

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Un Índice de Selección Básico y un Básico Modificado para la Identificación de
Híbridos y Líneas Superiores en Maíz

Por:

OMAR BAUTISTA MÉNDEZ

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Un Índice de Selección Básico y un Básico Modificado para la Identificación de
Híbridos y Líneas Superiores en Maíz

Por:

OMAR BAUTISTA MÉNDEZ

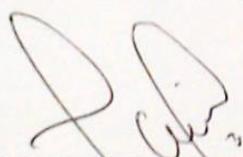
Tesis

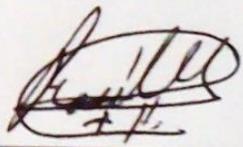
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

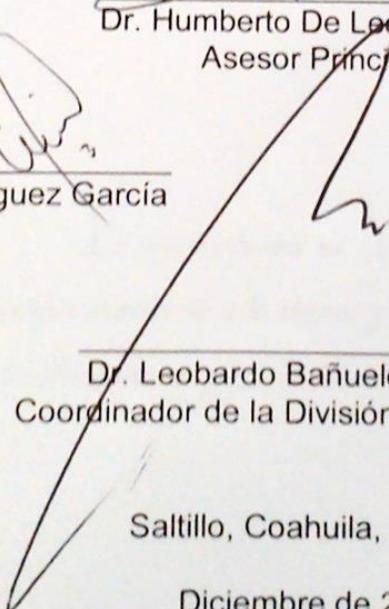
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada

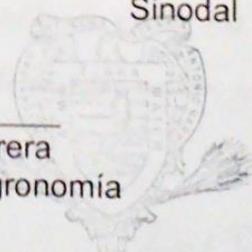

Dr. Humberto De León Castillo
Asesor Principal


Dr. Armando Rodríguez García
Sinodal


Ing. Raúl Gándara Huitrón
Sinodal


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México


Coordinación
División de Agronomía

Diciembre de 2013

*La agricultura es la más noble de todas las alquimias,
porque convierte a la tierra y aun a la majada en oro, y da además
al cultivador un premio de salud.*

Earl Chesterfield

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por otorgarme la dicha de vivir, por no dármele todo si no sólo lo que necesitaba sabiduría, entendimiento, confianza, amor perseverancia, por esos y muchos más detalles llegó al final de este caminar.

A ti Virgencita de JUQUILA por no dejarme solo en ningún momento por acompañarme todo este tiempo, por cuidar de mi familia en mi ausencia, gracias por tus bendiciones y favores gracias a ti doy otro paso más en mi vida.

A mi ALMA TERRA MATER por darme todas las herramientas necesarias para ser un profesionista y enfrentar los retos de la vida.

Al Dr. Humberto de León Castillo por la confianza depositada en mí para realizar este trabajo de tesis, por permitirme aprender de sus conocimientos, por los consejos y por su buen humor que lo caracteriza siempre estaré agradecido con usted.

Al Dr. Armando Rodríguez García por el tiempo invertido en este trabajo, por brindarme su apoyo y amistad incondicional, siendo usted un ejemplo.

Al M.c Cirilo Cahuare Ramos por la paciencia, apoyo, amistad y dedicación que me brindó al revisar cada capítulo del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Raúl Gándara Huitrón por su participación en este trabajo de investigación.

A Yessenia María Huerta Aguilar por los bellos momentos que compartimos, junto a ti viví momentos maravillosos que nunca olvidare, sabes que tienes un lugar muy especial en mi alma y corazón, por apoyarme y creer en mí sólo me resta decirte.

¡Gracias Nena!

A mis mejores amigos que estuvieron incondicionalmente para mí sin recibir nada a cambio María Luisa Francisco, Salvador Zepeda, Juan Mendoza, Salvador Cortes, Sandra Jacobo, de los que me llevare muy buenos y gratos momentos, los extrañare.

A todos mis compañeros de la generación CXVI de la carrera Ing. Agrónomo en Producción por apoyarme de distintas maneras todos estos años.

A la Sra. Victoria Bautista García por el apoyo incondicional hacia mi familia en los buenos y malos momentos.

DEDICATORIAS

Con mucho respeto y cariño para mis padres:

Casildo Bautista López y Asunción Méndez Vásquez

A mi madre, gracias por todo el amor que me has brindado todos estos años por los consejos, regaños que hicieron de mí una mejor persona cada día, nunca voy a poder pagar el sacrificio, esfuerzo y desvelos que pasaste por mí, que dios te bendiga.

A mi padre, gracias por todo el apoyo, por ser el motor de la familia, por tus horas de trabajo invertidas para que a mí y a mis hermanos no nos faltara nada y por darme la mejor de todas las herencias, el estudio, siempre estaré en deuda contigo, que dios te bendiga.

A mis hermanos Rodrigo Jesús Bautista Méndez, Hernán Bautista Méndez, Sandra Bautista Méndez e Izabella Concepción Bautista Méndez que a pesar de estar lejos sus palabras fueron un estimulante para seguir firme en este camino, de todo corazón los quiero mucho.

Y nuevamente a tí Yessenia María Huerta Aguilar por mostrarme otra perspectiva de lo que es vivir y sentir, que Dios y la Virgencita de Juquila cuiden siempre de tí y de tu hermoso hijo David Ernesto Huerta Aguilar.

Al resto de mi familia por el apoyo moral que siempre me brindaron y por creer en mí muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Importancia de los híbridos en el mercado.....	6
2.2 Efectos de ACG y ACE.....	8
2.3 Probadores.....	11
2.4 Diseño línea por probador.....	13
2.5 Parámetros de estabilidad.....	14
2.6 Índices de selección.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1 Material genético.....	18
3.2 Descripción de localidades.....	18
3.3 Descripción de la parcela experimental.....	19
3.4 Labores culturales.....	19
3.5 Variables agronómicas evaluadas.....	21
3.6 Análisis estadístico línea por probador.....	23
3.7 Índice de selección.....	24
3.8 Índice de selección básico modificado.....	27
3.9 Análisis de regresión en los sitios SREG.....	27

3.10	Criterios de selección.....	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1	Análisis de varianza línea por probador.....	30
4.2	Selección de líneas, asistida por un IS básico modificado.....	34
4.3	Selección de híbridos con base en los valores de IS.....	40
4.4	Selección de híbridos para rendimiento por medio del modelo SREG...	43
4.5	Selección de híbridos mediante el valor al mérito de un IS.....	46
V.	CONCLUSIONES.....	49
VI.	RESUMEN.....	50
VII.	LITERATURA CITADA.....	52
VIII.	APÉNDICE.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 3.1 Descripción de la localidades.....	19
Cuadro 3.2 Fechas de siembra de las localidades.....	20
Cuadro 4.1 Cuadros medios del análisis línea por probador para las variables estudiadas, evaluadas en 3 localidades del estado de Sinaloa durante el ciclo 2009-2010.....	31
Cuadro 4.2 Líneas que mostraron efectos favorables de ACG y seleccionadas con la ayuda de la metodología de IS.....	35
Cuadro 4.3 Valores de “F” estimados en los análisis de varianza para cada probador por variable.....	38
Cuadro 4.4 Agrupación estadística en base a la prueba de Tukey para la variable rendimiento y demás variables de estudio.....	39
Cuadro 4.5 Híbridos superiores de acuerdo a la metodología de IS.....	40
Cuadro A.1 Genealogía de líneas.....	56
Cuadro A.2 Descripción de híbridos con sus respectivos progenitores.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1 Patrón de respuesta de los 198 híbridos experimentales a través de las 3 localidades de evaluación.....	43
Figura4.1A Proyección de la figura 4.1, donde se aprecian a los híbridos más estables.....	45
Figura 4.2 Biplot GGE generado con los valores al mérito de cada híbrido.....	46
Figura 4.2A Proyección de la figura 4.2 donde se aprecian los mejores híbridos con base en el valor al mérito de cada uno de ellos.....	48

I. INTRODUCCIÓN

El maíz, es considerado un alimento básico para alrededor de 200 millones de personas en el mundo, especialmente en Latinoamérica, Asia, y África (USDA, 2009). La producción de maíz en el 2011 fue de más de 850 millones de toneladas métricas, siendo Estados Unidos, la Unión Europea, China, Brasil, México y la India, los principales productores (International Grains Council, 2011).

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz requieren generar nuevas líneas con adecuados componentes de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria; las líneas que reúnen tales características han demostrado resultados satisfactorios en combinaciones híbridas.

El conocimiento de la diversidad genética, heterosis y aptitud combinatoria general y específica del germoplasma de un programa de mejoramiento es esencial para cumplir, entre otros objetivos, el desarrollo de híbridos o variedades, la creación de más variabilidad genética, evitar vulnerabilidad genética e implementar programas de selección recurrente.

La evaluación de la aptitud combinatoria, además de ser un medio para poder conocer sobre la aptitud o la habilidad para combinar ciertas líneas, generando híbridos con características definidas: también define si el carácter que se evaluará, es de índole aditivo o no.

La determinación de la heredabilidad de un carácter es importante para poder mejorarlo en una población; si hay alta heredabilidad de éste, entonces, la ganancia esperada por efecto de la selección, pudiera ser mayor. A mayor significancia de la aptitud combinatoria general, mayor es el efecto aditivo en la determinación de la heredabilidad. Los efectos no-aditivos dependen de la significancia de la aptitud combinatoria específica.

El conocer la aptitud combinatoria general (ACG) de una línea en combinaciones híbridas, ayuda a saber cómo es el desempeño promedio de la misma, en función a una característica determinada; en tanto conocer la aptitud combinatoria específica contribuye a definir la mejor combinación híbrida para el carácter en estudio.

Por otra parte los nuevos híbridos, entre otras cosas deben de tener alto potencial de rendimiento, ser estables para este carácter, tener buen porte

fenotípico, así como ser tolerantes a las principales plagas y enfermedades que limiten el rendimiento de los mismos.

El presente trabajo de investigación se plantea seleccionar y evaluar híbridos experimentales en 3 ambientes representativos de la llanura costera del estado de Sinaloa mediante la metodología de (IS) índices de selección y auxiliado por el grafico GGE Biplot generado por el modelo de regresión de los sitios SREG. El material de evaluación fue formado de 99 líneas y 2 probadores, propiedad del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario Castro Gil, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

OBJETIVOS

- ❖ Seleccionar aquellas líneas con alto potencial para generar híbridos de buen rendimiento, buen comportamiento genético para lograr mayor eficiencia en el programa de mejoramiento.
- ❖ Identificar híbridos experimentales con buenos atributos agronómicos, auxiliado de las herramientas índices de selección (IS) y por el gráfico generado mediante el modelo de regresión de los sitios SREG.
- ❖ Identificar al probador que permita una buena expresión de las líneas y aquel que genere, debido a su combinación, los mejores híbridos.
- ❖ Seleccionar el ambiente con mayor poder de discriminación y así identificar los híbridos más estables.

HIPÓTESIS

- ❖ Al evaluar las cruzas de prueba al menos uno de los híbridos será superior al resto en sus características agronómicas así como en su estabilidad a través de los ambientes.
- ❖ De los probadores empleados uno tendrá mayor capacidad para discriminar líneas y otro será un buen parental para generar híbridos superiores.
- ❖ Se asume que al menos una línea presentara varios efectos genéticos favorables para las variables estudiadas.
- ❖ Se lograra una mayor eficiencia en la selección de híbridos, mediante el uso de índices de selección y mediante el grafico del modelo de regresión de los sitios.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de los híbridos en el mercado

Copeland y McDonald (2011), mencionan que 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. En países en desarrollo el uso de semillas mejoradas permitiría alcanzar niveles competitivos en la producción.

Espinosa *et al* (2003) mencionan, en México el uso de semillas mejoradas de maíz es escaso, pues se estima que es de 26 a 33% del total de la superficie dedicada al cultivo de este cereal.

Esquivel *et al* (2009) 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.

Bejarano (2003) menciona, que hasta finales de la década pasada la mayoría de estos híbridos se originaban de cruces dobles, los cuales tienen cuatro líneas endogámicas; los mismos se han venido sustituyendo con híbridos provenientes del cruce de tres líneas.

Más recientemente, se inició la producción de híbridos simples, resultante del cruce de dos líneas endogámicas. El uso de híbridos simples en la producción ha estado limitado por el bajo rendimiento de las líneas endogámicas sobre las que se obtiene la semilla.

Torres *et al* (2011) mencionan, que en teoría los híbridos de dos líneas son más productivos que los de tres pero los primeros presentan mayor interacción genotipo*ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido que también su producción de semilla es más costosa.

Sierra *et al* (2005) mencionan, que los híbridos trilineales permiten alta rentabilidad para las empresas productoras de la semilla, ya que la cruce simple que participa como hembra es de alta productividad.

Efectos de aptitud combinatoria general y específica

Fan *et al* (2003) mencionan, que los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz, requieren generar nuevas líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria; las líneas que reúnen tales características han demostrado resultados satisfactorios en combinaciones híbridas.

Welcker *et al* (2005) mencionan, que los estimadores de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) ayudan a los mejoradores a visualizar estrategias de mejoramiento por hibridación y selección.

Gutiérrez *et al* (2004) mencionan, que mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento.

Sierra-Macias *et al* (2008) mencionan, que para la formación de híbridos competitivos a nivel comercial, enfatizan sobre la necesidad de identificar líneas progenitores sobresalientes, con base de sus efectos de aptitud combinatoria general y específica, su comportamiento *per se*, adaptación y producción de semilla.

Antuna *et al* (2003), mencionan, los efectos de ACG están relacionados con los genes de efectos aditivos de los progenitores, mientras que la ACE con los de dominancia y los epistáticos de las cruzas, confirmando e indicando la contribución genética diferencial en la expresión fenotípica, por lo que el desarrollo de líneas y la identificación de las mejores combinaciones híbridas con base en el potencial de rendimiento, determinan el éxito de un programa de mejoramiento genético.

Preciado *et al* (2005) señalan que cuando se detectan efectos mayores de la aptitud combinatoria general, es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética disponible mediante cualquier variante de la selección recurrente. Por el contrario, en cruzamientos donde se registra mayor aptitud combinatoria específica, puede implementarse un programa de selección recíproca recurrente, o de hibridación.

Castañón-Nájera *et al* (2005) señalan la evaluación de la ACG y ACE mediante cruzamientos dialélicos es eficiente en la clasificación de progenitores, e identifica fuentes de germoplasma útiles en programas de mejoramiento genético.

Reyes *et al* (2004) mencionan, que el mejoramiento genético por hibridación tendrá éxito si las dos o al menos una de las líneas de un híbrido son de alta ACG, condición que por sí misma asegura un alto rendimiento. Si adicionalmente el híbrido presenta un efecto positivo alto de ACE, su capacidad de rendimiento aumentara. En cambio si las líneas son de baja ACG y su efecto de ACE es bajo, el rendimiento de la crusa será bajo.

Sámano y De León (2003) mencionan, que los efectos de aptitud combinatoria general son de mayor importancia en la formación de híbridos ya que al cruzar dos o al menos un progenitor con valores altos de ACG aseguran híbridos con un alto potencial de rendimiento, mientras que los valores de ACE no muestran tan alta correlación con el rendimiento de los híbridos superiores.

Soengas *et al* (2003) mencionan, que la aptitud combinatoria de líneas de maíz puede calcularse a través de cruzas de prueba con probadores divergentes, cuyo comportamiento permita estimar la distancia genética entre ellas, así como clasificarlas en grupos heteróticos.

Probadores

Lobato *et al* (2010) mencionan, en 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 de maíz.

Ricardo *et al* (2010) mencionan, en 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 de maíz.

Gómez *et al* (2002) mencionan, que en un programa de hibridación en maíz es conveniente contar con probadores que permitan discriminar líneas nuevas que las cruza de prueba superiores puedan utilizarse como híbridos comerciales si se trata de una línea o una cruza simple sobresaliente.

Lobato *et al* (2002) mencionan, que el mejor probador es una línea de baja aptitud combinatoria general (ACG) en comparación con la línea de alta ACG y la variedad original. Los criterios utilizados por el autor para determinar el mejor probador de la ACG fueron:

- 1) El coeficiente de variación genotípica (CVG). Bajo este criterio el mejor probador es aquel que presenta mayor variación entre sus mestizos.
- 2) El coeficiente de divergencia (CD). Para este criterio el mejor probador, es el que permite el menor coeficiente de divergencia con respecto al orden previamente establecido de las líneas de aptitud combinatoria general (ACG) conocida.
- 3) El efecto del probador. Con base en este criterio, el mejor probador es aquel que presenta el menor efecto genético.

Narro *et al* (2003) mencionan que para seleccionar probadores e identificar las líneas para la formación de sintéticos se necesita métodos más fáciles de estudiar la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria (ACE) de genotipos. Las dificultades de elección de un probador para identificar líneas superiores es el enmascaramiento de los efectos de la interacción de probadores y las líneas e interacciones genotipo ambiente en el comportamiento de las cruas de pruebas.

Paliwal (2001) menciona que en un programa de obtención de híbridos, los probadores pueden ser usados para varios propósitos y es necesario producir y usar los probadores adecuados dependiendo de los objetivos que se desean alcanzar.

Diseño línea por probador

Pavan *et al* (2011) mencionan, entre la gran variedad de procedimientos biométricos para la estimación relativa de los componentes genéticos, el análisis línea x probador es un procedimiento eficaz ya que permite la inclusión de un gran número de líneas y proporciona estimaciones confiables de los componentes genéticos, las estimaciones de la aptitud combinatoria y la acción de los genes que rigen un rasgo complejo.

Rashid *et al* (2007) mencionan que el análisis línea por probador proporciona información sobre la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos siendo útil en la estimación de los diversos tipos de acciones de genes.

Santosh y Manish (2012) mencionan que el análisis línea por probador es uno de los enfoques apropiados en la selección preliminar de los materiales por su aptitud combinatoria, también es una técnica importante utilizada para comprender el potencial genético de los progenitores y su híbridos. Las líneas seleccionadas de esta manera podrían ser utilizadas en un programa de hibridación para el desarrollo de híbridos superiores.

Parámetros de estabilidad

Alejos *et al* (2006) mencionan, para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético de cualquier rubro agrícola, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes predominantes en una región potencial de adaptación. Las etapas finales de estos programas incluyen experimentos de evaluación en diferentes localidades durante varios años.

Arellano *et al* (2011) mencionan que se requiere de genotipos que mantengan un comportamiento estable en diferentes localidades y años, además de un rendimiento alto, lo cual es factible principalmente en función del potencial genético del híbrido.

Yan y Holland (2010) mencionan, la mayoría de los programas de fitomejoramiento intentan producir variedades estables en su rendimiento, el carácter más importante para los agricultores cuando adoptan cultivares nuevos. La interacción genotipo ambiente (IGA) es una de las principales dificultades en los procesos de selección; la IGA ocasiona que los mejores genotipos varíen con el ambiente, dificulta el proceso de selección de cultivares para una región particular.

Yan *et al* (2001) mostró que el gráfico biplot permitía identificar además al genotipo ideal como aquel con un alta puntuación en el primer eje del componente principal (CP1) que está asociado a altos rendimientos (si fuese la variable en estudio) y las puntuaciones cercanas a cero en el segundo eje del componente principal (CP2), está relacionado con buena estabilidad del genotipo a través de los ambientes contrastantes. El mismo criterio se aplica para determinar el ambiente ideal.

Además en el Biplot GGE, los genotipos que se encuentran ubicados hacia el centro de la figura son menos responsivos que aquellos localizados en las esquinas o vértices del polígono los cuales se considera más responsivos (positiva o negativamente). También pueden ser identificados los mejores y peores sitios, esta información es utilizada para identificar los mega-ambientes en las regiones de interés.

La grafica GGE Biplot permite:

1. Determinar el genotipo con mejor comportamiento en un ambiente específico
2. La identificación del ambiente más apropiado para un genotipo
3. La comparación de cualquier par de genotipos en un ambiente.
4. El mejor genotipo para cada ambiente y la diferenciación de mega-ambientes

Índices de Selección

Yáñez (2005) menciona que, un índice de selección es la metodología utilizada para hacer selección de manera simultánea por varias características, la cual toma en consideración además de los aspectos genéticos, la importancia económica de las características involucradas. Este índice está conformado esencialmente por dos ecuaciones: la primera, es aquella en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, es decir, las que comprenden el objetivo de selección y se denomina genotipo agregado; la segunda se constituye por las características sobre aquellas que se hace la selección, las cuales se denominan criterios de selección.

Garcés y Vargas (1996) mencionan, cuando se utiliza un índice para la selección de varias características, casi siempre las que se consideran no son de igual importancia económica, ya que se necesita algún balance diferencial de acuerdo con el ingreso neto que se espera a partir de cada unidad de mejoramiento de cada carácter. Además, no todos tienen la misma heredabilidad, y no se puede esperar que la misma intensidad de la selección dé el mismo mejoramiento proporcional de cada carácter; y que puede afectar al cambio de otro y dichas interrelaciones fenotípicas y genéticas entre los caracteres, donde mucha importancia en uno puede afectar el cambio en otro y dichas interrelaciones se deben considerar en forma apropiada.

Barreto (1991) menciona, que bajo su propuesta el genotipo con el valor de índice más bajo representa el genotipo que contiene las características que el mejorador 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 estamos buscando.

Sharma y Duveiller (2003), indican que el uso de un índice de selección (IS) permite superioridad marcada en un rasgo para compensar inferioridad moderada en otro. Es decir, los segregantes inferiores pero con algunos atributos favorables se incluyen en el ciclo de selección, lo cual no puede ser logrado directamente con otros métodos de selección.

III. MATERIALES Y METODOS

Material Genético

El material genético utilizado en esta investigación, pertenece al Instituto Mexicano del Maíz (IMM) Dr. Mario Castro Gil, originadas del apareamiento de 99 líneas homocigotas con 2 probadores, apreciados en el cuadro A2 la clave de cada uno de los híbridos se presenta el cuadro A1 del apéndice. Originando 198 híbridos, mismos que fueron evaluados en tres ambientes representativos de la zona costera del estado de Sinaloa.

Descripción de las localidades.

La evaluación de los híbridos se llevó a cabo en 3 localidades representativas de la llanura costera del estado de Sinaloa durante el ciclo 2009-2010, se caracteriza por poseer un clima cálido semi seco en la llanura, con una temperatura media entre 24° y 25° y una precipitación pluvial de 600 mm, que aumenta hasta 1400 mm al sur del estado Cuadro 3.1

Cuadro 3.1 Descripción de localidades de evaluación.

	Localidades	Altitud msnm*	Latitud N	Longitud O
1	Corerepe Guasave.	10	25° 62' 77''	108° 71' 33''
2	Ejido 20 de Noviembre.	10	25° 91' 88''	109° 15' 38''
3	Navolato Sataya.	7	24° 62' 91''	107° 65' 55''

*Metros sobre el nivel del mar. Fuente (PIONEER)

Descripción de la parcela experimental

El diseño de siembra utilizado fue en bloques incompletos con un arreglo alfa-látice con dos repeticiones por localidad. La parcela experimental consistió de dos surcos de 0.76 m de ancho y 4.20 m de largo, en las localidades de Corerepe Guasave y 20 de Noviembre, para la localidad de Navolato Sataya fue de dos surcos de 0.80m de ancho.

Labores culturales

Preparación del terreno: Las tres localidades se prepararon iniciando con un subsuelo, seguido de un barbecho y posteriormente se aplicaron dos pasos de rastra.

Siembra: La siembra de los materiales se realizó en forma mecánica con una sembradora de 4 surcos. Las fechas de siembra fueron diferentes para cada localidad Cuadro 3.2

Cuadro 3.2 Fechas de siembra de las localidades.

No	Localidad	Fecha
1	Corerepe Guasave.	06-dic-09
2	20 de Noviembre	08-dic-09
3	Navolato Sataya	09-dic-09

Fuente (PIONEER)

Fertilización: La dosis aplicada en cada localidad fue de 400N- 100P- 50k ha⁻¹, la aplicación se realizó en dos momentos: la mitad del nitrógeno y todo el fosforo y potasio (50% de N y 100% de P y K) fue al momento del surcado y el resto del nitrógeno se aplicó cuando el cultivo se encontraba en la etapa fenológica V5.

Riegos: Se aplicó un riego de pre-siembra para mantener la humedad en el suelo esperando el momento más oportuno para la siembra y asegurar la germinación. Los riegos posteriores fueron a los 55, 85, 115, y 140 días después de la siembra para las localidades.

Control de malezas: Para el control de las malas hierbas se hizo mediante 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: Todas las aplicaciones se realizaron de manera preventiva al momento de la siembra Lorsban 3G (ingrediente activo Clorpirifos) para plagas de suelo; Arrivo 200CE (ingrediente activo cipermetrina) para gusanos trozadores en las primeras etapas; Ambush 50 (ingrediente activo Permetrina) para plagas foliares.

Cosecha: Se realizó de forma mecánica con la cosechadora con báscula integrada y determinador de humedad.

Variables agronómicas evaluadas.

Altura de planta (Altpaa). Distancia en centímetros comprendida desde el nivel del surco hasta la inserción de la hoja bandera expresada en decímetros.

Acame de raíz (Acr). Número de plantas que presentan un ángulo de inclinación de 30° con respecto a la vertical, expresado en por ciento.

Roya. Se obtiene dando una calificación dependiendo la severidad de la enfermedad, que se mueve en la escala, de 1 muy enferma a 10 sana.

Relación mazorca planta (Rmp). Relación que existe entre la altura de planta y mazorca, expresada en por ciento.

$$RMP = \left(\frac{\text{Altura de planta}}{\text{Altura de mazorca}} \right) \times 100$$

Rendimiento (Rend). Para estimar el rendimiento de mazorca en toneladas por hectárea al 15.5% de humedad de todos los tratamientos, se multiplicó 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.

$$FC = \frac{10000 \text{ m}^2}{APU \times 0.845 \times 100}$$

FC= Factor de conversión para expresar el rendimiento en toneladas por hectárea de mazorca al 15.5 por ciento de humedad.

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.

10,000m²= Valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m².

Análisis estadístico línea por probador

$$Y_{ijkl} = \mu + \ell_i + \beta_{j(i)} + \lambda_k + \alpha_l + \lambda\alpha_{ki} + \lambda\ell_{ki} + \alpha\ell_{li} + \lambda\alpha\ell_{kli} + \varepsilon_{ijkl}.$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta. μ = Efecto de la media general. ℓ_i = Efecto de la i-ésima localidad. $\beta_{j(i)}$ = Efecto de j-ésima repetición dentro de la i-ésima localidad. λ_k = Efecto de la k-ésima línea. α_l = Efecto del l-ésimo probador. $\lambda\alpha_{ki}$ = Efecto de la k-ésima línea por el l-ésimo probador. $\lambda\ell_{ki}$ = Efecto de la k-ésima línea por la i-ésima localidad. $\alpha\ell_{li}$ = Efecto de la l-ésimo probador por la i-ésima localidad. $\lambda\alpha\ell_{kli}$ = Efecto de la k-ésima línea por el l-ésimo probador por la i-ésima localidad. ε_{ijkl} = Error experimental.

Para estimar ACG de las líneas

$$Li = \frac{Xi \dots}{pra} - \frac{X \dots}{lpra}$$

Para estimar ACG de los probadores

$$P_j = \frac{X_{.j..}}{lra} - \frac{X_{...}}{lpra}$$

Donde:

L = aptitud combinatoria de las líneas; P = aptitud combinatoria general de los probadores; l = número de líneas; P = número de probadores; r = número de repeticiones; a = número de ambientes; $X_{i...}$ = sumatoria de la i -ésima línea; $X_{.j..}$ = sumatoria del j -ésimo probador; $X_{...}$ = es la sumatoria total.

Además para explorar el poder de discriminación de los probadores se realizó un análisis de varianza por probador, con la intención de comparar los valores obtenidos en la prueba de “F” en ambos probadores para cada variable; donde el probador con mayor poder de discriminación será aquel que tenga el valor más alto de “F”.

Índice de selección (IS)

La selección de caracteres múltiple se basará en un índice en el que los valores fenotípicos estandarizados de cada característica se les restará un valor crítico correspondiente al valor más favorable de la variable, con la idea de medir la distancia entre ambos, el resultado se eleva al cuadrado para evitar valores negativos y después se multiplica por su valor económico posteriormente se

calcula su raíz cuadrada. El índice descrito es equivalente a la siguiente función lineal:

Metodología descrita por Barreto *et al.* (1991):

$$IS = \left[(Y_i - M_j)^2 * I_k \right] + \left[(Y_i - M_j)^2 * I_k \right] + \dots + \left[(Y_i - M_j)^2 * I_k \right]^{\frac{1}{2}}$$

IS= es el índice de selección; Y_j =Es la variable en unidades Z; M_j =es la meta deseada para cada variable (definida por el usuario) I_j = es la intensidad de selección de cada variable (definido por el usuario)

Al momento de correr los datos, las unidades en que están representadas las variables deben ser estandarizadas para que estas puedan combinarse entre sí, ya que están representadas en unidades distintas (% , kg ha⁻¹, Ton) estandarizándolas mediante la fórmula del valor Z que a continuación se describe:

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

Donde:

Z =es el valor estandarizado; Y_j =es el valor para la entrada j; \bar{y} =es el promedio de todas la entradas; S=es la desviación estándar del grupo de entradas.

La meta deseada del presente trabajo se obtuvo generado un valor Z considerando el valor más favorecido para cada variable menos la media de la misma todo sobre su desviación estándar.

La meta de selección: se considera como lo que el mejorador desea lograr con la selección, en base a las desviaciones estándar, en el programa solo se puede tomar un valor -3 a +3 que corresponde a un 99% dentro de una distribución normal.

La intensidad de selección: mediante la intensidad le otorgamos importancia a las variables de acuerdo al interés, y esta puede ser diferente de cada variable, tomando valores que van de 0 a 10 y mientras más grande sea el valor mayor peso se le da a la variable en la selección, o en su caso si se usa un valor de cero es porque el usuario no quiere que esa variable sea considerada y por lo tanto el programa no la toma en cuenta al correr los datos.

Para Barreto (1991) el valor del índice representa la suma de las distancias euclidianas de las variables con respecto a la meta deseada para genotipo. Aquellos genotipos con el menor valor de índice son las que minimizan dicha distancia y representan aquellos más cercanos a los criterios expresados en la

meta asignada a cada variable, y por tanto, se pueden considerar como superiores.

Índice de selección básico modificado

Para este caso el IS se construyó con los valores de aptitud combinatoria general de cada una de las variables agronómicas de interés a diferencia del IS básico donde se emplean valores fenotípicos, esperando una selección más eficiente de genotipos.

Análisis de regresión en los sitios SREG

En este método se realiza una estandarización usando el error estándar de la media de cada genotipo dentro de ambientes (Cornelius y Crossa, 1997); además, permite la representación simultánea de la variabilidad de genotipos y ambientes, basada en el análisis de componentes principales (Yan *et al.*,2000).

El modelo SREG está dado por:

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

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 $\hat{\mu}_j = \bar{Y}_{\bullet j}$.

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.

Criterios de selección

Se realizó un análisis de varianza línea por probador para observar si existen diferencias estadísticas entre localidades, líneas, probadores, línea por probador.

Para la selección de líneas se consideró los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) que presente para cada variable agronómica involucrada en el estudio y con ayuda de un IS básico modificado se logró hacer más eficiente el proceso de selección.

En la selección de los probadores se tomó en cuenta el valor de “F” obtenido de un análisis de varianza por separado de cada una de las variables estudiadas, considerando que el que tenga los más altos valores tendrá también mayor poder de discriminación.

Con la finalidad de encontrar híbridos que tengan un alto potencial de rendimiento se realizó una prueba de rango múltiple Tukey ($P \leq 0.001$) donde se agruparon estadísticamente y así poderlos clasificar en superiores. También mediante la metodología de IS se logró hacer más eficiente el proceso de selección auxiliado del Biplot GGE del modelo de regresión de los sitios SREG.

Con respecto a las localidades de evaluación se seleccionó aquella que presente el vector más largo en el Biplot GGE por ser la que mayor poder de discriminación presenta, mencionado por Yan *et al* (2000).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estimar los efectos genéticos de líneas y probadores, así como las mejores combinaciones híbridas para los diferentes caracteres de interés en la investigación se realizó un análisis de varianza línea por probador.

En el Cuadro 4.1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza línea por probador de las tres localidades para las variables estudiadas donde se observa, el comportamiento de efectos principales y de las interacciones entre efectos de los 198 híbridos en evaluación.

En lo referente a las localidades resultaron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.01$) para todas la variables agronómicas, estas diferencias pueden ser atribuidas, a las condiciones climáticas, edáficas y de manejo agronómico diferentes, este resultado es favorable ya que buscamos materiales, que se desempeñen bien bajo diferentes ambientes.

Cuadro 4.1 Cuadrados medios del análisis línea x probador para las variables estudiadas, evaluadas en 3 localidades en el estado de Sinaloa durante el ciclo 2009-2010.

Fuentes de variación	G.L	Roya	Altm	Altpaa	Rmp	Acr	Humed	Rend
Localidades	2	56.8592292**	1084.060* *	2785.744**	3309.987**	55014.73**	885.5963**	98.35243**
Rep/Loc	3	0.5881248	4.58967	54.6333**	52.41680	981.7315	1.467556	0.987503
Línea	98	3.7114069**	3.920877* *	186.0885**	30.60508**	1009.070**	3.292227**	6.562765**
LocxLínea	19 6	0.6498329	2.619823* *	178.9403**	21.50834**	368.2026**	1.646207**	1.774401**
Probador	1	64.506492**	1345.381* *	1849.3296**	7248.509**	235139.4**	4.950548**	2.354139
LocxProbador	2	10.035036**	43.62308* *	513.68919	169.5469**	13116.89**	18.03577**	26.17932**
Línea x Probador	98	221.00874**	2.426671* *	192.00130	28.69910**	595.9806**	1.737053**	4.835736**
LocxLíneaxProbador	19 6	121.01240	3.458232* *	179.87521	27.97351**	379.8104**	2.322158**	1.641063**
Error	58 1	0.449057	1.016462	78.0332	13.55476	196.6056	0.318625	1.034199
Media		5.082343	14.07131	28.77250	49.50207	29.22819	19.29808	8.675277
C.V		13.18521	7.164916	30.70167	7.437424	47.97291	2.924999	11.72246

*,** Niveles de significancia a $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$ respectivamente. FV=fuente de variación, GL=grados de libertad, Roya, Atura de mazorca, Altura de planta, Relación mazorca, Planta, Acame de raíz, Humedad, Rendimiento.

En la fuente de variación de repeticiones dentro de localidades solamente la variable de altura de planta presento diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$), indicando que las repeticiones se comportaron de manera diferente dentro de cada localidad y que el diseño fue eficiente.

En la fuente de variación de líneas, todas las variables presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) siendo indicador de la variabilidad genética que existe entre líneas, esta variabilidad es importante, porque permitirá la identificación aquellas líneas con buenos atributos agronómicos y alto valor genético.

La fuente de variación correspondiente a la interacción localidad por línea se muestra una diferencia significativa ($P \leq 0.01$) para las variables Altura de mazorca, Altura de planta, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Humedad y Rendimiento estas diferencias indican que el ordenamiento de las líneas evaluadas no fue el mismo en cada localidad, es decir fueron inconsistentes a través de ambientes. La variable Roya no presentó significancia, indicando que las líneas si guardaron un ordenamiento similar a través de ambientes por lo tanto se consideran estables.

Para la fuente de variación Probadores, presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) puede ser atribuible a que los probadores tienen diferente fondo genético, y su capacidad para heredar los caracteres estudiados es diferente, la cual es de importancia para conocer quien es buen progenitor de híbridos y da la pauta para estudiar si tiene diferencias de la capacidad de discriminación.

La fuente de variación correspondiente a la interacción de localidad por probador, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las variables Roya, Altura de mazorca, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Humedad y Rendimiento, concluyendo que los probadores mostraron una respuesta inconsistente a través de los ambientes de evaluación de las características agronómicas estudiadas.

La fuente de variación Línea por Probador resultó con diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) para las variables Roya, Altura de mazorca, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Humedad y Rendimiento, esto sugiere que los híbridos son estadísticamente diferentes, ayudando a facilitar los trabajos del programa de mejoramiento, otra interpretación sería que las líneas mostraron inconsistencia de orden al ser cruzados con diferente probador.

La fuente de variación de Localidad por Línea por Probador resultó con diferencias significativas ($P \leq 0.01$) para las variables Altura de mazorca, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Humedad y Rendimiento indicando que las combinaciones híbridas no mantienen un orden relativamente en las localidades de evaluación, es decir los híbridos evaluados tuvieron un comportamiento diferente, mostrando estabilidad para las variables Roya y Altura de Planta.

En lo referente a los coeficientes de variación (C.V) de las variables evaluadas tienen un grado aceptable de confiabilidad ya que hubo una buena conducción de los experimentos, con respecto a las medias obtenidas se sugiere que se mejore el trabajo en algunas variables por estar muy distanciadas del valor de interés.

Selección de líneas, asistida por un IS básico modificado

Tal como se indicó en el capítulo de materiales y métodos la elección de las líneas con mayor potencial fue con base en los valores al mérito arrojados por un índice de selección construido con los valores de ACG con la meta de hacer más eficiente la selección que cuando se emplean valores fenotípicos.

En el Cuadro 4.2 se presentan las líneas estadísticamente superiores al resto elegidas con los valores al mérito del IS exhibiendo valores menores a el valor crítico de la media menos 2σ para seleccionar las que sean superiores al .05 de probabilidad y 1.645σ para identificar las que son superiores al 0.1 de probabilidad, recordando que los IS cercanos a cero son los mejores; se especula que éstas líneas mostrarán una mayor respuesta en la selección que cuando se eligen por su valor fenotípico, las líneas seleccionadas y sus atributos genéticos se describen en el cuadro 4.2

Cuadro 4.2 Líneas que mostraron efectos favorables de ACG y seleccionadas con la ayuda de la metodología de IS.

LUGAR	LÍNEA	ROYA	RMP	ACR	REND	IS	
1°	71	0.668	-3.879	-11.868	1.015	5.0397	π π
2°	79	0.668	-1.974	-9.929	1.028	7.7581	π
3°	18	1.584	-1.492	-9.719	1.217	8.2272	π
4°	108	1.001	-1.397	-7.883	1.141	8.6825	π
5°	25	0.001	-2.543	-10.101	0.321	8.7823	π

π π=Significativo al 5% de probabilidad (la media menos 2σ); π= Significativo al 10% de probabilidad (la media menos 1.65σ);
 Roya=Roya, Rmp=Relación mazorca planta, Acr=Acame de raíz, Rend= Rendimiento e IS=Índice de selección

La meta de selección asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar del promedio que se desea lograr la selección, tomando valores de -3.0 a +3.0 con valores negativos para aquellos genotipos que se encuentren por debajo de la media y por el contrario positivos los que se encuentren arriba de la media.

El principio de IS está basado en estimar los valores estandarizados de cada variable restando la meta de selección, que está de acuerdo a la desviación estándar del parámetro y a la media de la población, el resultado es elevado al cuadrado y a la vez éste se multiplica por la intensidad la cual tiene un valor económico, de acuerdo a las necesidades del programa será el valor que le corresponda a cada variable.

La línea 71 ((M22xE-197) x M22)-15 demostró un comportamiento genético favorable para la variable rendimiento aportando 1.015 t ha^{-1} por arriba de la media, también presentó efectos estadísticamente diferentes de cero para las variables Roya, Relación mazorca planta y Acame de raíz, siendo la única línea en ubicarse dentro del 5% estadísticamente superior además de dar origen al mejor híbrido de este estudio como se puede apreciar en la figura 4.2.

Posteriormente se encuentra la línea 79 ((M7xE-197) x M7)-5 la cual aporta en promedio a sus descendientes híbridos 1.028 t ha^{-1} , en la variable Roya se obtuvo valores estadísticamente diferentes de cero, mientras para las variables Relación mazorca planta y Acame de raíz presentó efectos genéticos favorables, siendo de las líneas que forman el grupo del 10% estadísticamente superior.

La línea que siguió en orden fue la 18 (M7 x 351-296-1-6-A)-9, presento un comportamiento favorable para rendimiento contribuyendo 1.217 t ha^{-1} por arriba de la media siendo la línea que aporta mayor rendimiento en cada cruzamiento, también mostro efectos favorables para las demás variables ocupando el tercer mejor índice de selección.

La línea 108 ((M16xE-195) x M16) x M16 presentando el cuarto mejor índice contribuyendo en promedio a sus descendientes 1.141 t ha^{-1} , de igual manera forma parte del 10% estadísticamente superior con efectos favorables para el resto de las variables.

En orden siguió la línea 25 ((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-13 la cual apporto en promedio 0.321 t ha^{-1} por encima de la media, mostrando efectos estadísticamente diferentes de cero para las variables Roya, Relación mazorca planta y acame de raíz.

Por otro lado, y con el objetivo de identificar cuál de los 2 probadores es el más eficiente para la discriminación de las líneas, se realizó un análisis de varianza por separado, con cada uno de los probadores para todas las variables, estudiadas con el propósito de que los valores obtenidos en el cálculo de "F", poder determinar cuál mostró mayor capacidad para detectar variabilidad, considerando que el que mostrara los más altos valores en el estimado de "F" de

cada uno de los análisis de varianza, corresponderá al que tiene mayor poder de discriminación, resultados que se resumen en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 Valores de “F” estimados en los análisis de varianza para cada probador por variable

PROB	ROYA	ALTM	ALPAA	ACR	RMP	HUMED	REND
3	3.72	7.44	7.11	4.48	2.85	12.38	3.24
4	3.50	6.34	7.77	2.37	2.76	22.74	3.61

Prob=Probador, Roya= Roya, Altm= Altura de mazorca, Alpaa=Altura de planta, Acr=Acame de raíz, Rmp= Relación mazorca planta, Humed=Humedad y Rend= Rendimiento.

El probador 3 (MLS4-1), obtuvo mayores valores para las variables Roya, Altura de planta, Acame de raíz y Relación mazorca planta, lo que lo posiciona como el probador ideal para discriminar líneas en el comportamiento de estas variables a diferencia del probador 4, quien obtuvo valores favorables sólo para las variables Altura de mazorca y Humedad, lo que lo hace ideal para diferenciar las líneas en estas características, en relación con la variable rendimiento, los dos probadores son muy similares en su capacidad de discriminación como se muestra en Análisis línea por probador.

Con atención al objetivo relacionado con la selección de híbridos. En el Cuadro 4.4 se presenta el comportamiento promedio de los 5 híbridos seleccionados por su potencial de Rendimiento y se agrega en el cuadro el desempeño de otras variables agronómicas, estos híbridos pertenecen al grupo

estadístico superior para rendimiento y se agrega su desempeño estadístico para el resto de las variables.

Cuadro 4.4 Agrupación estadística en base a la prueba Tukey para la variable rendimiento y demás variables de estudio.

HIB	REND	ROYA	ALTM	ALTPAA	RMP	ACR	HUMED
256	11.08	6.33	13.16	29.00	45.34	13.27	19.18
	a	Abcdef	hijklmnopqrs	abcdefghijklmnop	ghijklmnopq		
389	10.91	7.16	14.66	29.66	49.18	27.60	19.05
	ab	Ab	cdefghijklmno	abcdefghijklmnop	abcdefghijklmnop		
252	10.88	6.33	12.00	27.50	43.40	8.37	19.51
	abc	abcdefgh	opqrs	fghijklmnop	mnopq		
12	10.87	5.66	16.66	29.66	55.94	55.78	20.01
	abcd	abcdefghij	abc	abcdefghijklmnop	abcd		
399	10.85	5.33	13.16	28.33	46.44	10.39	19.10
	abcde	cdefghijkl	hijklmnopqrs	cdefghijklmnop	bcdefghijklmnop		

Hib=Híbrido, Roya=Roya, Altm= Altura de mazorca, Altpaa=altura de planta, Rmp= Relación mazorca planta, Acr= Acame de raíz y Humed= Humedad.

En el cuadro 4.4 es obvio, que ningún híbrido reúne todos los atributos agronómicos requeridos para ser liberado al mercado, ya que si únicamente se selecciona hacia rendimiento las demás características no necesariamente son las mejores, quizá por no estar correlacionadas con el rendimiento, al tratar de mejorar el resto de las variables, una por una, requerirá un mayor lapso de tiempo y un incremento en el costo del mejoramiento.

Una manera de mejorar la respuesta a la selección es hacer uso de la metodología de IS; en este caso se empleó un índice básico descrito por Barreto *et al* (1991), la cual es una herramienta que maneja simultáneamente varios

caracteres fenotípicos de importancia, este se construyó con las siguientes variables Roya, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Rendimiento y atendiendo el valor al mérito del IS logrando una excelencia con respecto a una característica pueda compensar debilidad con respecto a otra en el Cuadro 4.5 se muestran los híbridos estadísticamente superiores.

Selección de híbridos con base en los valores de IS

Cuadro 4.5 Híbridos superiores de acuerdo a la metodología de IS.

Lugar	HIB	ROYA	RMP	ACR	REND	IS	
1°	252	6.00000 abcdefg	43.4029 mnopq	8.3770	10.8820 abc	3.9807	π π
2°	256	6.33333 abcdef	45.3449 fghijklmnopq	13.2779	11.0897 a	5.8098	π π
3°	68	6.66667 abcd	44.7342 ijklmnopq	4.9135	9.9708 abcdefghijkl	6.1075	π
4°	281	5.50000 bcdefghijk	43.5286 lmnopq	6.2657	9.3487 abcdefghijklmnop	6.6800	π
5°	399	5.33333 cdefghijkl	46.4444 bcdefghijklmnop	10.3953	10.8550 abcde	6.7139	π
6°	404	6.33333 abcdef	46.7857 abcdefghijklmnopq	5.0603	10.5663 abcdefg	7.0759	π
Media		5.08460	49.49709	29.37705	8.67484		

π π=Significativo al 5% de probabilidad, la media menos 2 σ π= Significativo al 10% de probabilidad; la media menos 1.65 Hib=Híbrido, Rmp=Relación mazorca planta, Acr= Acame de raíz, Rend=Rendimiento.

La selección no debe enfocarse en una sola característica, normalmente rendimiento, ya que se descuidan otras variables de importancia agronómica, y por tanto la selección no es la más eficiente; en este caso haciendo uso de un IS básico se eligieron los mejores híbridos experimentales por exhibir un IS con valor

al mérito favorable, estos al estar más cercanos al criterio de selección de cada variable y por la conjunción de todas obtuvieron los valores más bajos según Barreto *et al* (1991) se les considera como superiores.

El mejor híbrido experimental fue el 252 resultado del cruzamiento de la línea 71 x el probador 4 (((M22xE-197) x M22)-15 x Línea C) mostro el mejor valor de IS, además de estar agrupado en el 5% estadísticamente superior con un comportamiento favorable para las variables Roya, Relación mazorca planta, Acame de raíz con un rendimiento estimado de 10.8820 t ha¹, enfatizando que la línea que le dio origen de acuerdo a la metodología propuesta por Barreto *et al* (1991) resulto ser la mejor del total de líneas cuadro 4.1.

Posteriormente está el híbrido 256 resultado del cruce de la línea 72 x el probador 4 (((M22xE-197) x M22)-20 x Línea C) con un rendimiento estimado de 11.0897 t ha¹ ubicándose en el mejor nivel estadístico para rendimiento ver cuadro 5.1, de igual manera forma parte del 5% estadísticamente superior, en cuanto a las demás variables presentó efectos favorables ubicándose en grupos estadísticos ideales, con el segundo mejor IS.

Potencialmente le sigue el híbrido 68 derivado del cruzamiento de la línea 68 x el probador 4 ((M7 x 351-296-1-6-A)-9 x Línea C) con el tercer mejor IS con un rendimiento estimado de 9.9708 t ha⁻¹ ubicándose en el nivel estadístico del 10% superior, para la variable rendimiento se posiciono en demasiados grupos estadísticos mientras que para las demás variables su ordenamiento fue favorable

de igual manera la línea que dio origen a este híbrido se ubicó dentro del grupo de líneas superiores.

El híbrido 281 resultado del cruzamiento de la línea 79 x el probador 4 (((M7xE-197) x M7)-5 x Línea C) presentó un rendimiento estimado de 9.3487 t ha⁻¹ agrupándose en diferentes niveles, para la variable Relación mazorca planta mostro un comportamiento favorable al igual que la variable Roya formando parte del 10% estadísticamente superior, el progenitor que intervino para formar este híbrido fue la segunda mejor línea de acuerdo a la metodología de IS.

De igual manera el híbrido 399 resultado del cruzamiento de la línea 111 x el probador 4 (((M22xPE-115-3-1-11) x M22) x M22 x Línea C) se ubicó en el grupo del 10% estadísticamente superior, con un rendimiento estimado de 10.8550 t ha¹ se agrupo en favorables niveles estadísticos para dicha variable, mientras que para el resto de las variables mostro un ordenamiento en diferentes niveles estadísticos.

El híbrido que siguió en orden fue el 404 derivado del cruce de la línea 113 x el probador 4 (((M42xPE-212-1) x M42) x M42 x Línea C) con un comportamiento favorable para las variables Roya, Relación mazorca planta, con un rendimiento estimado de 10.5663 t ha¹ también agrupado en el 10% estadísticamente superior.

Selección de híbridos para rendimiento por medio del modelo SREG

El gráfico GGE Biplot permitió determinar el genotipo con mejor comportamiento en un ambiente específico, la identificación del ambiente más apropiado para un genotipo específico, la comparación de cualquier par de genotipos en un ambiente y el mejor genotipo para cada ambiente y la diferenciación de mega-ambientes según sea el caso, ya que los gráficos GGE Biplot generados por el modelo SREG, son útiles para la exploración del comportamiento de la interacción genotipo ambiente figura 4.1.

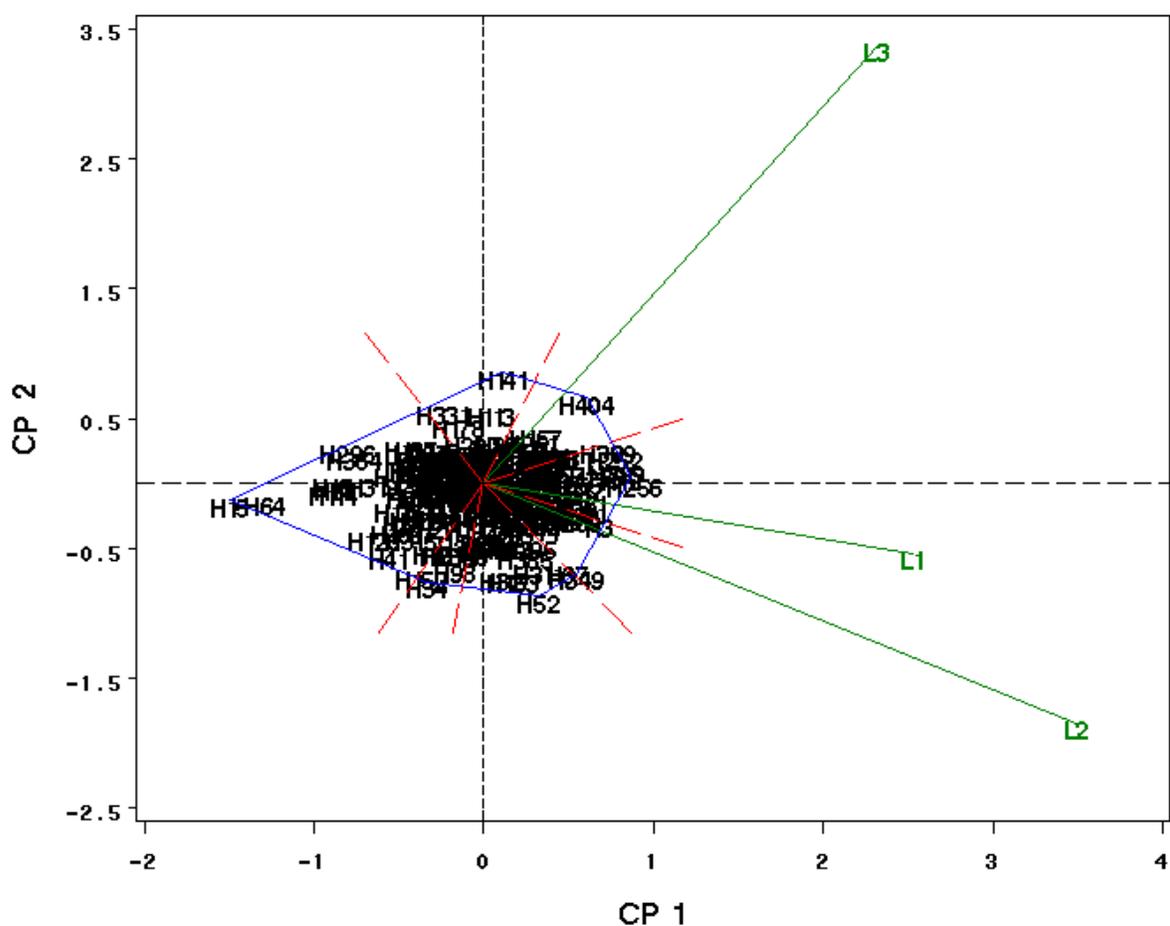


Figura 4.1 Patrón de respuesta de los 198 híbridos experimentales a través de las 3 localidades de evaluación.

Con respecto a las localidades 1 y 2, realizan un ordenamiento sin interacción cruzada de los híbridos experimentales bajo evaluación por ubicarse dentro del mismo sector, esto se atribuye a las localidades por tener condiciones ambientales semejantes y con la característica de clasificar a los genotipos de manera similar, mencionando de que se podría realizar selección empleando sólo una de ellas sin tener pérdida en la precisión de la selección, lo cual tendrá una reducción de costos en futuras evaluaciones.

Mientras que la localidad 3 mostró un ordenamiento de los híbridos experimentales significativamente diferente a las localidades 1,2 por encontrarse en otro sector del gráfico, esto indica la existencia de interacción cruzada y sugiere trabajo de selección completamente diferente a las localidades 1, 2 por encontrarse en otro sector del gráfico, esto indica la importancia de evaluar en varias localidades para lograr una mejor eficiencia en la selección de genotipos, por su estabilidad a través de diferentes zonas de evaluación, respecto a qué localidad tiene en amplio sentido, mayor poder de discriminación por lo largo de su vector se encuentra la localidad 2.

En la figura 4.1, se muestran los mejores genotipos adaptados para cada una de las localidades, para la localidad 1 fue el 256 ((M22xE-197) x M22)-20) x Línea C, para la localidad 2 fue el 113 ((M16xE-197) x E-197-1)-9) x MLS4-1 y el 349 ((M47xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-5-A) x PN-311-2-A-3-6-A) x MSL4-1,

mientras que para la localidad 3 fue el 404 ((M42xPE-212-1) x M42) x M42) x Línea C, debido a que todos estos materiales se encuentran en el vértice del sector donde se ubica cada localidad.

Se realizó una ampliación de la parte del gráfico, que permita apreciar con mejor claridad aquellos materiales con mayor estabilidad. Figura 4.1A

En la proyección se observan los híbridos más cercanos al probador virtual destacando los híbridos 256, 12, y 399 ya que estos tienen los mejores atributos agronómicos pero sobre todo muestran mayor estabilidad a través de las localidades de evaluación, aspecto de suma importancia en el mejoramiento genético.

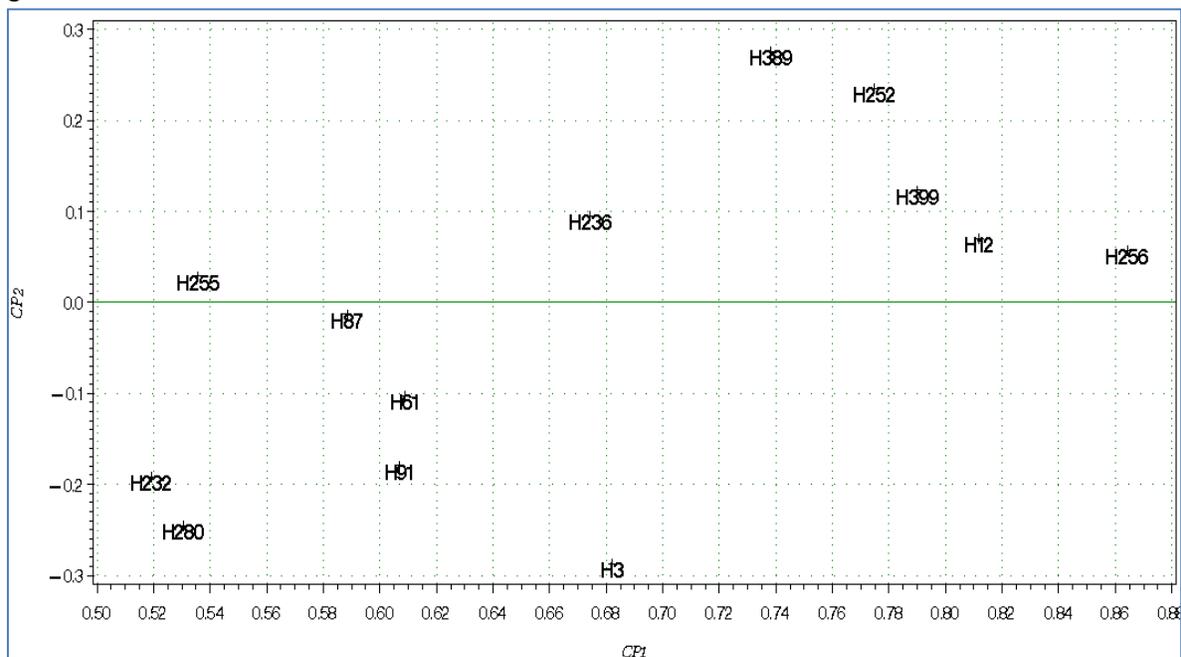


Figura 4.1A Proyección de la figura 4.1, donde se aprecian a los híbridos más estables.

En relación con los ambientes, se puede decir que los ambientes 1 y 2 representados por los ambientes Corerepe Huasave y Ejido 20 de noviembre guardaron mucha relación entre sí, en cuanto a la relación de clasificar al material genético, debido a la cercanía que presentaron sus vectores en un futuro se puede eliminar uno de los dos ambientes sin perder precisión de resultados, mientras que la localidad 3 Navolato Sataya clasifica de manera diferente a los genotipos ya que el ángulo formado entre el vector de esta localidad con las otras dos fue menor de 90° , es decir, los tres ambientes representan un mega-ambiente determinado. Por la longitud de los vectores de las localidades se puede establecer que la localidad 3 logró obtener un mayor poder de discriminación de los híbridos de evaluación.

Para identificar los materiales más estables y con el valor al mérito más bajo se realizó una proyección de la Figura 4.2 logrando una mejor visualización del número correspondiente a cada híbrido, dando origen a la Figura 4.2A. Considerando como deseables a aquellos que se encuentran lo más cerca del probador por asociarse de manera directa con la estabilidad.

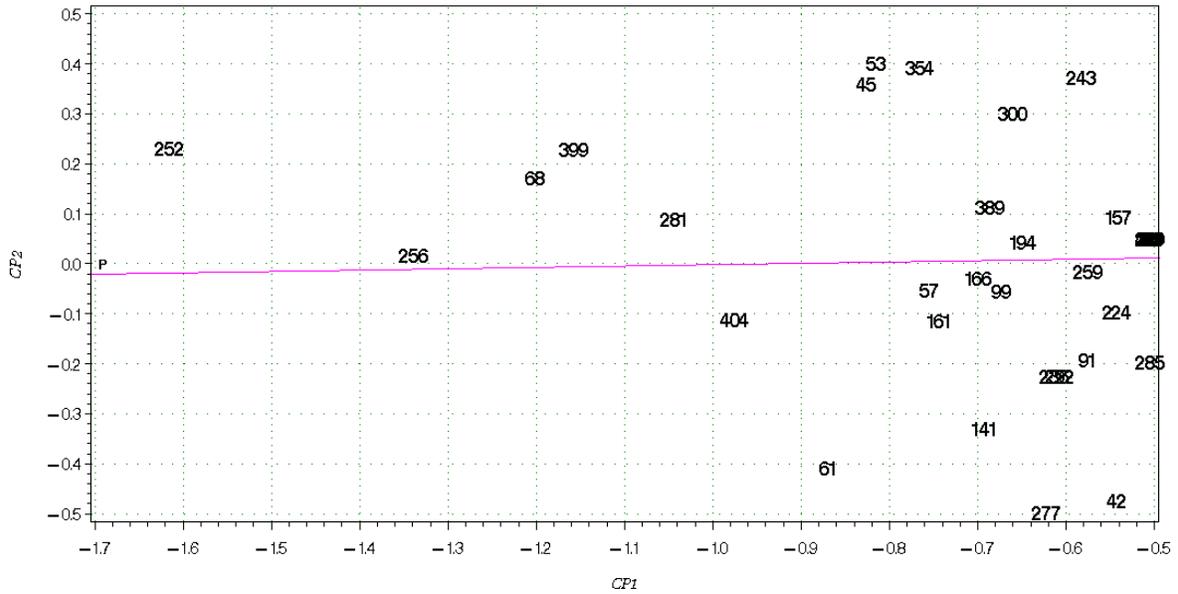


Figura 4.2A Proyección de la figura 4.2 donde se aprecian los mejores híbridos con base en el valor al mérito de cada uno de ellos.

En la figura 4.2A se observan los híbridos considerados superiores por tener los valores de IS más bajos y por encontrarse cerca del probador virtual son: el híbrido 252 con el mejor IS, el 256 con el segundo mejor índice sin embargo demuestra tener mayor estabilidad por lo cercano al probador virtual posteriormente el 68, 399, 281 y por último el 404.

V. Conclusiones

- El uso de un IS básico modificado permitió identificar la mejor línea con base en la conjunción de los valores de ACG de las variables de importancia agronómica destacando la línea 71 (M22xE-197) x M22-15.
- De los híbridos experimentales evaluados, los que se seleccionaron por valores favorables al mérito del índice de selección fueron los de las siguientes claves: 252, 256, 68, 281, 399 y 404 siendo el más estable a través de los ambientes de evaluación el 256.
- Por su capacidad de discriminar líneas con base en el valor “F” calculada el mejor probador para las variables Roya, Altura de planta, Acame de raíz y Relación mazorca planta fue MLS₄-1 mientras que para la variables Altura de mazorca y Humedad el mejor probador fue la línea C.

VI. Resumen

En los programas de mejoramiento genético es un verdadero reto el proceso de selección por lo que se sugiere utilizar nuevas y mejores técnicas. Los objetivos principales de este trabajo fueron evaluar el comportamiento agronómico tanto de híbridos como de líneas de maíz para seleccionar aquellos con los mejores atributos auxiliándose de un índice de selección (IS) además de medir su estabilidad, también se eligieron los probadores con mayor poder de discriminación con atención a los valores de “F” detectados en los análisis de varianza. El presente trabajo consistió en evaluar 198 híbridos formados del cruzamiento de 99 líneas con 2 probadores. La evaluación fue en el año 2009 en tres localidades del estado de Sinaloa, las variables estudiadas fueron: Roca, Altura de planta, Altura de mazorca, Relación mazorca planta, Acame de raíz, Humedad y Rendimiento con las que se realizó un análisis de varianza en forma combinada a través de localidades y el modelo línea por probador. Los resultados indicaron diferencias ($P \leq 0.01$) para localidades, líneas, probadores y en línea por probador. Posteriormente haciendo uso de un IS básico modificado se seleccionaron las mejores líneas fueron: 71, 79, 18, 108 y 25, en cuanto a la selección de los híbridos mediante el uso del IS los que destacaron son los siguientes: 252, 256, 68, 281, 399 y 404. Para medir la estabilidad de los genotipos se hizo uso del modelo de regresión de los sitios SREG el cual mostró

que la localidad 3 tuvo un mayor poder de discriminación, en cuanto a los híbridos el 252 mantuvo un buen comportamiento en la localidad 1 y 3 mientras que el 48 para la localidad2, siendo el 256 el más estable. Por su capacidad de discriminar líneas con base en el valor "F" calculada el mejor probador para las variables Roya, Altura de planta, Acame de raíz y Relación mazorca planta fue MLS4-1 mientras que las variables Altura de Mazorca y Humedad el mejor probador fue la línea C.

Palabras clave: ACG, Línea x probador, SREG, Índices de selección.

VII. Literatura citada

- Arellano V J L, J Virgen V, I Rojas M, M A Avila P** (2011) H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 2:619-626.
- Barreto H J, J A Bolaños, H S Córdova., 1991.** Índice de Selección. Guía para la Operación del Software. Manual de Capacitación Regional. CIMMYT. Programa Regional Centroamérica y el Caribe, Guatemala, Guatemala.
- Bejarano, A. 2003.** Descripción y prueba del híbrido simple de maíz amarillo FONAIAP 1. *Agronomía Tropical.* 53 (4): 501-506.
- Castañón-Nájera, G., L. Latournerie-Moreno y M. Mendoza-Elos** (2005). Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Universidad y Ciencia* 21: 27-35
- Copeland L O, M B McDonald**(2001) *Principles of Seed Science and Technology.* 4th ed. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, USA. 467 p.
- Espinosa A, M Sierra, N Gómez** (2003) Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía. Mesoamericana.* 14:117-121.
- Fan X M, J Tan, H M Chen, J Y Yang** (2003). Heterotic grouping for tropical and temperate maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica* 48:251-257.
- Garces J, Vargas J.** Confrontación de dos métodos de selección para carne y leche en un hato de ganado cruzado. Medellín. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1996;111 p
- Gómez M.,N., A. Ramírez F, A. Aguilar J. y J.L. Ramírez D.** 2002. Identificación de un nuevo probador de maíz para la región del trópico seco. *In: Memoria del 19° Congreso Nacional de Fitogenética; Notas científicas.* SOMEFI. Kato Y. T.A. Ortega P. R., Molino M.J., Rincón S.F., V.A., Córdova T.L., Estrada G.A. y Mejía C.A (eds). Chapingo, México. Pg136

- Gleenys Alejos, Pedro Monasterio y Ramón Rea.** Análisis de la interacción genotipo -ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela 2006. *Agronomía Trop.* 56(3): 369-384.
- Gutiérrez del R., E., Espinoza B., A., Palomo G., A., Lozano G., J.J., Antuna G, O.** 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 27 (Núm. Especial 1):7-11.
- Lobato O R, J M Galán, J J L Reynoso, J A. Contreras, D R López.** Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano de líneas autofecundadas de maíz. *Agrociencia* [online]. 2010, vol.44, n.1, pp. 17-30. ISSN 1405-3195.
- Lobato O.R., Molina G. D., López R. J. y Mejía C. J. A** 2002. Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general en líneas de maíz. *In: Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo. Coah. México.* P.129
- Narro, L., S. Pandey, J. Crossa, C. De Leon, and F. Salazar.** 2003. Using line X tester interaction for the formation of yellow maize synthetics tolerant to acid soils. *Crop Sci.* 43: 1718-1728
- Okoye, M. N., C. O. Okwuagwu, and M. I. Uguru.** 2008. Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *J. Appl. Biosci.* 8(1): 288-303.
- Paliwal R.L.** 2001. El maíz en los trópicos., Mejoramiento y producción. Departamento de agricultura organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). (en línea). Disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/X7650S/x7650s15.htm
- Pavan R, H. C. Lohithaswa, M. C. Wali, Gangashetty Prakash and B. G Shekara.** Genetic Analysis of Yield And Its Componet Traits In Maize (Zea Mayz.L) *Plant Archives* Vol. 11 No.2, 2011 pp. 831-835
- Preciado, O.R.E., Terrón I., A.D., Gómez M., N.O., Robledo G., E.I.** 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16:145-151.
- Rashid, M A C and ashraf.** 2007 Line x tester analysis in basmati rice Pak. *J. Bot.*, 39(6): 2035-2042.

Sámamo G. D y De León C. H (2003). Efectos de aptitud combinatoria en dos poblaciones de maíz adaptadas al Bajío. Informe de resultados de investigación, UAAAN, (en línea). Disponible.

<http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/maíz/efectapt.pdf>

Sharma R. C. and E. Duveiller., 2003. Selection index for improvig helminthosporium leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. *Crop. Sci.* 43:2031-2036.

Sierra M., M; Palafox C., A; CaballeroF., S y 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

Soengas P, B Ordás, R A Malvar, P Revilla, A Ordás 2003. Performance of Flint maize in crosses with testers from different heterotic groups. *Maydica* 48:85-91.

Torres, F. J. L. 2008. Comportamiento de híbridos triples de maíz de diferentes zonas ecológicas en los Valles Altos de México. 54 Reunión anual PCCMCA, San José, Costa Rica del 14 al 18 de Abril.

USDA. United States Department Of Agriculture. 2009. National nutrient database for standar reference. Available from :
<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Accessed Sept and Oct 2009.

Welcker, C., C. The, B. Andreau, C. de Leon, S. N. Parentoni, J. Bernal, J. Felicite, C. Zonkeng, F. Salazar, L. Narro, A. Charcosset, and W. J. Horst. 2005. Heterosis and combining ability for maize adaptation to tropical acid soils: implications for future breeding strategies. *Crop Sci.* 45: 2405-2413.

Yan, W., and J. B. Holland. 2010. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica* 171: 355-369.

Yáñez, C. L. F., 2005. Índices de selección: sugerencias para su utilización. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Págs. 107-110.

VIII. APÉNDICE

Cuadro. A.1 Genealogía de líneas

LÍNEAS	GENEALOGÍA
1	(M13 x 43-46-2-3-2)-1
2	(M13 x 43-46-2-3-2)-10
3	(M13 x 43-46-2-3-2)-18
4	(M15 x CML-11-3)-18
5	(M15 x CML-11-3)-19
6	(M15 x E-195-5)-6
7	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-17
8	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-2
9	(M21 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-9)-3
10	(M35 x 351-296-1-6-A)-18
11	(M35 x 351-296-1-6-A)-2
12	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-11
13	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-19
14	(M42 x 255-18-19N-14-1-A-4-2-A-7)-4
15	(M42 x E-195-3)-12
16	(M7 x 351-296-1-6-A)-18
17	(M7 x 351-296-1-6-A)-8
18	(M7 x 351-296-1-6-A)-9
19	(M7 x 43-46-2-3-2)-11
20	(M7 x 43-46-2-3-2)-2
21	(M7 x 43-46-2-3-2)-3
22	(M7 x 43-46-2-3-2)-6
23	(M7 x 43-46-2-3-2)-7
24	(M7 x 43-46-2-3-2)-9
25	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-13
27	((M13xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-15
28	((M15xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-20
29	((M16xE-197) x E-197-1)-19
30	((M16xE-197) x E-197-1)-3
31	((M16xE-197) x E-197-1)-6
32	((M16xE-197) x E-197-1)-9
33	((M16xE-197) x E-197-6)-17
34	((M16xE-197) x E-197-6)-18
35	((M16xE-197) x E-197-6)-5
36	((M16xE-197) x E-197-6)-9
37	((M1xE-197) x E-197-6)-13
38	((M1xE-197) x E-197-6)-6
39	((M1xE-197) x E-197-6)-9

LÍNEAS	GENEALOGÍA
40	((M27xE-197) x E-197-6)-18
41	((M27xE-197) x E-197-6)-3
42	((M29xE-197) x E-197-6)-2
43	((M29xE-197) x E-197-6)-20
44	((M31xE-197) x E-197-6)-1
45	((M31xE-197) x E-197-6)-17
46	((M31xE-197) x E-197-6)-18
47	((M32xE-197) x E-197-6)-15
48	((M32xE-197) x E-197-6)-6
49	((M32xE-197) x E-197-6)-8
50	((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-16
51	((M41xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A)-17
52	((M4xE-197) x E-197-6)-10
53	((M4xE-197) x E-197-6)-2
54	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-10
55	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-11
56	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1)-3
57	((M7xE-197) x E-197-6)-15
58	((M7xE-197) x E-197-6)-2
59	((M7xE-197) x E-197-6)-6
60	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-15
61	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-4
62	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2)-7
63	((M9xE-197) x E-197-6)-2
64	((M9xE-197) x E-197-6)-20
65	((M15xPN-311-2-A-3-6) x M15)-18
66	((M15xPN-311-2-A-3-6) x M15)-9
67	((M16xE-195) x M16)-1
68	((M16xE-195) x M16)-16
69	((M16xE-197) x M16)-19
70	((M16xE-197) x M16)-3
71	((M22xE-197) x M22)-15
72	((M22xE-197) x M22)-20
73	((M27xE-197) x M27)-2
74	((M27xE-197) x M27)-5
75	((M29xE-197) x M29)-3
76	((M29xE-197) x M29)-6
78	((M7xE-197) x M7)-20
79	((M7xE-197) x M7)-5
80	((M7xV524) x M7)-10

LÍNEAS	GENEALOGÍA
81	((M7xV524) x M7)-12
82	((M7xV524) x M7)-15
83	((M7xV524) x M7)-17
84	((M7xV524) x M7)-7
87	((M15xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A) X PN-311-2-A-3-6-A
88	((M16xE-195) x E-195-3) x E-195-3
89	((M16xE-197) x E-197-1) x E-197-6
91	((M1xE-197) x E-197-6) x E-197-6
92	((M21xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-6-A) X PN-311-2-A-3-6-A
97	((M47xPN-311-2-A-3-6) x PN-311-2-A-3-5-A) x PN-311-2-A-3-6-A
98	((M4xV524-4119HC-43-3-2-4) x V524-4119HC-43-3-2-4-1) X V524-4119HC-218-3-2
99	((M7xE-197) x E-197-6) x E-197-6
100	((M7xV524-4119HC-218-3 x V524-4119HC-218-3-2) X V524-4119HC-218-3-2
101	((M9xE-197) x E-197-6) x E-197-6
102	(M4xE-197) x E-197-6 x E-197-6
107	((M15xPN-311-2-A-3-6) x M15) x M15
108	((M16xE-195) x M16) x M16
109	((M16xE-197) x M16) x M16
111	((M22xPE-115-3-1-11) x M22) x M22
113	((M42xPE-212-1) x M42) x M42
114	((M9xE-197) x M9) x M9

Cuadro A.2 Descripción de híbridos con sus respectivos progenitores

H	L	P	H	L	P	H	L	P	H	L	P	H	L	P
3	1	3	78	21	4	148	42	3	220	62	4	295	83	3
4	1	4	79	21	3	149	42	4	221	62	3	296	83	4
8	2	4	81	22	3	152	43	3	224	63	4	299	84	3
9	2	3	82	22	4	153	43	4	225	63	3	300	84	4
12	3	3	84	23	3	156	44	3	228	64	4	311	87	3
13	3	4	85	23	4	157	44	4	229	64	3	312	87	4
15	4	3	87	24	3	160	45	3	232	65	4	315	88	3
16	4	4	88	24	4	161	45	4	233	65	3	316	88	4
20	5	4	91	25	3	163	46	3	236	66	4	319	89	3
21	5	3	92	25	4	164	46	4	237	66	3	320	89	4
23	6	3	96	27	3	165	47	3	239	67	3	327	91	3
24	6	4	97	27	4	166	47	4	240	67	4	328	91	4
27	7	3	98	28	3	169	48	3	242	68	3	331	92	3
28	7	4	99	28	4	170	48	4	243	68	4	332	92	4
31	8	3	101	29	3	173	49	3	246	69	3	349	97	3
32	8	4	102	29	4	174	49	4	247	69	4	350	97	4
34	9	3	105	30	3	178	50	4	248	70	3	354	98	4
35	9	4	106	30	4	179	50	3	249	70	4	355	98	3
38	10	3	109	31	3	180	51	3	251	71	3	357	99	3
39	10	4	110	31	4	181	51	4	252	71	4	358	99	4
41	11	3	113	32	3	184	52	4	255	72	3	360	100	3
42	11	4	114	32	4	185	52	3	256	72	4	361	100	4
45	12	4	117	33	3	187	53	3	258	73	3	364	101	3
46	12	3	118	33	4	188	53	4	259	73	4	365	101	4
48	13	3	120	34	3	191	54	4	261	74	3	368	102	3
49	13	4	121	34	4	192	54	3	262	74	4	369	102	4
52	14	3	124	35	4	194	55	4	265	75	3	385	107	3
53	14	4	125	35	3	195	55	3	266	75	4	386	107	4
56	15	3	127	36	3	197	56	3	269	76	3	389	108	3
57	15	4	128	36	4	198	56	4	270	76	4	390	108	4
60	16	3	131	37	3	201	57	3	277	78	4	393	109	3
61	16	4	132	37	4	202	57	4	278	78	3	394	109	4
64	17	3	135	38	4	206	58	4	280	79	3	399	111	4
65	17	4	136	38	3	207	58	3	281	79	4	400	111	3
67	18	3	138	39	3	210	59	4	284	80	3	404	113	4
68	18	4	139	39	4	211	59	3	285	80	4	405	113	3
71	19	3	141	40	3	213	60	4	288	81	4	408	114	3
72	19	4	142	40	4	214	60	3	289	81	3	409	114	4
74	20	4	144	41	3	216	61	3	291	82	3			
75	20	3	145	41	4	217	61	4	292	82	4			

H= Híbrido, L=Línea, P=Probador.