	((M16xE-197) x M16)-2-1
15	((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-10-3	42	((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-1-2
16	((M6xPE-212-1) x M6)-16-1	43	((M1xE-197) x E-197-6)-8-2
17	((M7xE-197) x M7)-16-2	44	((M29xE-197) x M29)-11-1
18	((M7xV524) x M7)-14-2	45	((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3
19	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-14-1	46	((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-19-2
20	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-18-1	47	((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-7-5
21	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-6-1	50	((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-18-2
22	(CML-373 X AN7 R-25-3-1-2-A)-A-A-10-1	53	((M7xE-197) x E-197-6)-4-4
23	(LEOPRECOZxPN-308-1)-11-A-A-2	54	((M7xE-197) x E-197-6)-7-4
24	(M13 x 232-10-11-1-A)-2-2	55	((M7xV524) x M7)-1-1
25	(M15 x E-195-5)-2-3	57	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-13-2
26	(M47 x 351-296-1-6-A)-17-2	58	(CML-373 X AN7 R-25-3-1-2-A)-A-A-7-3

Continuación Cuadro 3.1 Genealogía de líneas utilizadas en la evaluación

Línea	Genealogía	Línea	Genealogía
59	(LEOPRECOZxPN-308-2)-42-A-A-6	86	(M19 x (PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-1-3)-5-2
60	(M15 x CML-11-3)-3-1	88	(M7 x 351-296-1-6-A)-20-1
61	(M16 x (PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-5)-10-4	89	(M7 x 43-46-2-3-2)-10-1
63	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-16-2	90	(M7 x 43-46-2-3-2)-8-1
64	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-16-4	91	((M22xE-197) x M22) x M22)-3
65	(M47 x 351-296-1-6-A)-1-2	94	((M13xPE-115-3-1-10) x M13)-20-1
66	(M47 x 351-296-1-6-A)-20-1	96	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-5-1
67	(M47 x 351-296-1-6-A)-2-2	97	((M16xE-197) x M16)-13-1
69	(M7 x 43-46-2-3-2)-4-2	112	MLS4-1
70	351-296-1-6-A-A	113	((M16xE-197) x E-197-1)-15-1
73	MLS4-1 RC4N-7-1-1 X 53-36-37-N-10-2-A-1-1-A-1	114	((M31xE-197) x E-197-6)-12-1
74	((M1xE-197) x E-197-6)-15-2	Prob	Genealogía
77	((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-2	1	PE-212-1-2-A
82	((M7xE-197) x E-197-6)-7-1	4	CS

Descripción de las localidades

La evaluación de las parcelas se realizó en tres ambientes representativos de la zona del Bajío. En el cuadro 3.2 se muestran las características principales de los sitios de evaluación correspondientes.

Cuadro 3.2. Situación geográfica y características climáticas de los ambientes de evaluación: Silao Gto, Jaral del Progreso Gto y el Mezquite Nuevo León.

AMBIENTE	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)
Silao, Gto	20° 56'	100° 25'	1780	18 °C	600 a 800
Jaral del Progreso, Gto	20° 26'	101° 07'	1730	18.5 °C	647.9
El Prado Nuevo León	24° 12'	100° 05'	1890	18 °C	300

Descripción de la parcela experimental

El diseño de siembra utilizado para el experimento fue un bloques incompletos al azar con arreglo alfa látice con dos repeticiones por localidad, la parcela experimental fue de un surco de 5 metros de largo y 0.75 metros entre surcos con 38 plantas y una distancia de 13 cm entre planta y planta para la localidad de El Mezquite, Nuevo León, en las localidades de Silao y Jaral, Gto. la parcela experimental fue de dos surcos de 5 metros y 0.75 metros entre surco y surco con 38 plantas por surco.

Labores culturales

Preparación del terreno

Todas las localidades se iniciaron con un subsoleo, posteriormente dos pasos de rastra y un riego de pre-siembra.

Siembra

La siembra se realizó de forma manual para la localidad del Mezquite Nuevo León y de forma mecánica para las localidades de Jaral y Silao, Gto.

Fertilización

La dosis aplicada en cada localidad fue de 120N-80P-60 Kg ha⁻¹, la aplicación se realizó en dos momentos: la mitad del nitrógeno y todo el fósforo 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 estaba en V5.

Control de malezas

El control de maleza se realizó de forma química, aplicando Gesaprin Calibre 90 (Atrazina), antes de la emergencia del cultivo, eliminando las plantas pequeñas de hoja ancha que venían emergiendo y sellando a la vez para evitar posibles infestaciones de maleza.

Control de plagas

Se aplicó en siembra Pounce 5G (permetrina) para las plagas existentes en el suelo; Arrivo 200 CE (cipermetrina) para gusanos trozadores en las primeras etapas; Ambush 50 (permetrina) para plagas foliares; Zabra 8G (permetrina) para gusano cogollero, todas las aplicaciones se realizaron de manera preventiva para no tener daño por plaga.

Cosecha

Se cosecho de forma manual en el Mezquite, Nuevo León y de forma mecánica en Silao y Jaral Gto., para después tomar los datos de peso y humedad de las muestras.

Variables agronómicas evaluadas

Días a floración masculina (FLORM): Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta cuando el 50% de las plantas por parcela experimental presentaron anteras dehiscentes.

Días a floración femenina (FLORH): Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta cuando el 50% de las plantas por parcela experimental presentaron jilotes con estigmas receptivos.

Altura de planta (ALTPTA): Distancia en centímetros comprendida desde la base de la planta hasta la hoja bandera.

Altura de mazorca (ALTMZCA): Distancia en centímetros comprendida desde la base de la planta hasta el nudo donde se inserta la mazorca principal.

Acame de Raíz (ARAIZ): Es el porcentaje de plantas acamadas por parcela, considerando aquellas que presentaban una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical.

Acame de Tallo (ATALLO): Es el número de plantas expresado en porcentaje, que presentaron el tallo quebrado por debajo de la mazorca principal.

Plantas con Fusarium spp. (FUS): Porcentaje de plantas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, con respecto al total de las plantas establecidas.

Calificación de planta (CALPTA): Se refiere a un valor asignado a la planta en base a su apariencia visual por parcela útil, en la que considera el porte, sanidad y uniformidad de la planta. La escala asignada fue de 1 a 5 (1 muy buena, 5 muy mala).

Humedad (HUM): Se obtiene tomando una muestra aleatoria aproximadamente de 200 gr. de las mazorcas cosechadas por cada parcela experimental. Esta muestra se coloca en un aparato de medición *Dickie John*, el cual mide la cantidad de humedad del grano.

Rendimiento (REND): Es la producción estimada por parcela útil reportada en toneladas por hectárea al 15.5% de humedad. Esto se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por el factor de conversión (FC), cuyas formulas son las siguientes:

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

Donde:

%H= Por ciento de humedad; PC= Peso de campo.

$$FC = \frac{10,000}{APU \times 0.845 \times 1000}$$

FC= Factor de conversión para expresar el rendimiento en toneladas por hectárea de mazorca al 15.5 por ciento de humedad; 10,000 = Valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m²; APU= Área de parcela útil. Es el producto de la distancia entre surcos por la distancia entre plantas por el número correcto de plantas por parcela útil; 0.845= Constante para obtener el rendimiento al 15.5 por ciento de humedad; 1000= Coeficiente para obtener el rendimiento en ton ha-1.

Rendimiento ajustado por covarianza

Debido a que el número de plantas cosechadas fue variable entre parcelas dentro de experimentos se realizó un análisis de covarianza, con el fin de estimar el efecto de esta variable en la expresión final del rendimiento. Cuando se determinó

que la covariable mostro significancia mediante la prueba de F, se procedió a realizar el ajuste de rendimiento con la fórmula siguiente:

$$\hat{Y}_{ij} = Y_{ij} - b_i(X_i - \mu)$$

Donde:

\hat{Y}_{ij} = rendimiento ajustado por covarianza; Y_{ij} = rendimiento sin ajuste del i-esimo tratamiento; b_i = coeficiente de regresión estimado; X_i = número de plantas cosechadas en el i-esimo tratamiento; μ = promedio de número de plantas por experimento.

Análisis de varianza de variables agronómicas

Se realizó un análisis de varianza combinado a través de localidades, considerando las variables evaluadas, por lo que se empleó el siguiente diseño estadístico:

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

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

Al momento de correr los datos, las unidades en que están representadas las variables deben estar estandarizadas para que estas puedan combinarse entre sí, ya que están en unidades distintas (días, centímetros, porcentaje, toneladas, etc.) por lo que se estandarizaron mediante la fórmula del valor Z, que se describe a continuación:

$$Z = \frac{Y_j - \bar{Y}}{S}$$

Donde:

Z= Valor estandarizado; Y_j = Valor observado; \bar{Y} = Promedio; S= Desviación estándar

Una vez estandarizados los valores se utilizó el modelo AMMI para encontrar agrupaciones naturales entre las variables que se evaluaron (FLORM, FLORH, ALTPTA, ALTMZCA, ARAIZ, ATALLO, FUS, CALPTA REND y HUM), para construir un IS con las más representativas dentro de cada grupo.

La modificación que se hizo en este modelo fue que en lugar de considerar ambientes o localidades, se consideraron las 10 variables con la finalidad de conocer los patrones de relación que existen entre ellas, permitiendo así seleccionar las de mayor relevancia por cada grupo altamente correlacionado, es decir la interacción fue tratamiento por variable.

Empleando el modelo AMMI bajo la siguiente fórmula:

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

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 $\mu_j = Y_{.j}$; 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.

Índice de selección (IS)

Una vez que se seleccionaron las variables en base a su representatividad y su poder de discriminación (ALTMZCA, CALPTA, FUS y REND) se integraron en un IS para identificar a los materiales más sobresalientes.

La metodología para la estimación de los IS fue dando seguimiento a la propuesta planteada 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 usada para estimar el índice fue la siguiente:

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

Donde:

IS = Índice de selección; $Y_{j..n}$ = Variable en unidades z (estandarizadas); $M_{j..n}$ = Meta de selección; $I_{j..n}$ = Intensidad de selección

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 0 a 10. Este valor es diferente para cada una de las variables, según el criterio del investigador. El valor de intensidad más pequeño (0) es asignado a la variable de menor interés y el valor más alto (10) representa la variable de mayor importancia.

La **meta de selección** correspondiente a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar del promedio el objetivo que se desea lograr con la selección; se toman valores de -3 a +3 que corresponde a un 99% dentro de una distribución normal. Con valores positivos se seleccionan genotipos que se encuentran por arriba de la media de la población y para los valores negativos se seleccionan genotipos que se encuentren por debajo de la media de la población.

Para Barreto *et al.* (1991) el índice de selección más bajo representa que el genotipo contiene las características que él está buscando o que se acerca mucho a este. Por el contrario mientras más grande sea el valor del índice de selección, significa que el genotipo es todo lo contrario de lo que buscamos. El mejor genotipo es aquel que tiene el valor más pequeño del índice.

Análisis de Varianza de IS

Para probar la hipótesis de que existe diferencia entre los IS estimados, se requirió determinar el IS por repetición, posteriormente se procedió a realizar un análisis de varianza mediante un diseño de bloques completos al azar para determinar las diferencias estadísticas de los híbridos para la variable de respuesta IS dentro de las localidades. Empleando el siguiente diseño estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_{j(i)} + G_k + GA_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} =Es la variable de respuesta; μ = El efecto de la media general; A_i = El efecto del i-ésimo ambiente; $R_{j(i)}$ = El efecto del j-ésimo bloque dentro del i-ésimo ambiente; G_k = Es el efecto del k-ésimo genotipo; GA_{ik} = Es el efecto del k-ésimo genotipo por el i-ésimo ambiente; E_{ijk} = El error experimental.

Análisis de regresión en los sitios (SREG)

Para modelar la interacción genotipo por ambiente (IGA) presente en la variable de respuesta IS se utilizó el modelo de regresión en sitios (SREG) que es una extensión del modelo AMMI.

El modelo SREG está dado por la siguiente fórmula:

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

Donde:

Y_{ij} = Es la respuesta media de un genotipo i en un ambiente j ; μ = Media del ambiente j para todos los genotipos y en este modelo se estima por medio de $\mu_j = Y_j$;
 λ_k = Es el valor propio del eje k de componentes principales; γ_{jk} = 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 tener una apreciación de la estabilidad de los materiales, al Biplot de la gráfica se le hizo una modificación considerando los eigenvalores que corresponden a las coordenadas del promedio ambiente (CPA) denominado probador virtual (P): la nueva coordenada se tomó como base y a partir de esta se trazó una línea que paso por el origen, lo que ocasiono la rotación de los ejes.

Criterios de Selección

Los mejores híbridos serán aquellos que tengan buenas características agronómicas y presenten un IS bajo por lo tanto aquel híbrido que se encuentre más cerca del probador virtual será el ideal ya que reflejara estabilidad.

En cuanto a la selección de probadores se realizó una prueba de Tukey donde se agruparon estadísticamente para así poderlos clasificar e identificar aquel probador que no enmascare el potencial propio de las líneas.

Para seleccionar la mejor localidad se tomara en cuenta el poder de discriminación que tiene hacia los materiales tomando en cuenta la representatividad que tiene de acuerdo a la longitud de su vector.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO

Los resultados obtenidos de esta investigación se presentan en este capítulo con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos e hipótesis planteados. Se realizó un análisis de varianza combinado para la evaluación de 100 híbridos en tres localidades, tomando en cuenta 10 variables agronómicas de interés. Cuyos resultados fueron concentrados en el Cuadro 4.1.

En lo referente a la fuente de variación localidad resultaron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.01$) para todas las variables agronómicas, estas diferencias pueden ser atribuidas, a las condiciones climáticas, edáficas y de manejo agronómico diferentes, este resultado es importante debido a que se buscan materiales que tengan buen comportamiento en diferentes ambientes.

Para la fuente de variación repeticiones dentro de localidad solamente para las variables acame de tallo, mazorcas con Fusarium, calificación de plantas y humedad presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) lo que indica que el diseño fue eficiente y que las repeticiones se comportan de manera diferente dentro de cada localidad.

Con respecto a la fuente de variación híbridos, acame de tallo no presenta diferencia significativa indicando que los materiales evaluados presentan poca variabilidad para esta características, en cambio todas las demás variables presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) este resultado refleja la gran variabilidad que existe entre los materiales evaluados.

Respecto a la fuente de variación híbrido por localidad las variables días a floración macho, días a floración hembra, acame de raíz, calificación de plantas y rendimiento mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) por lo que indica que hay diferencias entre los híbridos en cada ambiente evaluado mientras que el resto de las variables no mostraron diferencia significativa lo que indica que los híbridos presentan un desempeño parecido al ambiente donde se evaluaron.

En cuanto a los coeficientes de variación están aceptables lo que indica que no existió mucho rango de error en el manejo del experimento, los valores altos estimados en acame de raíz, acame de tallo y fusarium son debido a que estos datos se expresan en porcentaje por lo tanto no siguen una distribución normal, sin embargo, se incluyen porque son datos que se van a considerar al momento de construir los índices de selección.

También se incluyeron en el cuadro los mínimos y máximos de cada variable para poder tener una base de cómo será la respuesta a la selección y cuál será el prototipo a considerar para formar el índice de selección. Por ejemplo queremos un híbrido que tenga un rendimiento cercano a 14.64 t ha^{-1} , una calificación de planta de 2, un porcentaje de fusarium cercano a 0.97%, una altura de mazorca alrededor de 102.5 cm, etc. (Cuadro 4.1)

CUADRO 4.1 Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.

		FLORM	FLORH	ALTPTA	ALTMZCA	ARAIZ	ATALLO	FUS	CALPTA	REND	HUM
FV	GL	(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(1-5)	(t ha ⁻¹)	(%)
Loc	2	61211.4 **	70020.7 **	307410.5 **	145817.1 **	14363.8 **	366.8 **	670 **	32.87 **	1017.5 **	6202.7 **
Rep/Loc	3	5.03	9.43	698.09	313.68	425.71	221.81 **	36.29 **	4.32 **	17.23	36.07 **
Hib	99	13.44 **	15.97 **	814.63 **	746.92 **	506.82 **	22.07	5.85 **	0.59 **	10.89 **	10.86 **
Hib*Loc	198	3.78 **	5.12 **	244.03	302.49	239.67 **	16.62	4.31	0.54 **	8.76 **	6.6
Error	298	2.22	2.8	253.75	291.08	108.99	15.37	3	0.32	4.56	4.65
CV		1.85	2.04	6.65	12.6	111.4	211.94	70.2	17.73	18.9	14.83
Media		80.53	81.81	239.43	135.35	9.37	1.85	2.47	3.22	11.3	14.54
Mínimo		76.83	77.66	193.33	102.5	0.67	0	0.97	2.16	8.15	10.73
Máximo		83.83	84.83	265.16	160.66	40.14	11.15	7.87	4	14.64	18.5

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente. FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, FLORM= Floración macho, FLORH= Floración hembra, ALTPTA= Altura de planta, ALTMZCA= Altura de mazorca, ARAIZ= Acame de raíz, ATALLO= Acame de tallo, FUS= Fusarium, CALPTA= Calificación de planta, REND= Rendimiento, HUM= Humedad.

En el cuadro 4.2 se muestra las medias de cada localidad de evaluación para todas las variables.

CUADRO 4.2 AGRUPAMIENTO ESTADISTICO DE 3 LOCALIDADES CON BASE A LA DIFERENCIA DE MEDIAS DE TUKEY PARA LAS VARIABLES EVALUADAS.

LOC	FLORM		FLORH		ALTPTA		ALTMZCA		ARAIZ	
1	100.6	A	103.29	A	196.81	B	196.81	B	12.72	B
2	69.68	B	70.37	B	273.65	A	273.65	A	0	C
3	71.24	B	71.72	B	246.99	A	246.99	A	15.98	A
LOC	ATALLO		FUS		CALPTA		REND		HUM	
1	0.39	C	0.95	C	3.34	A	8.83	C	20.85	A
2	3.04	A	4.49	A	3.56	A	11.8	B	12.3	B
3	2.15	B	1.98	B	2.77	B	13.2	A	10.44	C

LOC= Localidad, FLORM= Floración macho, FLORH= Floración hembra, ALTPTA= Altura de planta, ALTMZCA= Altura de mazorca, ARAIZ= Acame de raíz, ATALLO= Acame de tallo, FUS= Fusarium, CALPTA= Calificación de planta, REND= Rendimiento, HUM= Humedad.

En las variables FLORM y FLORH las mejores localidades fueron la 2 y 3 ya que las plantas mostraron mayor precocidad en floración, sin embargo con fines de selección la localidad 1 es la más indicada ya que mostro más variación. (Cuadro 4.2)

Para las variables ALTPTA y ALTMZCA la localidad que presento plantas más bajas fue la 1, esto se debió a que hubo mejores condiciones edafológicas así como una buena localización geográfica, pero para fines de selección las localidades 2 y 3 mostraron mayores diferencias, por lo tanto hubo mayor variación para altura de planta y de mazorca. (Cuadro 4.2)

En cuanto a la variable ARAIZ, para fines de selección la mejor localidad es la 3 ya que presenta mayor variación entre plantas con acame, pero lo que interesa es aquella en la que haya menor presencia de acame por lo tanto esa localidad fue la localidad 2. Mientras que para ATALLO la localidad que interesa es la localidad 1 por contar con menos presencia de acame, pero la localidad 2 estadísticamente es la mejor por presentar mayor variación entre plantas. (Cuadro 4.2)

En la variable FUS la localidad 1 es la que presenta menos incidencia pero para fines de selección la localidad 2 mostró mayor incidencia por lo que permitirá tener mejor espacio de selección. (Cuadro 4.2)

En la variable CALPTA la localidad 3 mostró tener la mejor calificación lo que indica que se presentaron plantas con buena apariencia, vigorosas y sanas. Pero las localidades 1 y 2 son las que presentaron mayor variación entre los materiales por lo que presentaron mala apariencia, y daños de plagas y enfermedades lo que permitirá una mejor selección. (Cuadro 4.2)

En la variable REND la mejor localidad fue la 3, reflejando que los materiales se adaptan mejor en esta localidad. (Cuadro 4.2)

Para la variable HUM se observa que la mejor localidad fue la localidad 1, seguida de la localidad 2, estas diferencias puedan atribuirse a la temperatura, y humedad relativa que presenta cada localidad. (Cuadro 4.2)

El anterior análisis solo permite conocer resultados para híbridos y no en cuanto a probadores por lo cual se realizó un análisis que involucra probadores en donde sus resultados se concentran en el Cuadro 4.3.

En el Cuadro 4.3 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza combinado para comparar los promedios de los dos probadores para la fuente de variación localidades hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables.

Para la fuente de variación repetición por localidad hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para las variables acame de tallo, fusarium y calificación de plantas. En cambio el resto de variables no mostraron diferencias significativas lo que indica que las repeticiones en cada localidad presentan las mismas condiciones.

Respecto a la fuente de variación probadores para las variables floración macho, floración hembra, altura de planta, altura de mazorca, acame de raíz, acame de tallo y fusarium hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) lo que indica que los probadores tienen características propias y diferentes lo cual permitirá identificar aquel que tenga mayor potencial genético, en cambio para las variables calificación de planta, rendimiento y humedad no se encontraron diferencias significativas indicando esto que los probadores hacen una misma clasificación.

Para la fuente de variación probadores por localidad no hubo diferencias significativas para la mayoría las variables a excepción de acame de raíz, calificación de planta y rendimiento esto indica que la mayoría de los probadores evaluados tienden a ser estables, es decir tienen mucha capacidad de amortiguar los efectos del ambiente.

Los coeficientes de variación son aceptables para las variables evaluadas, también se incluyó en el cuadro las medias, los valores mínimos y máximos con el fin de generar un prototipo. Los peores probadores serán aquellos que tengan más características favorables y que sean tardíos. Por ejemplo mi prototipo será aquel probador que tenga un rendimiento de 11.39 t ha^{-1} , como mínimo 2.18% de fusarium, y por lo menos entre 79 y 80 días a floración para macho y hembra, etc.

CUADRO 4.3 Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando a los probadores evaluados como variable de respuesta.

		FLORM	FLORH	ALTPTA	ALTMZCA	ARAIZ	ATALLO	FUS	CALPTA	REND	HUM
FV	GL	(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(1-5)	(t ha ⁻¹)	(%)
Loc	2	60928.5 **	69400.1 **	305746.6 **	144691.9 **	16305.4 **	388.95 **	694.8 **	36.8 **	933.96 **	6215.3 **
Rep/Loc	3	5.12	9.46	693.38	305.85	419.61	220.47 **	36.22 **	4.36 **	17	36.08
Prob	1	136.94 **	246.27 **	26482.08 **	15128.73 **	25208.1 **	349.35 **	61.88 **	0.02	7.01	17.53
Prob*Loc	2	1.79	25.09	491.34	837.12	7730.54 **	53.39	26.81	11.37 **	116.64 **	5.53
Error	602	4.36	5.25	298.4	343.48	150.89	16.22	3.73	0.4	6.62	6.29
CV		2.59	2.8	7.21	13.69	131.07	217.67	78.18	19.81	22.78	17.24
Media		80.53	81.81	239.43	135.35	9.37	1.85	2.47	3.22	11.3	14.54
Mínimo		79.98	81.08	232.01	129.74	3.69	1.17	2.18	3.21	11.18	14.39
Máximo		80.93	82.36	245.28	139.76	16.63	2.7	2.82	3.23	11.39	14.73

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente. FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, FLORM= Floración macho, FLORH= Floración hembra, ALTPTA= Altura de planta, ALTMZCA= Altura de mazorca, ARAIZ= Acame de raíz, ATALLO= Acame de tallo, FUS= Fusarium, CALPTA= Calificación de planta, REND= Rendimiento, HUM= Humedad.

Con el objetivo de identificar cuál de los 2 probadores es el más eficiente para la discriminación de líneas se realizó una prueba de medias de Tukey, con cada probador para todas las variables y así determinar cuál probador es el mejor.(Cuadro 4.4)

CUADRO 4.4 AGRUPAMIENTO ESTADISTICO DE 2 PROBADORES CON BASE A LA DIFERENCIA DE MEDIAS DE TUKEY PARA LAS VARIABLES EVALUADAS.

PROB	FLORM		FLORH		ALTPTA		ALTMZCA		ARAIZ	
1	80.01	B	81.12	B	231.99	B	129.74	B	16.58	A
4	80.93	A	82.36	A	245.28	A	139.76	A	3.69	B

PROB	ATALLO		FUS		CALPTA		REND		HUM	
1	2.7	A	2.8	A	3.22	A	11.2	A	14.7	A
4	1.17	B	2.2	B	3.23	A	11.4	A	14.4	A

PROB= Probador, FLORM= Floración macho, FLORH= Floración hembra, ALTPTA= Altura de planta, ALTMZCA= Altura de mazorca, ARAIZ= Acame de raíz, ATALLO= Acame de tallo, FUS= Fusarium, CALPTA= Calificación de planta, REND= Rendimiento, HUM= Humedad.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el Cuadro 4.4 se observa que el probador 1 fue el mejor en cuanto a floración masculina y femenina, ya que el probador que se busca es que sea precoz y de baja altura por lo que también en las variables altura de planta y mazorca es el mejor, es decir este probador puede ser electo como progenitor para dar plantas precoces y de porte bajo.

En cuanto al probador 4 mostro menor tendencia de acame tanto en tallo como en raíz, menor presencia de *Fusarium*, un alto rendimiento y un alto porcentaje de humedad lo cual indica que este probador es mejor en cuanto a estas características. Es decir como progenitor de híbridos podría mejorar estas características en sus descendientes.

Por lo que para clasificar a las líneas en cuanto a floración masculina, femenina, altura de planta y altura de mazorca el progenitor 4 es el mejor ya que no enmascara estas características al no tener una alta frecuencia de alelos favorables para estos caracteres como lo demuestra la prueba de Tukey. En cuanto al probador 1 es altamente eficiente para clasificar líneas en cuanto acame de raíz, acame de tallo, *fusarium*, rendimiento y humedad por no tener alelos favorables.

Los análisis anteriores solo nos permiten conocer resultados en cuanto a híbridos y probadores y no en cuanto a líneas por lo que se les realizó un análisis con sus respectivas interacciones, resumiendo sus resultados en el Cuadro 4.5.

En el Cuadro 4.5 se analizaron las líneas en donde se aprecia que la fuente de variación localidades mostró diferencias significativas para todas las variables ($p \leq 0.01$), lo que indica que las condiciones edáficas, climáticas y el manejo agronómico fueron discrepantes de una localidad a otra.

Para la fuente de variación repeticiones dentro de localidad solamente para las variables acame de tallo, mazorcas con *Fusarium* y calificación de plantas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) lo que indica que el diseño fue eficiente y que las repeticiones se comportan de manera diferente dentro de cada localidad.

Con respecto a la fuente de variación líneas todas las variables presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) excepto acame de tallo y *fusarium* sugiriendo que las líneas presentan poca variabilidad para estas características, en cambio el resto de las variables reflejan la gran variabilidad que existe entre las líneas evaluadas.

Esta variabilidad permitirá identificar individuos superiores al resto, para ello se sugiere auxiliarse de un índice de selección.

En cuanto a la fuente de variación línea por localidad solo la variable floración hembra mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) este resultado se atribuye a efectos ambientales, indicando que las líneas cambian de orden en cada localidad lo que significa que existe interacción genotipo ambiente, por lo cual se busca seleccionar aquella línea que tenga mejor comportamiento en ambas localidades.

También se presentan los coeficientes de variación, la media, los valores mínimos y máximos de las características evaluadas donde se observa que los coeficientes de variación son aceptables para las características evaluadas. Con respecto a las medias de cada variable obtenida se utilizara para seleccionar líneas más cercanas al prototipo que se realizara de acuerdo con los valores mínimos y máximos.

CUADRO 4.5 Cuadros medios del análisis de varianza combinado en 3 localidades para 10 variables considerando a las líneas evaluadas como variable de respuesta.

		FLORM	FLORH	ALTPTA	ALTMZCA	ARAIZ	ATALLO	FUS	CALPTA	REND	HUM
FV	GL	(días)	(días)	(cm)	(cm)	(%)	(%)	(%)	(1-5)	(t ha ⁻¹)	(%)
Loc	2	55415.9 **	63350.1 **	281743 **	127778.11 **	12717.3 **	291.94 **	575.6 **	27.97 **	976.66 **	5447.1 **
Rep/Loc	3	5.03	9.43	698.09	313.68	425.71	221.81 **	36.29 **	4.32 **	17.23	36.07
Lin	74	15.89 **	18.25 **	769.28 **	860.82 **	479.69 **	21.75	5.12	0.67 **	12.01 **	11.69 **
Lin*Loc	148	4.02	5.67 **	234.1	337.93	226.74	16.65	3.87	0.55	8.11	6.83
Error	373	2.59	3.31	301.69	286.62	162.26	16.02	3.67	0.35	5.56	5.07
CV		1.99	2.22	7.25	12.5	135.92	216.37	77.59	18.52	20.86	15.47
Media		80.53	81.81	239.43	135.35	9.371	1.85	2.47	3.22	11.3	14.54
Mínimo		76.83	77.66	212.66	102.5	0.67	0.21	0.97	2.16	8.19	11.95
Máximo		83.83	84.83	257.33	154.33	40.14	9.92	5	3.83	14.63	17.21

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente. FV= fuente de variación, GL= grados de libertad, FLORM= Floración macho, FLORH= Floración hembra, ALTPTA= Altura de planta, ALTMZCA= Altura de mazorca, ARAIZ= Acame de raíz, ATALLO= Acame de tallo, FUS= Fusarium, CALPTA= Calificación de planta, REND= Rendimiento, HUM= Humedad.

Agrupamiento de las variables agronómicas con el modelo AMMI

El saber que las 10 variables de evaluación, mostraron tener diferencias significantes implica que la selección se hace más difícil. En estos casos se sugiere hacer uso de la herramienta Índices de selección.

Pero para disponer de un IS efectivo es necesario agrupar las variables y de cada grupo elegir la más representativa para construir el IS, es por ello que se realizó una gráfica biplot bajo el modelo AMMI. (Figura 4.1).

En la figura se aprecia las variables que se encuentran correlacionadas, aquellas que se encuentran en el mismo sector indica que realizan un mismo trabajo de selección, por lo cual se eligió solo una variable por cada sector en base a la que tuviera el vector más largo. Los grupos correlacionados son: 1. REND, FLORH y FLORM; 2. ALTMZCA y ALTPTA; 3. CALPTA y 4. FUS.

**CUADRO 4.6 METAS E INTENSIDADES UTILIZADAS EN LAS LOCALIDADES
(SILAO, GTO; EL JARAL DEL PROGRESO, GTO y EL MEZQUITE, NL.).**

Variable	Intensidad	LOCALIDAD 1		LOCALIDAD 2		LOCALIDAD 3	
		Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2	Rep 1	Rep 2
CALPTA	8	-2.6	-2.28	-1.75	-1.84	-4.06	-2.91
FUS	8	-0.41	-0.35	-1.45	-1.8	-0.97	-0.91
ALTMZCA	9	-2.25	-1.61	-1.87	-2.52	-2.42	-1.88
REND	10	3.31	2.41	1.88	2.59	3.01	2.08

Análisis de varianza del IS

Intentando hacer más eficiente la selección por IS y después de tener seleccionadas las variables que lo van a construir, se hizo la estimación del mismo por repetición, para realizar un análisis de varianza con el objetivo de observar si existía diferencia significativas e identificar los genotipos que reúnan el menor índice, los resultados se concentran en el Cuadro 4.7

Cuadro 4.7 Cuadrados medios del análisis de varianza de 100 híbridos considerando como variable de respuesta los valores de IS a través de localidades.

FV	GL	SC	CM	
LOC	2	91.69	45.84	*
BLOC(LOC)	3	882.2	294.06	**
HIB	99	2046.71	20.67	**
LOC*HIB	198	2718.53	13.72	**
Error			8.26	
CV			21.78	
MEDIA			13.19	

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.; FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; CV= Coeficiente de variación

La fuente de variación localidad mostro diferencia significativa ($P \leq 0.05$) este resultado se atribuye a que las condiciones de suelo, clima y ubicación geográfica de cada localidad no son las mismas.

Para la fuente de variación bloques dentro de localidad el análisis estadístico mostro diferencias significativas ($P \leq 0.01$), esto se atribuye a que las repeticiones se comportaron diferentes dentro de las localidades, debido a las características propias de cada localidad.

Por otra parte para la fuente de variación híbridos también mostro diferencias significativas ($P \leq 0.01$), esto indica que entre los materiales se mostraron valores diversos de IS por lo que existe variabilidad genética para hacer selección de híbridos.

La fuente de variación localidad x híbridos mostro diferencias significativas ($P \leq 0.01$) lo que indica la presencia de interacción de los IS de los híbridos con el ambiente.

Cuadro 4.8 Resumen de los híbridos asociados a su IS

HIB	IS	HIB	IS	HIB	IS	HIB	IS
3	10.97	70	11.92	122	12.18	193	13.59
5	10.97	73	12.41	125	14.81	196	16.73
6	11.26	74	13.8	127	14.29	198	13.4
8	11.72	77	12.27	130	13.42	200	13.79
9	12.65	80	14.01	133	17.5	203	12.65
11	11.76	81	14.57	134	14.68	207	14.07
12	13.21	84	10.97	137	15.06	210	15.66
15	15.3	87	11.71	139	14.1	218	15.62
16	15.94	88	12.35	142	12.94	219	13.21
19	15.52	89	15.79	145	10.43	222	13.97
20	12.55	90	17.63	146	8.58	228	9.93
24	10.13	92	13.05	149	12.01	236	15.33
28	14.62	93	13.36	150	12.48	237	15.13
29	14.04	96	15.14	152	15.36	245	12.22
32	11.27	97	12.69	159	15.48	250	14.02
38	13.44	100	13.89	160	15.34	253	13.53
41	14.67	101	12.38	166	13.82	256	12.04
45	14.42	103	13.77	169	14.41	257	9.73
48	8.45	105	13.56	172	12.21	258	14.06
52	15.9	106	13.2	175	13.58	262	12.61
57	11.76	107	11.69	178	15.32	264	10.27
60	8.59	108	12.82	181	12.6	265	15.76
61	13.03	112	11.91	184	15.34	280	11.29
64	13.82	118	10.88	187	11.86	281	13.11
69	12.95	120	12.3	188	11.16	282	11.94

Una vez obtenidas las medias del IS, se procedió a seleccionar aquellos que tuvieran el índice más pequeño de acuerdo a los criterios de selección establecidos para ello se obtuvo el valor critico el cual fue de 8.88, lo que quiere decir que los híbridos que tengan un valor menor al resultado son mejores, en este caso los

híbridos son 48 ((PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-1), 146 ((CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3) y 60 ((PE-212-1-2-A) x ((M7xE-197) x M7)-16-2). (Cuadro 4.8).

En el caso de las líneas, se obtuvieron sus IS para ver cuánto aportan a los híbridos, el valor crítico obtenido fue 8.18, y las líneas con el IS menor al valor crítico fueron la línea 45 (((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3), línea 7 (((M16xE-197) x M16)-15-2), línea 14 (((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-1), línea 17 (((M7xE-197) x M7)-16-2) y línea 96 (((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-5-1), donde las primeras 2 líneas respectivamente intervienen en los híbridos 48 y 60, lo que indica que ambas líneas deben ser seleccionadas (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.9 Identificación de líneas de acuerdo a las medias del IS

LIN	IS	LIN	IS	LIN	IS
14	6.657	35	11.399	53	14.916
45	6.804	3	11.441	88	15.056
7	7.462	1	11.465	69	15.059
17	7.589	20	11.493	66	15.123
96	7.732	59	11.539	12	15.141
77	8.289	89	11.744	8	15.357
34	8.555	67	12.235	29	15.463
23	8.658	11	12.513	47	15.768
36	9.6	26	12.669	42	15.844
112	9.631	21	12.768	39	15.892
2	9.806	28	12.812	22	16.255
32	9.927	65	12.899	58	16.286
61	10.119	30	12.985	13	16.623
55	10.349	94	12.994	38	16.652
9	10.561	113	13.008	60	16.818
24	10.63	40	13.18	73	16.891
19	10.644	57	13.368	82	16.899
90	10.841	86	13.376	50	17.477

Continuación. Cuadro 4.9 Identificación de líneas de acuerdo a las medias del IS

LIN	IS	LIN	IS	LIN	IS
44	10.898	6	13.435	5	18.319
91	10.898	63	13.452	97	18.424
46	11.047	27	14.054	70	18.607
31	11.078	74	14.106	15	18.78
114	11.243	54	14.172	25	19.396
16	11.275	43	14.464	64	20.535
4	11.341	18	14.914	41	21.204

Análisis de estabilidad y selección de híbridos por IS mediante el modelo SREG

Al haber diferencias significativas en la IGA, para la variable de respuesta índice de selección fue necesario un estudio exploratorio de la misma mediante el modelo SREG para conocer el comportamiento de localidades e híbridos y seleccionar el de mejor comportamiento, así como su estabilidad. La Figura 4.2 muestra los resultados obtenidos y ofrece una mejor visualización del comportamiento de los híbridos a través de las localidades.

De acuerdo a la Figura 4.2 el polígono está dividido en 7 sectores, en el sector donde está la localidad 2 tiene mejor desempeño el híbrido 146 y para las localidades 1 y 3 el híbrido 48 es el mejor por encontrarse en el vértice del sector según lo menciona Yan *et al.*, (2001).

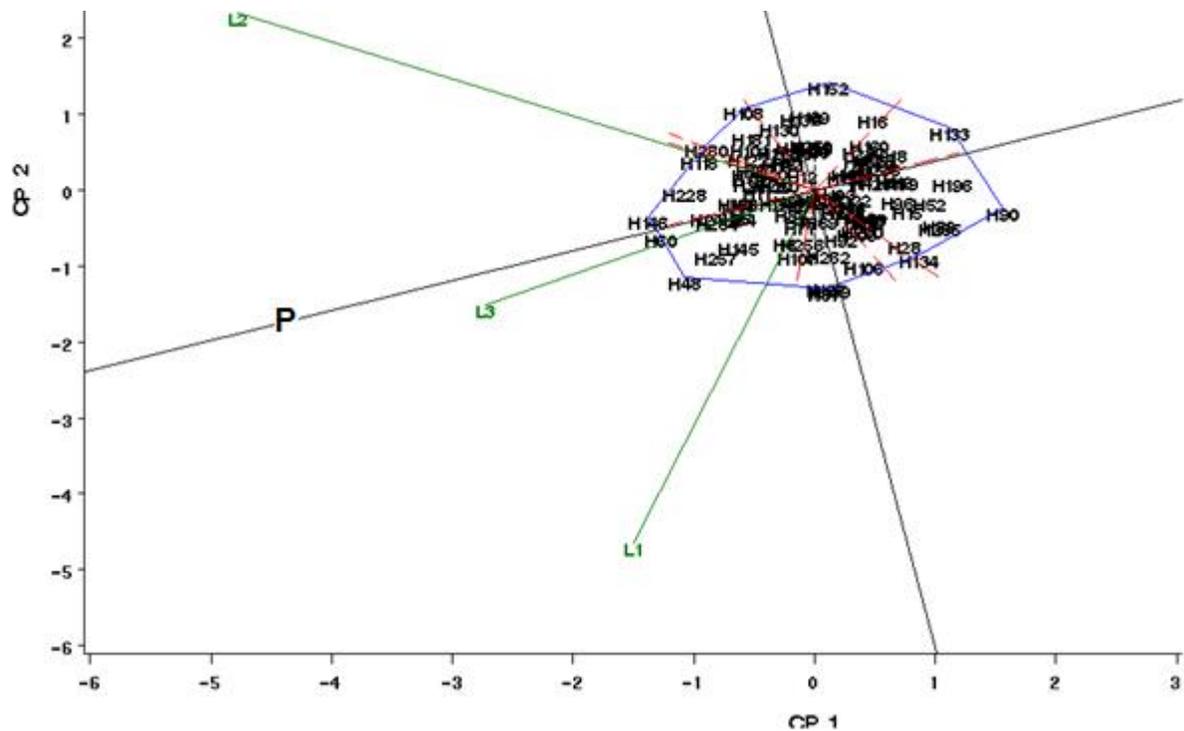


Figura 4.2. Biplot GGE. Patrón de respuesta de IS para 100 híbridos evaluados en 3 localidades, CP1 y CP2= correspondiente al componente principal uno y dos; L1= Silao Gto.; L2= Jaral del Progreso Gto.; L3= El Mezquite Nuevo León; P= Probador virtual.

La localidad 2 (Jaral del Progreso, Gto.) tiene mayor poder de discriminación por poseer el vector más largo y más cercano al componente principal que según Yan *et al.*, (2000) serán los materiales con mayor potencial y estabilidad.

Los ambientes cercanos entre sí, dado por el ángulo agudo entre sus vectores, indican asociación ambiental positiva, es decir, patrones similares de respuesta en el comportamiento relativo de un conjunto de genotipos. (Yan *et al.*, 2000).

De acuerdo a lo dicho por los autores anteriores la localidad 1 (Silao, Gto) y 3 (El Mezquite, N.L.) forman parte de un mega-ambiente ya que se encuentran en el mismo sector por lo tanto realizan un trabajo de selección semejante.

Para observar de forma más detallada la expresión de la estabilidad de los mejores híbridos se incluye la Figura 4.2 que es una proyección de la parte que más interesa de la Figura 4.3.

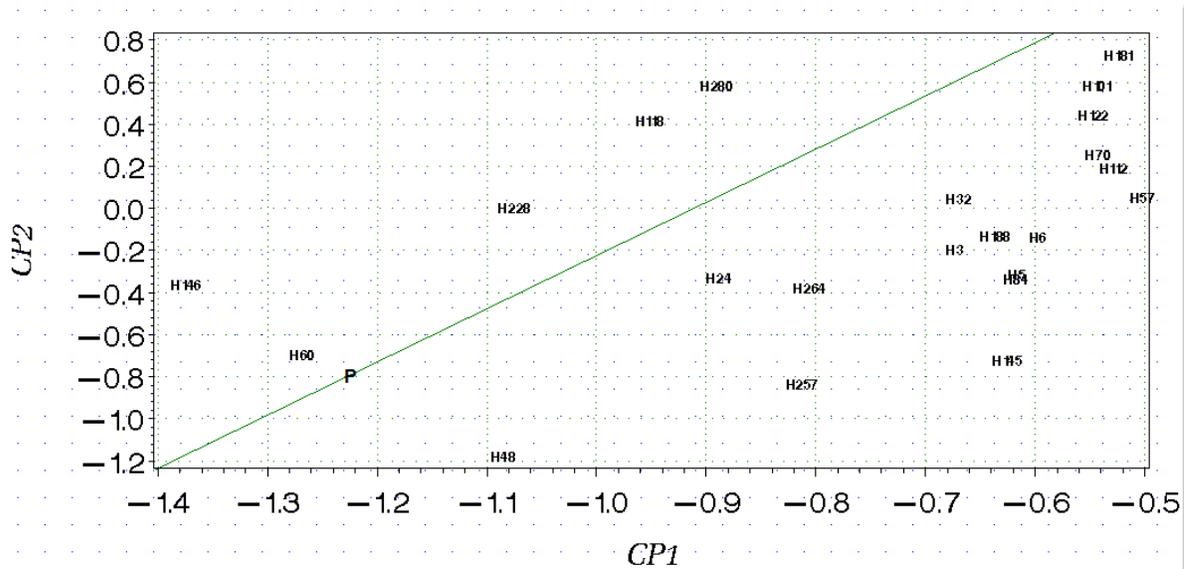


Figura 4.3 Proyección de la Figura 4.2 donde se aprecian los híbridos superiores y estables; P= Probador virtual.

La proyección indica que los mejores materiales de evaluación en base a su índice de selección fueron los híbridos 146, 60, 48, 228, 118, 280, 24, 264 y 257, aunque cabe mencionar que no todos presentan la misma estabilidad.

Se observa que el material con un mejor índice y muy superior fue el híbrido 146, mientras que el material más estable a través de localidades es el híbrido 60 ya que se encuentra más cerca del probador virtual y puede ser clasificado como un híbrido excelente o idóneo.

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que de los 100 híbridos evaluados, aquellos híbridos con buen atributo agronómico y con potencial de estabilidad fueron seleccionados en relación a sus índices de selección (IS). Estos híbridos fueron el 60 ((PE-212-1-2-A) x ((M7xE-197) x M7)-16-2) y 146 ((CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3).

Por la habilidad de discriminar líneas con base a la prueba de Tukey el mejor probador para las variables FLORM, FLORH, ALTPTA y ALTMZCA el mejor probador fue el 4 (CS) mientras que para las variables ATALLO, ARAIZ, FUS, REND y HUM el mejor probador fue el 1(PE-212-1-2-A).

En cuanto a los ambientes evaluados, la localidad que tiene mayor representatividad y mayor poder de discriminación fue la localidad 2 (Jaral del Progreso, Gto.) por presentar el vector más largo, mientras que las localidades 1(Silao, Gto.) y 3(El Mezquite, N.L) clasifican de manera semejante a los híbridos por encontrarse en el mismo sector y presentar un ángulo menor a 90°.

V. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluaron 100 híbridos experimentales derivados del apareamiento de 75 líneas con 2 probadores con los objetivos de 1) Explorar la variabilidad presente en las diferentes variables medidas por tratamiento. 2) Identificar el mejor probador con respecto a su habilidad de discriminación de líneas. 3) Identificar las mejores combinaciones auxiliados por un índice de selección y el modelo regresión en los sitios. 4) identificar el ambiente con mayor poder de discriminación. Los híbridos fueron evaluados en tres localidades durante el ciclo de Primavera – Verano 2011 en: Silao, Gto., Jaral del Progreso Gto. y El Mezquite NL., bajo un diseño de bloques incompletos con arreglo alfa-látice con dos repeticiones por localidad. Se evaluaron 10 variables agronómicas. Los resultados de los análisis de varianza reportan diferencias ($P \leq 0.01$) para híbridos localidades, probadores y líneas en la mayoría de las variables; De acuerdo al AMMI las 10 variables se clasificaron en cuatro grupos y dentro de cada uno las variables más representativas fueron CALPTA, REND, ALTMZCA y FUS, mismas que se usaron para construir el índice de selección. De acuerdo al análisis de varianza en los valores al mérito del IS por híbrido se encontraron diferencias significativas en todas las fuentes de variación. El gráfico biplot GGE mostró que los híbridos superiores en base a IS y estabilidad fueron el 60 ((PE-212-1-2-A) x ((M7xE-197) x M7)-16-2) y 146 ((CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3); la localidad 2 (Jaral del Progreso, Gto.) fue la más representativa, mientras que las localidades 1(Silao, Gto.) y 3(El Mezquite, N.L) clasificaron de manera semejante a los híbridos por encontrarse en el mismo sector. El probador que tuvo la habilidad para discriminar líneas para las variables acame de tallo, acame de raíz, fusarium, rendimiento y humedad fue el 1 (PE-212-1-2-A) mientras que el probador 4 (CS) para las variable floración femenina, floración masculina, altura de planta y altura de mazorca fue el mejor

Palabras clave. Híbridos, líneas, probadores, índices de selección, AMMI, estabilidad, SREG.

VI. LITERATURA CITADA

- 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 Trop.* V. 56 No. 3 Maracay.
- Barreto,** H. J., Bolaños, J. A., Córdova. H. S. 1991. Índice de Selección: guía para la operación del software. Manual de Capacitación Regional. Programa Regional Centroamérica y el Caribe, Apdo. Postal, Guatemala.
- Betancur** Z.M.F., Páez O.K.N., Solarte P.C y Osejo R.E. 2012. Construcción de índices de selección para ganado holstein en el trópico alto de Nariño. *Revista Investigación Pecuaria Investig. Pecu.*, 2012, 1(2): 13 – 23.
- Cerón-Rojas** J.J. y Jaime Sahagún-Castellanos (2004). Un índice de selección basado en componentes principales. Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 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. Agric. De Tucumán.* Vol. 84(2): 19-24.
- Córdova** S. H. (1991) Estimación de Parámetros de Estabilidad para Determinar la Respuesta de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) a Ambientes Contrastantes de Centro América, Panamá y México. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 2: 01-10.

- Coutiño** E.B. y Vidal M.V.A. 2003. Estabilidad del rendimiento de grano de híbridos de maíz usando mejores predictores lineales insesgados. *Agrociencia* 37: Pp. 605-616.
- Crossa** J., Cornelius P., Yan W. 2002 Biplots of linear-bilinear models for studying crossover Genotype x Environment interaction. *Crop Science* 42, Pp.619 – 633.
- Crossa** J., Fox P. N., Pfeiffer W. H., Rajaram S. and Gauch H. G. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet.* 81: 27- 37.
- De la Cruz** L. E., Gutiérrez R. E., Palomo G. A., y Rodríguez H. S. 2003. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Méx.* Vol. 26 (4): 279-284.
- De la Cruz**, L. L., Sánchez, G. J. J., Ron, P. J., Santa Cruz, R. F., Rodríguez, G. E., Ruíz, C. J. A., Morales, R. M. 2008. Probadores de maíz para factores de incompatibilidad gametofítica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, octubre-diciembre, año/vol. 31, núm. 004. pp 341-349.
- De León**, C.H., Rincón S.F., Reyes V.M.H., Sámano G.D., Martínez Z.G., Cavazos C.R., Figueroa C.J.D. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplasmicas formadas entre grupos de Maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 26 (2) Pp. 135-143.
- Elizondo** B. J. 2000. Aptitud combinatoria de 13 genotipos de soya en siembra de invernadero en el sur de Tamaulipas. In: Zavala G. F., Ortega P. R., Contreras J. A., Benítez R. I y Guillén A. (eds). *Memorias del XVIII. Congreso Nacional de Fitogenética: notas científicas.*
- Epinat-Le** S.C., Dousse S., Lorgeou J., Denis J.B., Bonhomme R., Carolo P. y Charcosset A. 2001. Interpretation of Genotype x Environment Interactions for Early Maize Hybrids over 12 Years. *Crop Sci.* 41: Pp. 663-669.

- 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. Méx. Vol. 33 No. 3.
- Gómez** M.N.O., Sierra M.M., González C.M., Cantú A.M.A., Ramírez F.A., Wong P.J.J., Manjarrez S.M., Ramírez D.J.L y Espinosa C.A. 2008. H-562, Híbrido de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México. Agric. Téc. Méx. V 34 No.1.
- Gordon** M. R., I. Camargo, B., J. Franco, B., A González, S. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero Panamá. Agronomía Mesoamericana. Vol. 17 (2): 189-199.
- Gutiérrez** D. R. E., Espinosa B. A., Palomo G. A., Lozano G. y Antuna G. O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana. Pp. 7 – 10.
- Ibáñez** M.A., Cavanagh M.M., Bonamico N.C., Di Renzo M.A. 2006. Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de Maíz. RIA, 35 (3): Pp. 83-93,
- Jarma** O.A. y Araméndiz T.H. 2011. Estabilidad fenotípica y densidades de planta de genotipos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) en la región Caribe de Colombia. Revista Acta Agronómica 60 (2).
- Lee** E. A., T.K. Doerksen, and L.W.Kannenber. 2003. Genetic components of yield stability in maize breeding populations. Crop Sci. 43:2018-2027.
- Lobato**, R. O., Molina, G. J. D., López, R. J. D. J., Mejía, C. J. A., Reyes, L. D. 2010. Criteria to choose the best tester of the general combining ability for grain yield of maize inbred lines. Agrociencia V.44 n.1 México, enero-febrero.
- López** B. A., Borrego E. F., Zamora V. V. M. y Guerra Z. L. 2012. Estimación de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Especifica en siete Líneas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Agraria 9 (3): 87-95.

- 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. y Cortinas E.H.M. 2011. Estabilidad de rendimiento en genotipos mesoamericanos de frijol de grano negro en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2 (1).
- Lozano del Rio A.J.**, Zamora V.V.M., Ibarra J.L., Rodríguez H.S.A., de la Cruz L.E y de la Rosa I.M. 2009. Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (x *Triticosecale* Wittm). *Universidad y Ciencia* 25 (31): Pp. 81-92.
- Márquez S F** 1988. *Genotecnia Vegetal*, Tomo II: AGTESA.México.563 p.
- Mendoza, E. M.**, Oyervides, G. A., Rodríguez, H. A., 2000. Efectos de dos probadores en la selección de líneas de maíz tropical. *Revista Fitotecnia Mexicana*, enero-junio, año/vol. 23, núm. 1. pp 79-86.
- Paliwal R.L.**; Granados G.; Lafitte H.R.; Violic A.D. y Marathée J.P. 2001. EL MAIZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción. FAO
- Rea R.** y De Sousa V.O. 2001. Interacción genotipo x ambiente y análisis de estabilidad en ensayos regionales de caña de azúcar en Venezuela. *Caña de Azúcar* Vol. 19 (único): Pp. 3-15.
- Restrepo G.**, Edison J.P. y Quijano J.H. 2008.). Índices de selección y niveles independientes de descarte para dos características productivas y reproductivas en un hato holstein (*Bos taurus*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21 (2).
- Reyes L., D.**, Molina G, J.D, Oropeza R., M.A. y Moreno P., E. C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Méx.* 27(1):49-56.

- Roa S.**, Barboza C. y Zambrano A. 2010. Estabilidad del rendimiento de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) para procesamiento industrial en el estado Táchira, Venezuela. Rev. Fac. Agron. 27: Pp. 173-192.
- Rodríguez G.R.E.**, Ponce M.J.F., Rueda P.E., Avendaño R.L., Paz H.J.J. Santillano C.J. y 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. 14: Pp. 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 x ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. Agrocienca 39: Pp. 51-64.
- Sierra M. M.**, F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Córdova O., R. L. Gutiérrez, A. P. R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz. Agricultura Técnica en México. Vol. 30. Número 2. Pág. 169 - 181.
- Sierra M.M.**, Palafox C.A., Rodríguez M.F., Espinosa C.A., Gómez M.N., Caballero H.F., Barrón F.S., Zambada M.A. y Vázquez C.G. 2008. H-520, Híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. Agric. Téc. Méx. V 34 No, 1.
- Tucuch** - Cauich C.A., Rodríguez H.S.A., Reyes V.M.H., Pat F.J.M., Tucuch C.F.M. y Córdova O.H.S. (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero Agronomía mesoamericana 22(1):123-132
- Vasal S.**, Vergara N., McLean. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. Agronomía Mesoamericana 5. 184-189.
- Vega S.M.**; Burciaga V.G., Padrón C.E., Guerrero O.J., Cuellar C.R. 2003. Obtención de híbridos de maíz de planta media y baja con amplio rango de adaptación a partir de los híbridos AN-360, AN-461 y AN-462. Resultados de proyectos de investigación 2003.

- Vergara O** 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 2002 7 (1).
- Yan W.** 2002. Singular-value partition for biplot analysis of multienvironment trial data. Agron. J. 94:990–996
- Yan W.,** Cornelius P. L., Crossa J. and Hunt L. A. 2001. Comparison of two types of GGE biplots for studying genotype by environment interaction. Crop Sci., 41: 656-663.
- Yan W.,** Hunt L.A., Sheng Q and Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. Crop Sci. 40 (3): Pp.507-605.
- Yáñez Cuellar Luis F.** (2005). Índices de selección: sugerencias para la utilización. Manual de Ganadería Doble Propósito. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Pp. 106-110.

VII. APÉNDICE

Cuadro A₁. Genealogía de híbridos Experimentales

HIBRIDO	GENEALOGIA
3	(PE-212-1-2-A) x ((M13xPE-115-3-1-11) x M13)-3-2
5	(PE-212-1-2-A) x ((M13xPE-115-3-1-3) x M13)-6-1
6	(CS) x ((M13xPE-115-3-1-3) x M13)-6-1
8	(PE-212-1-2-A) x ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-14-1
9	(CS) x ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-14-1
11	(PE-212-1-2-A) x ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-19-A
12	(CS) x ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-19-A
15	(PE-212-1-2-A) x ((M15xPE-115-3-3-2) x M15)-12-2
16	(CS) x ((M15xPE-115-3-3-2) x M15)-12-2
19	(PE-212-1-2-A) x ((M16xE-195) x M16)-15-3
20	(CS) x ((M16xE-195) x M16)-15-3
24	(PE-212-1-2-A) x ((M16xE-197) x M16)-15-2
28	(PE-212-1-2-A) x ((M16xE-197) x M16)-6-1
29	(CS) x ((M16xE-197) x M16)-6-1
32	(PE-212-1-2-A) x ((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-1-1
38	(PE-212-1-2-A) x ((M31xE-197) x E-197-6)-16-1
41	(CS) x ((M31xE-197) x E-197-6)-19-2
45	(PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-7-1
48	(PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-1
52	(PE-212-1-2-A) x ((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-10-3
57	(PE-212-1-2-A) x ((M6xPE-212-1) x M6)-16-1
60	(PE-212-1-2-A) x ((M7xE-197) x M7)-16-2
61	(CS) x ((M7xE-197) x M7)-16-2
64	(CS) x ((M7xV524) x M7)-14-2
69	(PE-212-1-2-A) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-14-1
70	(CS) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-14-1
73	(PE-212-1-2-A) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-18-1
74	(CS) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-18-1
77	(PE-212-1-2-A) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-6-1
80	(PE-212-1-2-A) x (CML-373 X AN7 R-25-3-1-2-A)-A-A-10-1
81	(CS) x (CML-373 X AN7 R-25-3-1-2-A)-A-A-10-1
84	(PE-212-1-2-A) x (LEOPRECOZxPN-308-1)-11-A-A-2
87	(PE-212-1-2-A) x (M13 x 232-10-11-1-A)-2-2

Continuación. Cuadro A₁ Genealogía de Híbridos Experimentales

HIBRIDO	GENEALOGIA
88	(CS) x (M13 x 232-10-11-1-A)-2-2
89	(PE-212-1-2-A) x (M15 x E-195-5)-2-3
90	(CS) x (M15 x E-195-5)-2-3
92	(PE-212-1-2-A) x (M47 x 351-296-1-6-A)-17-2
93	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-17-2
96	(PE-212-1-2-A) x (M47 x 351-296-1-6-A)-20-3
97	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-20-3
100	(PE-212-1-2-A) x (M47 x 351-296-1-6-A)-6-3
101	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-6-3
103	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 43-46-2-3-2)-10-2
105	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 43-46-2-3-2)-10-4
106	(CS) x (M7 x 43-46-2-3-2)-10-4
107	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 43-46-2-3-2)-14-1
108	(CS) x (M7 x 43-46-2-3-2)-14-1
112	(CS) x (M7 x 43-46-2-3-2)-14-2
118	(CS) x ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-9-1
120	(CS) x ((M15xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-4-2
122	(CS) x ((M16xE-195) x M16)-11-1
125	(CS) x ((M16xE-197) x E-197-1)-12-5
127	(CS) x ((M16xE-197) x M16)-13-3
130	(CS) x ((M16xE-197) x M16)-14-2
133	(PE-212-1-2-A) x ((M16xE-197) x M16)-2-1
134	(CS) x ((M16xE-197) x M16)-2-1
137	(CS) x ((M16xPE-115-3-1-3) x M16)-1-2
139	(CS) x ((M1xE-197) x E-197-6)-8-2
142	(CS) x ((M29xE-197) x M29)-11-1
145	(PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3
146	(CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-18-3
149	(PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-19-2
150	(CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-19-2
152	(CS) x ((M35xPE-112-7-A-A-4-2) x M35)-7-5
159	(PE-212-1-2-A) x ((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-18-2
160	(CS) x ((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-18-2
166	(CS) x ((M7xE-197) x E-197-6)-4-4
169	(CS) x ((M7xE-197) x E-197-6)-7-4

Continuación. Cuadro A₁ Genealogía de Híbridos Experimentales

HIBRIDO	GENEALOGIA
172	(CS) x ((M7xV524) x M7)-1-1
175	(CS) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-13-2
178	(CS) x (CML-373 X AN7 R-25-3-1-2-A)-A-A-7-3
181	(CS) x (LEOPRECOZxPN-308-2)-42-A-A-6
184	(PE-212-1-2-A) x (M15 x CML-11-3)-3-1
187	(PE-212-1-2-A) x (M16 x (PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-5)-10-4
188	(CS) x (M16 x (PE-203-2xPE-105-1)-1-A-7-3-5)-10-4
193	(CS) x (M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-16-2
196	(CS) x (M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-16-4
198	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-1-2
200	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-20-1
203	(CS) x (M47 x 351-296-1-6-A)-2-2
207	(CS) x (M7 x 43-46-2-3-2)-4-2
210	(CS) x 351-296-1-6-A-A
218	(PE-212-1-2-A) x MLS4-1 RC4N-7-1-1 X 53-36-37-N-10-2-A-1-1-A-1
219	(CS) x MLS4-1 RC4N-7-1-1 X 53-36-37-N-10-2-A-1-1-A-1
222	(PE-212-1-2-A) x ((M1xE-197) x E-197-6)-15-2
228	(PE-212-1-2-A) x ((M35xPE-115-3-1-10) x M35)-13-2
236	(PE-212-1-2-A) x ((M7xE-197) x E-197-6)-7-1
237	(CS) x ((M7xE-197) x E-197-6)-7-1
245	(CS) x (M19 x (PE-106-8xLBCPC4S4)-2-A-2-1-3)-5-2
250	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 351-296-1-6-A)-20-1
253	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 43-46-2-3-2)-10-1
256	(PE-212-1-2-A) x (M7 x 43-46-2-3-2)-8-1
257	(PE-212-1-2-A) x (((M22xE-197) x M22) x M22)-3
258	(CS) x (((M22xE-197) x M22) x M22)-3
262	(PE-212-1-2-A) x ((M13xPE-115-3-1-10) x M13)-20-1
264	(PE-212-1-2-A) x ((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-5-1
265	(PE-212-1-2-A) x ((M16xE-197) x M16)-13-1
280	(CS) x MLS4-1
281	(CS) x ((M16xE-197) x E-197-1)-15-1
282	(CS) x ((M31xE-197) x E-197-6)-12-1

Cuadro A₂. Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 1 (Silao, Gto.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.

FV	GL	FLORM (días)	FLORH (días)	ALTPTA (cm)	ALTMZCA (cm)	ARAIZ (%)	ATALLO (%)	FUS (%)	CALPTA (1-5)	REND (t ha-1)	HUM (%)
REP	1	1.63	9	2550	731.04	841.39	17.44	9.75	0.24	37.43	** 97.6
BLOQ (REP)	10	4.08	6.9	330.22	114.18	593.83	5.03	5.26	0.36	7.92	7.37
HIB	99	14.65	** 19.46	** 362.78	533.16	491.45	** 5.01	8.01	0.34	7.09	** 18.9
Error	93	5.11	6.58	221.06	403.19	219.77	5.04	6.55	0.23	2.21	13.4
CV		2.24	2.48	7.54	18.57	118.5	584.33	270.6	14.58	16.81	17.5
Media		100.6	103.28	197.09	108.07	12.51	0.38	0.94	3.33	8.84	20.9

Cuadro A₃. Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 2 (Jaral del Progreso, Gto.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.

FV	GL	FLORM (días)	FLORH (días)	ALTPTA (cm)	ALTMZCA (cm)	ARAIZ (%)	ATALLO (%)	FUS (%)	CALPTA (1-5)	REND (t ha-1)	HUM (%)						
REP	1	8.74	11.49	215.1	117.87	--	167.1	**	85.3	**	10.34	**	4.86	1.11			
BLOQ (REP)	10	0.71	0.71	244.54	323.14	--	11.12	**	6.89	**	1.21		15.61	1.9			
HIB	99	2.57	**	2.77	**	272.39	395.03	--	5.39	**	5.21	**	0.92	13.63	**	2.6	**
Error	93	0.97		1.01		144.44	243.4	--	2.11		1.67		0.48	5.59		0.87	
CV		1.41		1.43		4.38	9.65	--	47.89		28.82		19.47	19.98		7.59	
Media		69.69		70.37		274.01	161.64	--	3.03		4.48		3.56	11.83		12.32	

Cuadro A₄. Cuadros medios del análisis de varianza combinado en la localidad 3 (El Mezquite, NL.) para 10 variables considerando los híbridos evaluados como la variable de respuesta.

FV	GL	FLORM (días)	FLORH (días)	ALTPTA (cm)	ALTMZCA (cm)	ARAIZ (%)	ATALLO (%)	FUS (%)	CALPTA (1-5)	REND (t ha-1)	HUM (%)				
REP		0.33	0.03	127.62	115.05	227.61	260.56	1.99	2.2	9.17	0.13				
BLOQ (REP)		0.64	0.99	403.91	146.74	97.33	59.68	0.48	0.4	1.71	0.22				
HIB		3.04	**	2.89	**	581.94	354.07	466.94	**	43.47	0.75	0.33	6.69	0.43	**
Error		0.69	0.77	373.66	257.39	67.61	35.99	0.38	0.15	4.64	0.15				
CV		1.16	1.23	7.81	11.76	52.59	281.75	31.5	14.19	16.27	3.76				
Media		71.25	71.74	247.21	136.35	15.63	2.12	1.98	2.78	13.23	10.45				