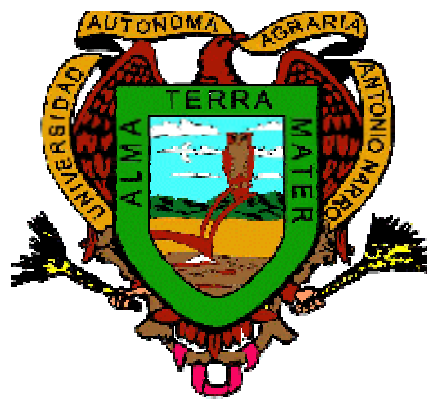


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS



**INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE EN HÍBRIDOS
EXPERIMENTALES DE MAÍZ PARA GRANO**

POR

ADRIAN SANCHEZ DIAZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TITULO DE:**

INGENIERO EN AGROECOLOGIA

TORREON COAHUILA

MARZO 2009

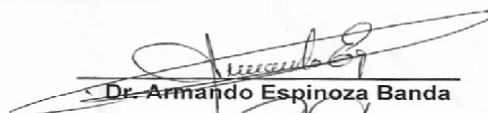
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TESIS DEL C. ADRIAN SANCHEZ DIAZ TESIS ELABORADA BAJO
LA SUPERVISION DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

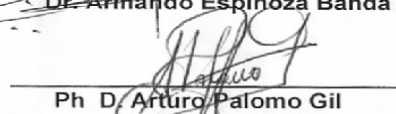
INGENIERO EN AGROECOLOGIA

APROBADA POR:

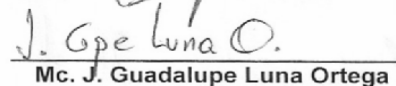
Asesor principal:


Dr. Armando Espinoza Banda

Asesor:


Ph. D. Arturo Palomo Gil

Asesor:


Mc. J. Guadalupe Luna Ortega

Asesor:


Mc. Luz M. Patricia Guzmán Cedillo

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS


MC. Victor Martínez Cueto



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
MARZO 2009

TORREON COAHUILA, MEXICO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TESIS DEL C. ADRIAN SANCHEZ DIAZ QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DE H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:


INGENIERO EN AGROECOLOGIA

COMITÉ PARTICULAR:

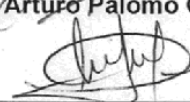
Presidente:


Dr. Armando Espinoza Banda

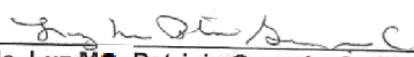
Vocal:


Dr. Arturo Palomo Gil

Vocal:


MC. Cesar Guerrero Guerrero

Vocal Suplente:


Mc. Luz Ma. Patricia Guzmán Cedillo

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS


MC. Víctor Martínez Cueto



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
MARZO 2009

TORREON COAHUILA, MEXICO

DEDICATORIAS

A DIOS:

Primeramente por concederme el privilegio de hacer realidad mis sueños, porque sin él, nada de lo que es, hubiera sido, gracias por la sabiduría y el entendimiento que tú me diste para poder realizar mis estudios.

A MIS PADRES TIMOTEO SANCHEZ MONTEJO Y MARIA DIAZ ARCOS:

Gracias por su apoyo incondicional, amor, confianza, su ejemplo a seguir y sus consejos que me han brindado, sin nada a cambio, durante el transcurso de mi carrera, sin importarles sus desvelos, esfuerzos y sacrificios. Para poder alcanzar este triunfo.

A MI ESPOSA CANDELARIA SANTIAGO HERNÁNDEZ:

Gracias por aquellos momentos tan hermosos que he pasado a tu lado, tu cariño, amor, calor, confianza, comprensión, paciencia, tus buenas intenciones, por aceptarme tal como soy y por darme un hermoso y lindo bebé. (Te amo chiquita).

A MI HIJO EDDIE SANCHEZ SANTIAGO:

Eres el motivo de mis esfuerzos, la razón por la cual sigo adelante buscando un mejor futuro. (Te quiero mucho hijo).

A MIS HERMANOS TOMAS, MARCO ANTONIO Y HENRY YOBANI:

Gracias por el apoyo que me han brindado directa e indirectamente, que me han sido de gran utilidad durante la realización de esta etapa de mi vida profesional ¡GRACIAS CARNALITOS!

A MIS ABUELOS PASCUAL DIAZ, MIGUEL SANCHEZ, ANITA ARCOS E ISABELA MONTEJO:

Gracias por esos sabios consejos, por ese cariño, por la confianza que depositaron en mí y el ánimo que me ha impulsado para poder concluir una etapa más de mi vida

A MIS TIOS, PRIMOS Y AMIGOS:

Por su amistad y por sus experiencias que me han servido durante mi estancia en la Universidad.

AMIS CUÑADOS(AS):

Por haber compartido sus conocimientos, experiencias y habilidades.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: Por darme la vida y los conocimientos necesarios para culminar esta privilegiada carrera.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna**, por la oportunidad que me brindó durante mi estancia y preparación profesional.

A mis Padres

Por el amor y apoyo que me han brindado incondicionalmente a lo largo de toda mi vida y por la confianza que depositaron en mi durante mis proyectos y metas.

A mis Asesores

Dr. Armando Espinoza Banda
Dr. Arturo Palomo Gil
MC. J. Guadalupe Luna Ortega
MC. Cesar Guerrero Guerrero
MC. Luz Ma. Patricia Guzmán Cedillo
MC. Oralia Antuna Grijalva

Por brindarme el apoyo necesario para que pudiese concluir el presente trabajo de tesis y por el tiempo dedicado a la elaboración de la misma.

Al Departamento de Agroecología

Por el apoyo, conocimientos, experiencias compartidas y motivaciones que me han dado fuerzas para seguir adelante.

A mis compañeros de generación

Faustino Santiago Ramirez
Juan Pablo García Cueto
Alexander Gómez Gutiérrez
Claribel Guzmán Roblero
David Antonio Ruiz Hernández
Juan Alfonso Gurrola Villa

Gracias por su amistad, conocimientos, experiencias y por saber escucharme y comprenderme en algunos momentos difíciles de mi vida.

Porque Jehová da la sabiduría y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia. Pr. 2:6

INDICE DE CONTENIDO

Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
INTRODUCCION	1
II OBJETIVO	3
1.2 Hipótesis	3
III REVISION DE LITERATURA	4
3.1 Interacción planta-ambiente	10
3.2 Factores climáticos que afectan el rendimiento del maíz grano	10
3.3 Efectos del sol y la temperatura	10
3.4 Producción de maíz en el mundo	11
3.5 Rendimiento y producción de Grano en México	11
3.6 Producción de maíz en la Comarca Lagunera, México	12
3.7 Producción de maíz en Aguascalientes, Aguascalientes	13
IV MATERIALES Y METODOS	14
4.1 Localización Geográfica	14
4.2 Material Genético	15
4.3 Diseño experimental	15
4.4 Modelo estadístico	15
4.5 Manejo Agronómico	16
4.5.1 Fertilización	16
4.5.2 Riego	16
4.5.3 Control de maleza	16
4.5.4 Control de plagas	16
4.5.5 Cosecha	17
V RESULTADOS Y DISCUSION	18
VI CONCLUSIONES	22
VII RESUMEN	23
VIII BIBLIOGRAFIA	24

INDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Sistema de apareamiento	15
Cuadro 5.1. Análisis de varianza combinado AMMI	19

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dispersión de rendimiento de 144 híbridos simples en función del componente 1 evaluados en tres localidades 21

I. INTRODUCCION

El maíz, (*Zea mays* L.), es una especie monocotiledónea anual, perteneciente a la familia de las poáceas (gramíneas). A diferencia de los demás cereales, es una especie monoica, lo que significa que sus inflorescencias, masculina y femenina, se ubican separadas dentro de una misma planta; esto determina además que su polinización sea fundamentalmente cruzada.

El maíz constituye el alimento básico de varios cientos de millones de personas en el mundo en desarrollo. El maíz a nivel mundial, especialmente en los países industrializados, es empleado básicamente como materia prima en muchos procesos industriales, obteniéndose de este no solo productos comestibles sino también una amplia gama de subproductos que van desde almidones hasta ácidos químicos y combustibles.

En México el maíz es ampliamente cultivado por su aportación nutrimental en la dieta de la población consumiéndose principalmente como grano seco procesado y en estado fresco. México es el cuarto productor mundial de este cereal. Se estima que en la actualidad la producción de maíz ha alcanzado los 22 millones de toneladas.

En la comarca lagunera se han sembrado hasta 60 mil hectáreas de maíz para grano y forraje, el maíz forrajero ocupa un lugar importante dentro del patrón de cultivos por el alto rendimiento energético que aporta en las raciones del ganado bovino lechero. El maíz es considerado como uno de los forrajes más importantes debido a su alta producción energética, y palatabilidad.

La comarca Lagunera, a nivel nacional, es una de las cuencas lecheras más importantes, donde se siembran aproximadamente, 24 000 has de maíz forrajero, y el 90 por ciento aproximadamente se siembra con híbridos comercialmente para grano de compañías multinacionales desarrollados para otras regiones del país, por

lo general se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad de forraje, por lo que un alto porcentaje de mazorca a un alto índice de cosecha favorece los incrementos en la calidad de forraje.

Las condiciones ecológicas de la Comarca Lagunera representan contrastes en cuanto a temperaturas (máximas y mínimas), precipitación y tipo de suelo por lo que es importante valorar el efecto que pueden tener estas condiciones en el rendimiento de granos. La manifestación genotípica de las plantas dependen en gran parte del medio que las rodea, la presencia de interacciones entre estos factores en general hacen difícil el logro y la medida de los avances genéticos en la selección de líneas y la prueba de materiales (Kang y Millar, 1984).

II. OBJETIVO

2.1 Estimar el efecto de la interacción genotipo–ambiente e identificar los genotipos con mayor rendimiento y estabilidad.

2.2 Hipótesis

Ho: Las cruzas interaccionan con el ambiente

Ha: Las cruzas no interaccionan con el ambiente

III. REVISION DE LITERATURA

La interacción genotipo-ambiente constituye una fuente de variación de importancia en la adaptación del material genético y de su análisis se pueden llegar a producir técnicas que permitan seleccionar genotipos con amplitud de adaptación, o localizar áreas geográficas en las cuales la adaptabilidad de ciertas variedades sea mejor.

Elliot (1964) comenta que la medición de la interacción genotipo medioambiente ($G \times A$), es esencial para diseñar eficientemente programas de mejoramiento genético y manejo agronómico de los cultivos. Esto proporciona información acerca de la estabilidad fenotípica de los caracteres de la planta al enfrentarse a diferentes condiciones ambientales.

Elliot (1964) señala que el estudio de la interacción genotipo medioambiente permite conocer la estabilidad del comportamiento agronómico de los distintos genotipos. Normalmente es conveniente que no haya interacción genotipo medioambiente especialmente para las características morfológicas y fenológicas. Al no existir interacción se incrementa la heredabilidad y por lo tanto la selección es efectiva en todos los ambientes evaluados.

Yang y Becker (1991) mencionan que la interacción genotipo por ambiente ($G \times A$), es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, cambiando el ranking de los fenotipos, demostrándose que una gran interacción genotipo por ambiente reduce el progreso genético durante la selección.

Falconer (1983); Allard (1967) comentan que la interacción genotipo – medioambiente es cero cuando todos los genotipos se comportan de la misma manera en todos los medios ambientes.

Nevado y Ortiz (1985) señalan que en un programa de mejoramiento es importante repetir un ensayo en diferentes ambientes (épocas, localidades, años, etc.), según el objetivo de la investigación se puede obtener la interacción genotipo-ambiente, hacer recomendaciones agronómicas para una determinada zona, estudiar la estabilidad de respuesta de los cultivares, etc.

Contreras y Krarup (2000) mencionan que el conocimiento de la magnitud de la interacción entre el genotipo y el ambiente permite evaluar la estabilidad de los cultivares en una gama de ambientes donde se desean introducir. También permite evaluar los potenciales productivos y las posibles limitaciones de estos en cada localidad.

Castro (2004) señala que cuando se evalúan genotipos en un conjunto de ambientes es normal observar cambios en el comportamiento relativo de éstos en los diferentes ambientes. Esta respuesta diferencial es denominada interacción genotipo ambiente (IGA) y puede ser estudiada, descrita e interpretada mediante herramientas estadísticas. Esta interacción puede ser explicada en términos de diferencias entre genotipos en: a) la captura de recursos, la eficiencia en su uso o el patrón de partición del rendimiento económico, o b) el escape o la resistencia/tolerancia/susceptibilidad a los riesgos presentes en el ambiente.

La IGA puede ser una fuente de error en la determinación de un genotipo, y por tal razón los mejoradores tratan en general de limitar su incidencia.

Viorel (1977) comenta que en su trabajo referente a la interacción, se debe considerar la interacción genotipo-ambiente con objeto de obtener formas que manifiesten no solamente la mas alta productividad para una determinada zona, si no también el comportamiento mas constante en la producción. El material de mejora se debe probar en varias localidades y años, seleccionándose las formas mas adaptados.

Márquez (1985) menciona que el problema de la interacción genotipo ambiente en México reviste una mayor importancia que en otros países, por sus condiciones naturales y por sus características socioeconómicas. Es conocida la diversidad ecológica de la república, sin necesidad de recorrer grandes distancias en ocasiones para cambiar repentinamente de un ambiente a otro.

Márquez (1988) define a la interacción genotipo-ambiente como “el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes medios ambientales”.

Yue *et al.* (1997) señalan que la interacción de cultivares con los factores ambientales (sitios, año de plantación, tipo de suelo, nivel de tecnología usado, etc.), es de gran importancia para los agricultores y en los programas de mejoramiento de plantas. Los efectos que los cultivares y el ambiente ejercen sobre la interacción cultivar-ambiente son estadísticamente no aditivos.

Esto indicaría que las diferencias en productividad entre cultivares dependerá del ambiente en el cual están siendo cultivados.

Palomo (1976) menciona que cuando un grupo de variedades es evaluado en un único ambiente, las diferencias observadas entre las variedades se confunden con las diferencias debidas a los efectos de la interacción genotipo-ambiente. De aquí que al efectuar recomendaciones respecto a la mejor variedad para una determinada región, sea necesario el evaluar las variedades en una muestra adecuada de los ambientes que probablemente sean encontrados en distintas localidades y ciclos agrícolas.

Kang y Miller (1984) mencionan que el comportamiento desigual de genotipos en diferentes ambientes (interacción genotipo x ambiente, G x A) en ensayos de rendimiento es un reto para los fitomejoradores. La interacción G x A ha mostrado que reduce el progreso en la selección y complica la identificación de cultivares superiores en ensayos regionales.

Tai (1971) mencionan que existen dos posibilidades para el desarrollo de variedades con baja interacción genotipo por ambiente: subdividir las áreas en regiones relativamente homogéneas donde los genotipos requieran adaptación específica, o bien generar materiales de gran estabilidad con comportamiento adecuado en una amplia gama de ambientes.

Vencovsky y Barriga (1992) señalan que la magnitud de la interacción G x A es estimada mediante el análisis de varianza conjunto de grupos de experimentos, repetidos en diferentes localidades y años. El estudio de la variabilidad fenotípica y genética de poblaciones naturales es de gran importancia para definir los materiales que serán utilizados en programas mas específicos de mejoramiento vegetal.

Córdova (1989) comenta que los fitomejoradores frecuentemente enfrentan un problema de gran magnitud cuando seleccionan en presencia del fenómeno de interacción genotipo-ambiente (G x A). Para evitar esta interferencia se han diseñado modelos de estabilidad que contribuyen a disminuir el riesgo involucrado en la selección al realizar estimaciones empíricas imperfectas.

Vencovsky y Barriga (1992) mencionan que a pesar de la diversidad de modelos estadísticos comúnmente empleados para el análisis de la interacción Genotipo x Ambiente, todos tienen en común la aditividad de los efectos que la componen. Todos los modelos son también lineales en sus parámetros, lo que significa que las diferencias genéticas y ambientales contribuyen independientemente, unas de otras, para la variación fenotípica.

Sin embargo, muchos autores señalan que es necesario considerar la interacción de los genotipos en los diferentes ambientes, el modo como tal interacción puede ocurrir y el como puede ser detectada, medida y evaluada.

Solano (1998) menciona que la interacción genotipo ambiente exige la realización de estudios adicionales con el propósito de atenuar sus efectos. Por este

motivo la selección de material utilizando sólo el rendimiento medio es inadecuado, debido a que ignora completamente la consistencia del comportamiento.

Guillermo *et al.* (2000) mencionan que los efectos de la interacción genotipo ambiente pueden utilizarse para clasificar variedades o genotipos en general y para clasificar ambientes. Cervantes (1992) de su estudio realizado en 1979 con 25 razas de maíz y las F1 de estas, reporta que el agrupamiento de los padres mantuvo cierta relación con la altitud de distribución en forma natural de ellos, pero con cierta asociación en relación a su parentesco ancestral.

Alejos *et al.* (2006) mencionan que para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares, generados de los programas de mejoramiento genético, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de los ambientes. Para la evaluación es necesario conocer la Interacción genotipo ambiente (G x A). La interacción G x A es frecuentemente descrita como la inconsistencia del comportamiento entre genotipos desde un ambiente a otro, y cuando ésta ocurre en gran proporción reduce el progreso genético de la selección.

Mora *et al.* (2007) señalan que el conocimiento de la magnitud de la interacción entre el genotipo y el ambiente permite evaluar la estabilidad de los cultivares en diversos ambientes donde se desean introducir. También permite evaluar los potenciales productivos y las posibles limitaciones de éstos en cada localidad. La interacción de cultivares con los factores ambientales es de gran importancia para los agricultores y en los programas de mejoramiento de plantas. Los efectos que los cultivares y el ambiente ejercen sobre la interacción cultivar-ambiente son estadísticamente no aditivos. Esto indicaría que las diferencias en productividad entre cultivares dependerá del ambiente en el cual están siendo cultivados.

Mendoza *et al.* (2006) mencionan que la selección de genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente, ha sido uno de los principales objetivos en los programas de mejoramiento. La evaluación de genotipos a través de

distintos ambientes, principalmente en ambientes contrastes, es una de las practicas mas usuales para la recomendación de nuevos materiales a los productores de una región o zona especifica.

La interacción Genotipo-Ambiente (IGA) ocurre cuando hay respuestas diferentes de los genotipos en relación con la variación del ambiente.

Gauch (1985; 1988) menciona que los métodos multivariados son apropiados para analizar matrices de doble entrada con G genotipos y E ambientes debido a que la respuesta de cualquier genotipo en E ambientes se puede concebir como patrón de respuesta en un espacio de E dimensiones. Quizás el modelo multivariado que más se usa es el análisis de componentes principales (PCA). Este, en combinación con el ANOVA, es conocido como AMMI.

Gauch (1985; 1988) y Zobel et al (1988) usaron ambos métodos por separado para analizar una serie de ensayos de soya.

Gauch (1988) usa el modelo AMMI con la determinación predictiva (validación) para analizar un ensayo regional de soya. Los resultados muestran que la mayoría de los patrones estructurales contenidos en los datos se recuperan en el primer componente principal (PCA1), mientras que la mayoría del ruido de los datos es capturado en el residual.

Crossa *et al.* (1990) encontraron que el mejor modelo predictivo para un ensayo para un ensayo internacional de 17 variedades de maíz en 36 ambientes era el AMMI. Si se grafica en el eje de las "x" los promedios de los genotipos y de ambientes, y en el eje de las "y" los valores de PCA1 para cada genotipo y ambiente.

3.1 Interacción planta-ambiente

INIFAP (1999) menciona que las elevadas temperaturas, en particular durante la floración, y el estrés hídrico simultáneo, la salinidad, la compactación, y el pH alcalino del agua y de los suelos, son factores adversos que contribuyen a disminuir el rendimiento del maíz y de otros cultivos, así como la productividad de los insumos utilizados. En el maíz, el déficit hídrico retrasa el desarrollo vegetativo y principalmente el desarrollo del jilote y emisión de estigmas, provoca asincronía floral, el aborto de embriones, deficiente polinización y la consecuente baja en el rendimiento.

3.2 Factores climáticos que afectan el rendimiento del maíz grano

CIMMyT (1991) menciona que el maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, aun esa cantidad de lluvia no es suficiente si la humedad no pueda ser almacenada en el suelo a causa de la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande a causa de las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa.

3.3 Efectos del sol y la temperatura

CIMMyT (1991) menciona que el maíz tolera una amplia gama de temperaturas (5 a 45 °C), pero las temperaturas muy altas o muy bajas pueden tener un efecto negativo sobre el rendimiento.

La luz solar intensa no suele dañar al cultivo a menos que éste también padezca estrés por temperatura o sequía. El cultivo es afectado cuando hay poca luz solar durante periodos prolongados de tiempo nublado, en particular si coinciden con la floración.

3.4 Producción de maíz en el mundo

NASS (2006) menciona que Estados Unidos es el principal productor con 299.9 Millones de toneladas, le sigue China con 128.0 Millones de toneladas, la Unión Europea con 53.1 M de t, Brasil con 39.5 M t, representando el 42.5%, 18.1%, 7.5% y el 5.6% de la producción mundial respectivamente; México para este año, produjo 22.0 Millones de toneladas, que representa el 3.1 %. En los Estados Unidos es el principal cultivo seguido de la soya; la superficie sembrada en 2005 fue de 81,759 miles de acres, con una producción de 147.9 búshels por acre, una producción total de 11, 112,072 miles de búshels con un valor de 21,040707 miles de dólares USA.

3.5 Rendimiento y producción de Grano en México

Wong *et al.* (2007) mencionan que en los años 80's, el maíz ocupó el tercer lugar mundial alimentario, con una producción anual superior a 500 millones de toneladas. A principios de este siglo el maíz ocupó el primer lugar en la producción mundial (609 181 620 t) al superar al arroz (*Oryza sativa L*) (592 831 326 t) y al trigo (*Triticum spp*) (582 691 612 t). Duvick y Cassman (1999), estimaron que la demanda global de maíz incrementara de 526 a 748 millones de toneladas entre 1993 y 2020.

Jugenheimer (1981) menciona que los híbridos deseables deben proporcionar consistentemente elevados rendimientos de grano, ensilaje, pastura verde o pienso. Los elevados rendimientos de los híbridos de maíz actuales son el resultado de buenas combinaciones de plantas de tamaño promedio.

SAGARPA (2002) menciona que en México, en el 2002 se sembraron 6,48 millones de hectáreas de maíz para grano con un rendimiento medio de 2,32 ton/ha y una producción de 13,02 millones de toneladas.

Torres *et al.* (2007) señalan que en México se siembra cada año alrededor de 8,5 millones de hectáreas de maíz, con un rendimiento promedio de $2,4 \text{ t ha}^{-1}$; la producción nacional por año es de 16 a 18 millones de toneladas, esta producción no es suficiente para alimentar a la población en el país, por lo que se tiene que importar anualmente de 6 a 8 millones de toneladas de grano para el consumo humano y animal, lo anterior es grave ya que señala que se recurre a la importación de más del 30% de grano de maíz para satisfacer las necesidades de este cereal.

SAGARPA (2008) menciona que la producción en México en el 2007 fue de 23, 512, 751.85 millones de toneladas de maíz grano con un rendimiento de 3.21 toneladas por hectárea. La producción del 2008 alcanzó los 25 millones de toneladas, y la producción por hectárea fue de 2.7 toneladas.

3.6 Producción de maíz en la Comarca Lagunera, México

SAGARPA (2006) menciona que en la comarca lagunera se siembran 7300 h de maíz bajo riego con rendimientos promedio de 3.6 t ha^{-1} y 23800 h de maíz forrajero con rendimientos de forraje fresco de 43.7 t ha^{-1} con un punto de equilibrio de 8.17 t ha^{-1} y 30.4 t ha^{-1} respectivamente, utilizando híbridos comerciales donde el costo de la semilla va del 17-20 % de los costos de producción. En temporal, con variedades de polinización libre, se reporta una superficie cosechada de 2400 h con una producción de 0.742 t ha^{-1} de grano.

SAGARPA (2008) menciona que en el año 2008, la Comarca Lagunera alcanzó una producción record de 3, 552.70 toneladas de maíz con rendimiento promedio de 3.82 t ha^{-1} .

3.7 Producción de maíz en Aguascalientes, Aguascalientes

Ramos *et al.* (2006) mencionan que en Aguascalientes, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en cuanto a la superficie sembrada. En el año 2004 el cultivo de maíz presento una superficie sembrada de 19, 328 hectáreas para la producción de grano y forraje. Del total del valor de la producción expresado en términos de dinero, el cultivo de maíz apporto \$ 198´020,202 millones de pesos. Estos datos confirman que el cultivo de maíz para la producción de grano y forraje es estratégico y de gran importancia para el Estado.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó durante el año 2007 en dos ambientes de la Comarca Lagunera y una en el estado de Aguascalientes.

4.1. Localización Geográfica y Características de la Comarca Lagunera.

La Comarca Lagunera se localiza geográficamente entre los 24° 30' 27" de latitud norte y entre los 102° 104' 40" de longitud oeste, a una latitud de 1,120 msnm. Su clima se clasifica como muy seco con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, además cuenta con temperaturas semicálidas con inviernos benignos.

Su Clima es desértico con lluvias en verano y temperatura caliente. Tiene una temperatura media anual de 21 °C y una media de 27 °C para el mes más caluroso. La Precipitación media anual es de 220mm (INEGI 2000).

Localización geográfica y características de la Niágara, Aguascalientes, Ags.

El Ejido Niágara está situado en la región occidental de la Altiplanicie Mexicana, en las coordenadas 21° 53" de latitud norte, 102° 18" de latitud oeste a una altura de 1,870 metros sobre el nivel del mar. El clima es semiárido templado, con una temperatura media anual de 17°C, registrándose las más altas temperaturas en los meses de abril, mayo y junio, y las más bajas en los meses de septiembre, enero y febrero. El suelo es de tipo migajón arenoso. La precipitación pluvial es de 526 milímetros, con lluvias abundantes en verano y poca intensidad el resto del año. Los vientos dominantes son alisos en dirección sureste-noreste durante el verano y parte del otoño (INEGI 2001).

4.2 Material Genético. Se utilizaron 144 híbridos experimentales, derivados de la cruce entre 12 progenitores hembra y 12 machos en un sistema de apareamiento tal como se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Sistema de apareamiento

Hembras					
M a c h o s		1	2	12
	13	1x13	2x13	12x13
	14	1x14	2x14	12x14
	.				
	.				
	24	1x24	2x24	12x24

4.3 Diseño experimental. Bloques completos al azar, con dos repeticiones y 144 genotipos. La parcela experimental consto de un surco de 2m de largo por 0.75m de ancho.

Siembra. La siembra se realizó para la localidad Torreón-1 el 23 de marzo, el 20 de julio para Torreón 2 y Aguascalientes el 19 de mayo, de manera manual, en surcos de 2 m de largo y 0.75 m de ancho depositando 1 semilla cada 5 cm aproximadamente; después de la siembra a los 30 días se hizo un aclareo dejando 6 plantas por metro lineal (16.6 cm entre plantas), es decir, 24 plantas por parcela útil, para obtener una población aproximada de 85,000 plantas por hectárea.

4.4 Modelo estadístico. Para el análisis de la interacción GxA, se utilizó el modelo propuesto por Gauch, (1985) denominado AMMI, el cual descompone la interacción en nuevas variables denominadas componentes principales.

Interpretación. El modelo AMMI facilita la interpretación a través de un gráfico denominado “BILOT” que se construye con base a los valores del componente con

mayor varianza y el rendimiento de grano, tanto para genotipos como para localidades. El análisis estadístico se realizó con el paquete SAS (SAS Institute, Inc.; SAS. B. 1988).

4.5 Manejo Agronómico

4.5.1 Fertilización

Se fertilizó con la formula 180-100-00 aplicando el 50 por ciento del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno al momento de cultivar.

4.5.2 Riego

La aplicación del riego se realizo con cintilla, procurando mantener un buen nivel de humedad durante el ciclo vegetativo del cultivo.

4.5.3 Control de maleza.

El control de maleza se realizó por el método manual; haciendo un deshierbe en el momento de presentarse las primeras malas hierbas. Consecutivamente, al efectuarse la escarda se eliminó parte de la maleza existente, así mismo se procuro el aporcado del cultivo, después se eliminó el resto de la maleza.

4.5.4 Control de plagas

Los insectos más comunes que se presentaron fueron el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la pulga negra (*Chaetocnema pulicaria*) los cuales se combatieron de manera manual utilizando insecticida a base de Cipermetrina, con nombre comercial Rostov, a una dosis de 1 L ha⁻¹ para la primera y en el caso de la pulga negra se utilizó clorpirifós (Lorsban 480), un concentrado emulsionable, utilizando 1 L/ha, haciendo la aplicación de manera manual.

4.5.5 Cosecha

La cosecha se hizo cuando el grano presento un estado maduro y seco; se tomaron 3 muestras de cada parcela y posteriormente la evaluación de los híbridos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 5.1 (ANOVA) se presentan la significancia de los cuadrados medios de Ambiente(A), Genotipo (G) y la interacción A x G evaluadas. Se observa que para la Fuente de Variación (FV), Ambiente (A), Genotipo (G) y A x G fueron altamente significativas.

Lo anterior se atribuye a las diferencias ambientales propias de cada región, Por su ubicación geográfica y donde al menos las temperaturas medias anuales difieren de 21 °C y de 27° C para el mes más caluroso para ambos ambientes (INEGI 2002; INIFAP 1999; CIMMyT 1991).

Con relación a la interacción AxG, indica que los genotipos (híbridos) respondieron significativamente de manera diferente en los ambientes de prueba, por lo que es pertinente analizar la forma en que los genotipos interactúan con los ambientes.

La descomposición del efecto interacción (AxG) a través del modelo AMMI en dos componentes permite analizar el comportamiento de los genotipos en los ambientes de prueba.

En el ANOVA del AMMI (Cuadro 5.1) se observa que la varianza de la interacción la particionó en dos componentes (CP1 y CP2) los cuales fueron altamente significativos. El CP1, acaparó el 56.9 % en tanto que el CP2 se llevó el 43.1%. De acuerdo a lo anterior es posible generar un gráfico que muestre la dispersión tanto de genotipos y ambientes utilizando el componente de mayor varianza y en rendimiento medio de los genotipos.

Cuadro 5.1. Análisis de varianza combinado utilizando el modelo AMMI.

FV	GL	SC(x10⁷)	CM(x10⁶)	Fc
Repetición	1	0.16	1.6	1.83
Ambiente (A)	2	959.2	4796.1	5259.2**
Genotipo (G)	143	142.5	9.9	10.9**
AxG	286	265.5	9.2	10.2**
CP1	144	151.2	10.5	11.5**
CP2	142	114.4	8.1	8.8**
Error	431	39.3	0.9	
Total	863	1406.8		
CV (%)	8.70			
Media(Kg/ha)	10 973.98			

FV: Fuente de variación, GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio y Fc: Factor de corrección.

En la figura 1, se presenta la dispersión de los genotipos y localidades respecto al CP1 y el rendimiento de grano. Respecto al eje del rendimiento, se observa que separa a los genotipos con mayor y menor rendimiento. Así, las localidades con mayor rendimiento promedio fueron Torreón-1 y 2, no así la localidad Aguascalientes (Ags). Respecto a la posición en el gráfico, la localidad Torreón-1 (Torr-1) además de mostrar buen potencial de rendimiento, se encuentra cercano al cero (0) en la escala del CP1, por lo tanto se asume que las condiciones ambientales que prevalecieron en esa localidad fueron más favorables al desarrollo de los híbridos evaluados. En otras palabras que en esta localidad fue menor el efecto de la interacción.

Contrario a lo anterior se observa la posición de la localidad Torreón-2 (Torr-2), que aún cuando presentó un buen rendimiento (12 154.7 kg/ha), su posición en el gráfico muy distante respecto al eje del CP1 (>120) indica que los híbridos interaccionaron en mayor grado por efecto de las condiciones ambientales que se presentaron.

En contraste con las anteriores, la localidad de Ags, presentó el menor rendimiento de grano (6 432.9 kg) y al igual que a localidad Torr-2, se ubicó en una posición distante del cero (0) del CP1, con un valor >-100 , por lo que se infiere que en ésta localidad prevalecieron condiciones ambientales y/o de manejo que incidieron en un fuerte efecto de interacción.

Híbridos. Los híbridos en general se distribuyeron en los cuatro sectores del gráfico. En el eje del rendimiento separó a los híbridos con alto y bajo potencial. De éstos 83 registraron valores igual o mayor a la media general (10 973 kg ha), el resto mostró rendimientos inferiores. De los híbridos más sobresalientes en rendimiento y estadísticamente superiores al resto fueron el 55, 50 y 144, con 14 504, 13 850 y 13 634 kg ha respectivamente. Adicional al grupo anterior le sigue un grupo de 26 híbridos con rendimientos que oscilan entre 13 y 12 mil Kg ha y, un tercer grupo de 47 híbridos con rendimientos mayores a la media y hasta 11 900 kg/ha.

La dispersión de los híbridos respecto al eje del primer componente (CP1) se ubica en el rango de +50 y -50, donde un grupo de 13 híbridos independientemente del rendimiento se ubicaron sobre el cero (0) en la escala del CP1, lo cual quedan catalogados como híbridos estables o que interaccionan poco con el ambiente. En contraste, los híbridos entre mas se alejen del cero, tienden a tener menor estabilidad, como se puede observar con los híbridos 10, 39, 106, 47, 104, 45 109 y 102 que se encuentran en los límites de la escala (± 50).

De los tres híbridos con mayor rendimiento, el 55 parece ser el de mayor estabilidad.

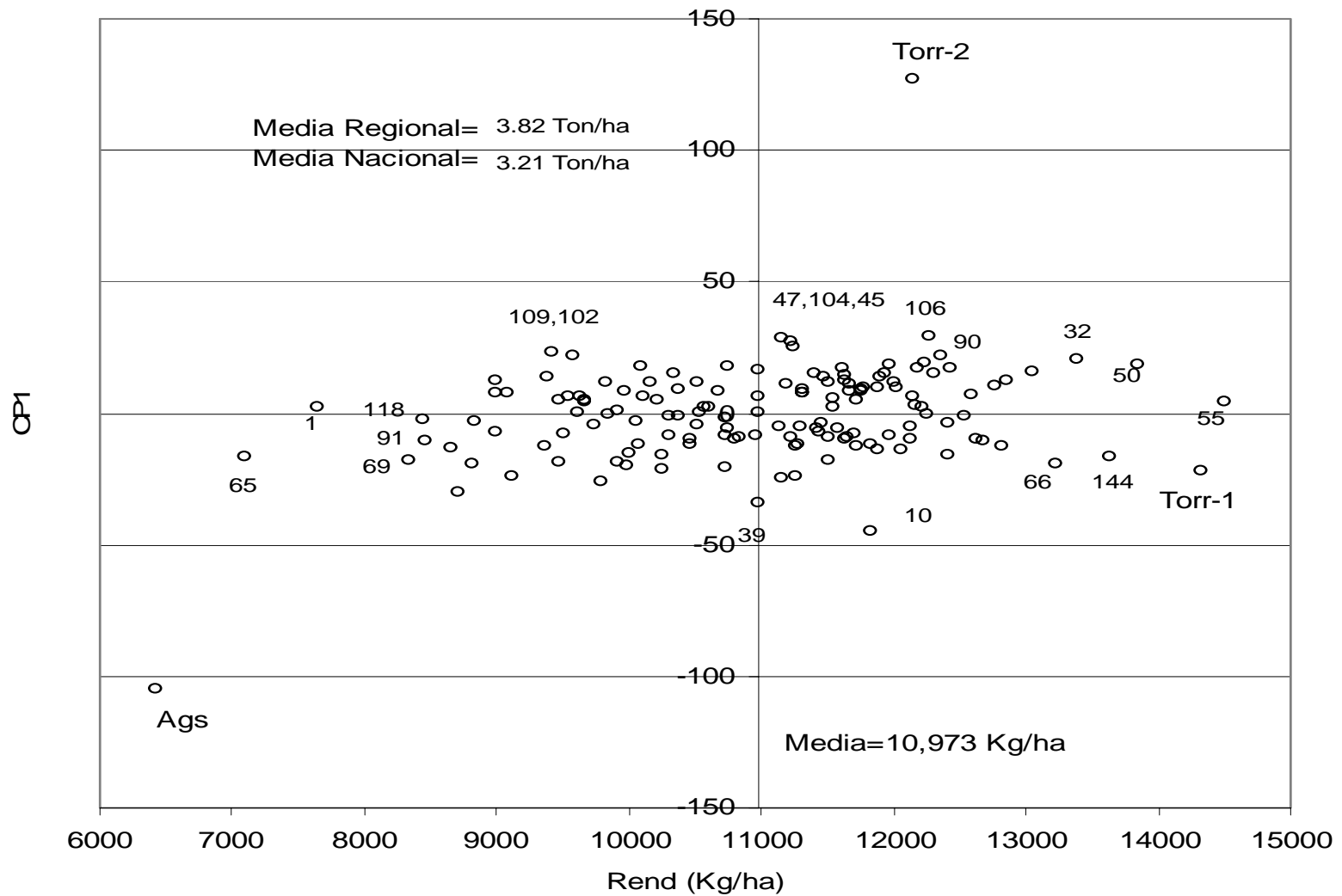


Figura 1. Dispersión de rendimiento de 144 híbridos simples en función del componente 1 (CP1) evaluados en tres localidades.

VI. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de varianza indicaron diferencias altamente significativas para Ambiente, Genotipo y GxA.

Las localidades estadísticamente fueron diferentes, con variaciones considerables en rendimiento debido a las condiciones ambientales propias de cada región.

Las localidades con mayor rendimiento promedio fueron Torreón 1 y 2, no así la localidad Aguascalientes (Ags).

En la localidad Torreón 2 y Aguascalientes los híbridos presentaron mayor efecto de interacción con los genotipos, en tanto en la localidad Torreón1 los híbridos fueron estables estadísticamente.

Los híbridos con mayor rendimiento y estabilidad fueron: 55,50 y 144, con 14 504, 13 850 y 13 634 kg/ha respectivamente.

VII. RESUMEN

Con el propósito de estudiar la interacción, adaptación y selección por rendimiento de grano se evaluaron 144 híbridos experimentales derivados de la cruce entre 12 progenitores hembra y 12 machos en Primavera-Verano (P-V) y Otoño-Invierno (O-I) del 2007. La evaluación se hizo en tres localidades, dos en la Comarca Lagunera en las instalaciones de la UAAAN-UL y uno en Aguascalientes. El diseño fue bloques al azar con dos repeticiones por localidad; la parcela experimental fue de un surco de 2 m de largo, 0.75 m de ancho. Se tomaron datos de rendimiento de grano de las tres localidades. Para el análisis de la interacción se utilizó el modelo AMMI y, con el gráfico Biplot entre el primer componente (CP1) y el rendimiento de grano, se interpretó el efecto de interacción. En análisis combinado indico diferencias significativas para Ambiente(A), Genotipo (G) y la interacción A x G. La localidad que interaccionó mas con el ambiente fueron Torreón 2 y Aguascalientes, sin embargo la localidad Torreón 1 mostró mayor estabilidad en la interacción. Los híbridos con mayor rendimiento y estabilidad fueron: 55, 50 y 144, con 14 504, 13 850 y 13 634 kg/ha respectivamente.

Palabras clave: Estabilidad, Componentes principales, AMMI, BILOT.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alejos G., P. Monasterio y R. Rea. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del Estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 56(3):369- 384.
- Allard, A. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Barcelona. Omega. P.498.
- Castro A. 2004. Adaptación regional y evaluación de cultivares. Profesor adjunto de mejoramiento Genético, Depto. De producción vegetal, EEMAC, Facultad de Agronomía.
- CIMMYT. 1991. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía de campo. México, D.F. Pp. 21-29
- Cervantes S. T. 1992. La interacción genotipo-ambiente en la clasificación de regiones agrícolas. Memorias, Simposio Interacción genotipo-ambiente en Genotecnia Vegetal. Guadalajara, Jal., México. Pp. 117-125
- Contreras, S y Krarup C. 2000. Interacción genotipo por ambiente en cinco cultivares de espárrago (*Asparragus officinalis L.*). *Ciencia e Investigación Agraria*. 27: 133 – 139.
- Córdova H. S. 1989. Evaluación de 36 cultivares de maíz en 20 ambientes de Centro America, Panamá y el Caribe, PCCMCA 1988. Presentado en la XXXV Reunión Anual del PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras
- Crosa, J., Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science* 30:493-500.
- Elliot, F. 1964. Citogenética y mejoramiento de plantas. México. D. Continental, P. 474
- Falconer, D. 1983. Introducción a la genética cuantitativa. México. D. F. Continental, P. 430.
- Guillermo C., Zetina R., Arano R y Raygoza B. 2000. El AMMI y CLUSTER en la selección de los mejores híbridos experimentales de maíz. *Rev. Agronomía Mesoamericana*. 11(1): 71 – 76

- Gauch, H. G. 1985. Integrating Additive and Multiplicative Models for Analysis of Yield Trials with Assessment of Predictive Success, Mimeo 857. Soil, Crop and Atmospheric Sciences, Cornell University, Ithaca, New York.
- Gauch, H. G. 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics* 44:705-715.
- INEGI. 2000. Sistema para la Consulta de Información Censal 2000. Para los estados Coahuila y Durango. XII Censo General de Población y Vivienda. ISBN 970-13-3851-0. México
- INEGI. 2001. *Anuario Estadístico del Estado de Aguascalientes*, México.
- INIFAP. 1999. Producción de maíz de verano en el sur de Sonora. CD. Obregón, Sonora México. 20: 4
- Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz. Variedades mejoradas, método de cultivo y producción de semilla. Editorial. Limusa. México. P. 225
- Kang, M. S. y J. D. Miller. 1984. Genotype x environment interaction for crop cane and sugar yield and their implications in sugarcane breeding. *Crop Sci.* 24: 435-440
- Márquez, S. F. 1985. Genotecnia Vegetal. Tomo I. Métodos, Teoría y Resultados. Editorial AGTESA. México. P. 356
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. Editorial AGTESA. México. P. 563.
- Mendoza R., I. Camargo B., J. Franco B y A. González S. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana.* 17(2): 189-199
- Mora F., Osmerio J y C. Alberto S. 2007. Predicción del efecto de cultivares de algodón en la presencia de interacción genotipo-ambiente. *Ciencia e Investigación Agraria.* 34(1): 13-21
- NASS. 2006. National Agricultural Statics Service. www.usda.nass.gov (21 de mayo de 2006).
- Nevado, M. y Ortiz, R. 1985. Prueba de hipótesis en serie de ensayos. *Agrociencia.* 1(1): 23-37.
- Palomo G. A. 1976. La interacción genético-ambiente en el cultivo del algodón en la Comarca Lagunera. Seminario Técnico. CIAN-INIA-SAG. Matamoros, Coah., México

- Ramos G F., V Ortiz L., J M Mora T., F Padilla D., F Patlan B y J E Macias L .2006. Desarrollo y evaluación de un sistema experto (prototipo) que auxilie en el proceso de irrigación del cultivo de maíz (Zea mays L.) en Aguascalientes. Revista Agronomía Mesoamericana. 14 (036): [fecha de consulta: 11 de febrero 2008].
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. Subsistema de información agrícola. SAGARPA, México D.F. s/p
- SAGARPA, 2006. In: resumen económico anual de la comarca lagunera. Sector agropecuario. Edición especial. El siglo de Torreón. <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Estimación de producción record de maíz. Anuario de producción nacional. SAGARPA, Sinaloa México.
- Solano SJ. 1998. Estabilidad temporal del rendimiento de genotipos mutantes de trigo, mediante el modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (ammi: additive main effect and multiplicative interaction model). Agro Sur. 26: 2
- Tai G. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application on potato regional trials. Crop Sci. 11:184 –190
- Torres R. V., A. Espinosa C., M. Mendoza R., J. Rodríguez de la O., M. Irizar G y J. Castellanos R. 2007. Efecto de brasinoesteroides en híbridos de maíz androestériles y fértiles. Rev. Agronomía Mesoamericana 18 (2): 155-162
- Viorel V.A. 1970. El girasol. Trad. A. Guerrero G. Ediciones Mundi-prensa. España. P.160
- Vencovsky R. y P. Barriga. 1992. Genética Biométrica en fitomejoramiento de plantas. Sociedad Brasileña de Genética. Sao Paulo, Brasil. P. 486
- Yang, R. y Becker, R. 1991. Genotype-environment interactions in two wheat Crosses. Crop Sci 31:83-87
- Yue G. L., k. L. Roozeboom., W. T. Schapaungh and G. H. Liang. 1997. Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. Plant Breed. 116: 271–275

Wong R. R., E. Gutiérrez del Río., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B. y J. Lozano G. 2007. Aptitud Combinatoria de Componentes del Rendimiento en líneas de Maíz para Grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(2): 181-189

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