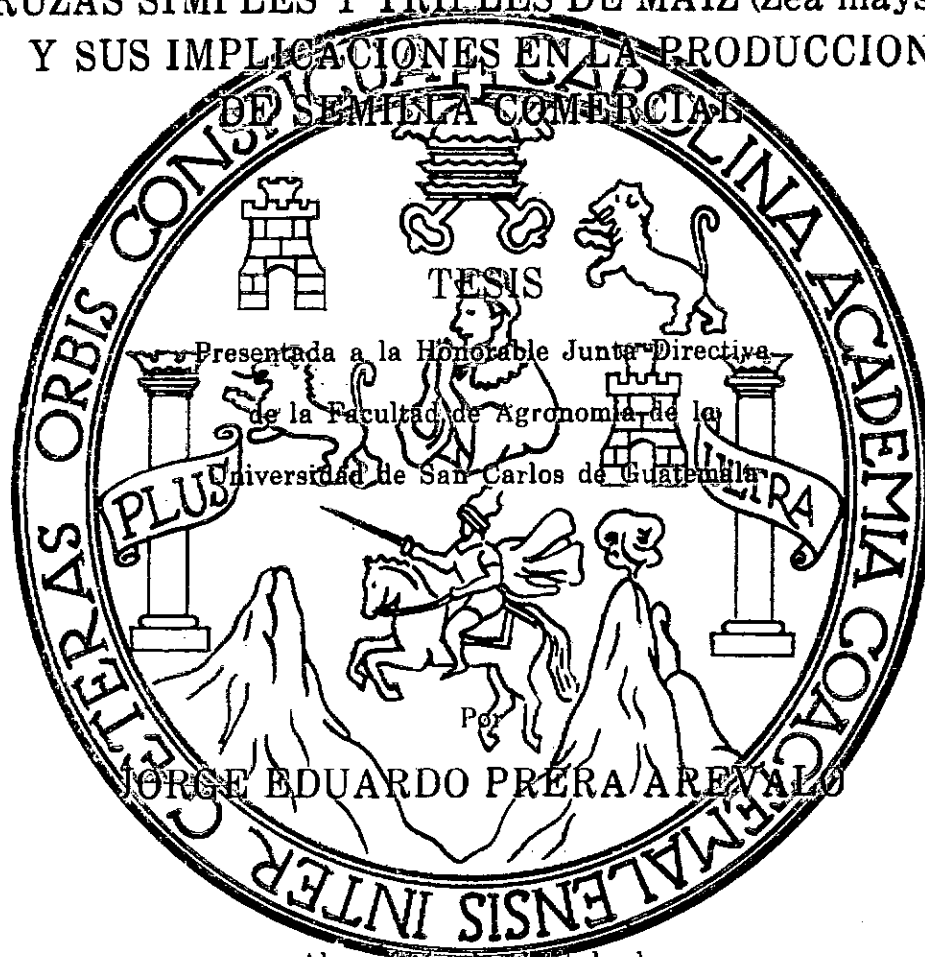


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Facultad de Agronomía

ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO Y HETEROSIS DE
CRUZAS SIMPLES Y TRIPLES DE MAIZ (*Zea mays* L.)
Y SUS IMPLICACIONES EN LA PRODUCCION
DE SEMILLA COMERCIAL



Presentada a la Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Agronomía de la
Universidad de San Carlos de Guatemala
Por
JORGE EDUARDO PRERA AREVALO

Al conferírsele el título de

Ingeniero Agrónomo

En el grado de

Licenciado en Ciencias Agrícolas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

BIBLIOTECA

DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

Guatemala, Abril de 1980

R
04
T(471)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. SAUL OSORIO PAZ

JUNTA DIRECTIVA

DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANODR. ANTONIO SANDOVAL S.
VOCAL 1o.....ING. AGR. CARLOS O. ARJONA
VOCAL 2o.....ING. AGR. SALVADOR CASTILLO O.
VOCAL 3o.....ING. AGR. RUDY VILLATORO R.
VOCAL 4o.....P. A. EFRAIN MEDINA G.
VOCAL 5o.....PROF. EDGAR FRANCO R.
SECRETARIO.....ING. AGR. CARLOS N. SALCEDO Z.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO.....ING. RODOLFO ESTRADA G.
EXAMINADOR.....DR. DAVID MONTERROSO
EXAMINADOR.....ING. AGR. CESAR CASTAÑEDA
EXAMINADOR.....ING. AGR. ROLANDO AGUILERA
SECRETARIO a.i.....ING. AGR. OSCAR GONZALEZ

SECTOR PUBLICO AGRICOLA
INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA AGRICOLAS

5a. Av. 12-31, Zona 9 - Edificio "El Cortez", 2o. y 3er. Niveles

Teléfonos 66985 - 60581 - 67935

Guatemala, C. A.

Señor
Decano de la Facultad de Agronomía
Dr. Antonio Sandoval
Su Despacho

Señor Decano:

Tengo a bien dirigirme a usted para hacer de su conocimiento, que atendiendo a la designación que ese Decanato me hiciera, he ofrecido asesoría al universitario Jorge Eduardo Prera Arévalo para la elaboración de su tesis de grado titulado: "ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO Y HETEROSIS DE CRUZAS SIMPLES Y TRIPLES DE MAIZ (*Zea mays* L.) Y SUS IMPLICACIONES EN LA PRODUCCION DE SEMILLA COMERCIAL."

Concluida la asesoría informo al seño Decano que considero el trabajo una verdadera contribución a la investigación agrícola de Guatemala, así como también un aporte relevante a la investigación en el campo de la genética y la producción de semillas de maíz. Por tanto sugiero que este trabajo amerita una distinción de acuerdo a las normas establecidas por la Facultad de Agronomía.

Atentamente,


Hugo G. P. P.
GENETISTA PROGRAMA DE MAIZ
Departamento de Genética y Tecnología Agrícola



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	_____
Asunto	_____

28 de abril de 1980

Dr.
Antonio Sandoval
Decano de la
Facultad de Agronomía
USAC

Señor Decano:

Tomando en cuenta que la tesis de grado constituye parte importante de la formación del estudiante, me permito comunicarle que la presente tesis titulada "Estabilidad del Rendimiento y Heterosis de Cruzas Simples y Triples del Maíz (*Zea mays* L.) y sus Implicaciones en la Producción de Semilla Comercial" realizada por el universitario Jorge Prera Arévalo, sí reúne los requisitos que exige la Facultad de Agronomía; además se considera como una buena contribución al impulso de la producción de maíz en Guatemala.

De acuerdo a lo anterior, le solicito sea aprobada como tesis de grado del estudiante Prera Arévalo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Mario Melgar
ASESOR

MM/asmm.

Guatemala, 23 de abril de 1980

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador

En cumplimiento de las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, someto a su consideración el trabajo de tesis intitulado "ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO Y HETEROSIS DE CRUZAS SIMPLES Y TRIPLES DE MAIZ (Zea mays L.) Y SUS IMPLICACIONES EN LA PRODUCCION DE SEMILLA COMERCIAL; como requisito a optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,

A large, stylized handwritten signature in dark ink, consisting of several loops and flourishes, positioned above the printed name.

Jorge Eduardo Prera Arevalo

JEPA/sos

DEDICO ESTE ACTO

A MI MADRE:

BERTA MARIA AREVALO CARRILLO

A MIS HERMANOS:

ALFONSO PRERA AREVALO

DR. FERNANDO PRERA AREVALO

A MIS CUÑADAS Y SOBRINOS

ESPECIALMENTE A

LIC. GUILLERMO PENSAMIENTO A.

U. PATRICIA ARRAZATTE E HIJO

AGRADECIMIENTO

Al personal técnico del Programa de Maíz del ICTA, especialmente al Ing. Agr. Maestro en Ciencias Hugo Salvador Córdova Orellana por su acertado asesoramiento en el trabajo de Tesis.

A los profesionales egresados del III Curso de Adiestramiento en Producción Agrícola del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.

Al Ing. Agr. Mario Melgar por su asesoría en la presente Tesis.

INDICE

Página No.

1.	INTRODUCCION	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Hipótesis	3
2.	REVISION DE LITERATURA	4
3.	MATERIALES Y METODOS	14
3.1	Material genéticos	14
3.2	Ensayos de rendimiento	17
3.3	Sitios experimentales	17
3.4	Manejo de los experimentos	19
3.5	Análisis estadístico	20
4.	RESULTADOS	29
4.1	Análisis de rendimiento	29
4.2	Análisis de estabilidad	32
4.3	Análisis de Heterósis	32
5.	DISCUSION DE RESULTADOS	37
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
7.	BIBLIOGRAFIA	42
8.	APENDICE	44

1. INTRODUCCION

El rendimiento promedio de maíz por unidad de área a nivel nacional es bajo (1.15 ton/ha); se debe básicamente a un sinnúmero de factores limitantes, citándose entre los más determinantes: El uso de variedades de bajo potencial de rendimiento y características agronómicas indeseables y el medio ambiente que determina en varios lugares amplia variación ambiental y cultural.

En base a lo anterior, es necesario crear variedades o híbridos de maíz que muestren adaptabilidad a regiones ecológicas y sociales definidas; y siendo el rendimiento factor importante en la obtención y producción de materiales genéticos, interesa sobre manera identificar la estabilidad y consistencia de genotipos que mejor interaccionen bajo condiciones ambientales variables.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS-REFERENCIA

La metodología de hibridación ha sido uno de los métodos que ha tenido más éxito para incrementar la capacidad de rendimiento.

La mayoría de híbridos de maíz utilizados en la actualidad en América Latina son cruzas dobles y triples formadas de líneas endogámicas.

En la fase inicial de formación de híbridos se utiliza el rendimiento de las cruzas simples para la predicción del rendimiento de cruzas dobles o triples para constituir dichos cruzamientos y evaluarlos en el campo.

En la forma convencional, se contempla la derivación de líneas endogámicas previo a encontrar las mejores combinaciones; sin embargo, el vigor de las líneas se reduce en cada ciclo de auto-fecundación de tal forma que las líneas que finalmente forman las cruzas simples tienen bajo potencial de rendimiento y, consecuentemente, un alto costo de producción.

Actualmente existen evidencias que el uso de bases mejoradas de polinización libre para derivar líneas, ofrece mejores alternativas para la identificación de cruzas rendidoras en comparación con el método convencional.

Una posibilidad para utilizar estas bases en forma rápida y eficiente es mediante la formación de híbridos a partir de familias de hermanos completos de diferente origen, provenientes de poblaciones mejoradas a través de esquemas que capitalicen al máximo los efectos aditivos, con la ventaja de que se obtienen familias vigorosas y por lo tanto se facilita y economiza la producción de la semilla, pudiéndose producir híbridos triples a un precio más accesible a los agricultores.

1.1 OBJETIVOS

- 1.1.1 Determinar la adaptación de cruzas simples y triples de familias de hermanos completos y su capacidad para amortiguar los cambios ambientales.
- 1.1.2 Identificar los tipos de cruzamientos con mayor expresión de heterósis que garantice un alto potencial de rendimiento tanto en producción comercial como en la producción de semilla certificada.

1.2 HIPOTESIS

- 1.2.1 Existen diferentes niveles de heterósis en los diversos cruzamientos evaluados en el presente estudio.
- 1.2.2 Entre los cruzamientos evaluados existe un potencial de rendimiento diferente de acuerdo al número de padres que constituyen cada cruzamiento.
- 1.2.3 Existen diferencias altamente positivas tanto para los agricultores como para productores de semilla al producir híbridos de cruza triple en vez de cualquier otro tipo de cruzamiento.

2. REVISION DE LITERATURA

La posibilidad de aumentar el rendimiento del maíz usando la F_1 , de cruzamientos varietales, fue reportado primeramente por Beal en 1877. Estos resultados dieron lugar a los extensos estudios de cruzamientos varietales muchos de los cuales fueron resumidos en 1922 por Richey. Las más grandes respuestas heteróticas se obtuvieron cuando las variedades cruzadas difirieron grandemente en tipo de endospermo. Aparentemente la aumentada diversidad representada por los tipos de diferente constitución endospérmica, se reflejó en las altas respuestas heteróticas en sus cruzamientos. En la faja maicera de EE. UU., los cruzamientos varietales probaron ser inconsistentes con respecto a la respuesta heterótica obtenida cuando los cruzamientos entre ciertas renombradas variedades fueron hechos por individuos en áreas diferentes. Esto fue obviamente un reflejo de las grandes y sustanciales diferencias existentes entre diferentes linajes de una misma variedad. El fracaso en obtener respuestas heteróticas consistentes de cruzamientos entre cualesquiera dos variedades de renombre, resultó en la pérdida de interés de parte de los mejoradores por los cruzamientos varietales como método para mejorar el rendimiento. Esto, junto con el creciente interés en el desarrollo de líneas autofecundadas y la formación de híbridos dobles alrededor de 1920, resultó en un cambio de énfasis en los métodos de mejoramiento. (7).

Betancourt 1973; Lonnquist y Williams 1967; Molly Stuber 1971; Hallauer 1967, 1973; citados por Velásquez (15), han demostrado que cuando el desarrollo de híbridos se efectúa a partir de poblaciones mejoradas se tienen mejores posibilidades de encontrar combinaciones superiores que cuando se parte de poblaciones originales, como consecuencia del aprovechamiento eficiente de la varianza genética aditiva, antes de explotar los efectos no aditivos.

Sprague y Eberhart 1977; citados por Velásquez (15); indican a través de la teoría genética-estadística que caracteres completos como rendimiento son controlados por muchos genes con pequeños efectos, en donde los cambios en las frecuencias genéticas para la manifestación del carácter, lo cual puede lograrse eficientemente mediante el uso de métodos de selección recurrente.

Velásquez (15), menciona que existen varios trabajos que indican ganancias significativas en el mejoramiento de las poblaciones con la aplicación del método de selección recurrente de familias de hermanos completos en el carácter rendimiento; puede citarse a Villena y Johnson (1972) aplicando este método al carácter altura de planta en tres poblaciones de maíz: Tuxpeño Crema 1, Eto blanco y Mix-1 x Colima grupo 1 redujeron durante siete, seis y cuatro ciclos la altura de planta en 63, 33 y 47 cm., respectivamente.

Palacios 1967 y Lonquist (1965), mencionan que es un método eficiente para el doble propósito de la formación de variedades mejoradas de polinización libre y el mejoramiento de las bases genéticas previo a la formación de híbridos; ya que además de seleccionar efectos aditivos también hace uso de los efectos no aditivos; Lonquist (1967), Hallauer (1971) y Juida et al (1966) han demostrado que las líneas y sus correspondientes cru-
zas a partir de poblaciones mejoradas son superiores a las obtenidas de poblaciones originales, debido a que el método de selección de hermanos completos concentra efectos genéticos en la proporción de $\frac{1}{2} \sigma^2_A$ y $\frac{1}{4} \sigma^2_D$, lo que implica que este método conlleva al aumento de la frecuencia de los efectos aditivos favorables y aumenta la frecuencia de los efectos genéticos no aditivos en cada ciclo de selección. (15)

Moll, Cockerham, Staber y Williams (1978) evaluaron poblaciones de maíz y sus híbridos derivados a través de selección de familias de hermanos completos (FHC) y por medio de selección recíproca recurrente (SRR), para altos rendimientos con respecto a la población original correspondiente sobre un rango de ambientes. Las poblaciones derivadas a través del 6o. y 8o. ciclo de selección y sus híbridos se evaluaron en 12 y 5 localidades, respectivamente. Los resultados de los dos estudios concordaban.

Las interacciones genotipo-medio ambiente se podían explicar en gran parte por la respuesta a las variaciones ambientales. Concluyeron que las poblaciones mejoradas fueron más responsivas que las poblaciones originales. (11)

La hibridación ha sido uno de los métodos de mejoramiento que más se ha empleado para aumentar la capacidad de rendimiento en maíz. La obtención de híbridos intervarietales proporcionó la primera información sobre heterósis y estimuló a la producción de maíz híbrido, como se le conoce desde 1920 (Poehlman 1965). Los efectos heteróticos son importantes para explotar el vigor híbrido (Wellhausen 1960), y para obtener la mayor expresión heterótica ha sido constante el estudio del germoplasma base más útil. (15)

Shull (1952), citado por Velásquez (15), define que la heterósis es la expresión del incremento de vigor, tamaño de fruto, aumento de desarrollo y resistencia a enfermedades y plagas, lo cual se manifiesta en las cruzas entre especies. En estos cruzamientos mientras más diferentes sean los progenitores y cuando menor sea el grado de parentesco, el rendimiento de los híbridos será mayor.

Varios investigadores han obtenido diferentes valores de heterósis en las cruzas intervarietales con respecto a la media

de los progenitores (Hays y Olsen 1919; Johnson y Hayes, 1949; Robinson 1959; Wellhausen 1958; Covarrubias, 1960; Méndez 1962; Barrientos, 1962; Méndez, 1962; Molina, 1964; Rivera, 1977).

Moll et al (1962, 1965), concluyeron que la heterósis se expresa entre materiales de mayor divergencia genética. Wu (1939) encontró que cruza simples provenientes de líneas de una misma población rindieron menos que las cruza provenientes de líneas de diferentes poblaciones. (15)

Velásquez (15), concluye en su trabajo que se tienen mejores posibilidades de encontrar cruza rendidoras cuando provienen de progenitores de diferente origen genético, que el promedio de heterósis obtenido en base al promedio de los progenitores fue 11.5% mayor en las cruza interpoblacionales que intrapoblacionales, y que la metodología en base a familias de hermanos completos para la formación de híbridos simples presenta posibilidades; sin embargo, es necesario estudiar los procesos de producción de semilla comercial y la repetibilidad fiel de las cruza.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE TESIS REFERENCIA

Los productores de semilla ocasionalmente utilizan semilla de segunda generación (F_2) del progenitor macho para producir cruza dobles. Se han reportado bajas en rendimiento y mayor variabilidad de híbridos producidos de esta manera. Los hí-

bridos de cruza doble Tenn-505 y Tenn-606 se formaron recíprocamente por medio de polinizaciones manuales utilizando semilla F_2 de las cruzas simples macho y con la F_2 de ambas cruzas progenitoras. En general no se observaron diferencias en las medias para los caracteres de planta y mazorca, pero los híbridos producidos con sólo semilla F_2 mostraron variabilidad para algunos caracteres. Ninguno de los híbridos rindió significativamente diferente a los híbridos formados con semilla F_1 . Diferencias significativas en rendimiento ocurrieron para las cruzas recíprocas en los 3 tipos de híbridos. (9)

La prueba de comportamiento de variedades cuando se analizan convencionalmente ofrecen información sobre la interacción genotipo-ambiente, pero no dan una idea de la estabilidad de las variedades evaluadas (Córdova et al, 1977). De ahí que el análisis de estabilidad es un buen instrumento en la identificación de germoplasma de gran potencial para los programas de mejoramiento. (3) En base a la interpretación de los parámetros de estabilidad, Carballo y Márquez (2), clasifica a una variedad "Estable" cuando $B_i = 1$ y $Sd^2_i = 0$, además por tener una alta media de rendimiento en relación con el resto de variedades.

Sprague y Jenkins (1943) y Allard (1961), citados por Córdova (3), coinciden en que la mayor diversidad genética (cruzas

simples en maíz, por ejemplo) dota a las plantaciones de mayor estabilidad que las hace idóneas para utilizarse también en ambientes desfavorables.

Allard y Bradshaw (1967), describen dos formas a través de las cuales una variedad puede exhibir estabilidad: 1o. Amortiguamiento poblacional; la variedad puede estar constituida de varios genotipos cada uno adaptado a un rango de ambientes un tanto diferente y, 2o. Amortiguamiento individual: Los individuos mismos pueden tener también amortiguamiento de manera que cada miembro de la población está bien adaptado a un amplio rango de condiciones ambientales. De esta forma, las poblaciones homogéneas: homocigóticas o heterocigóticas (líneas puras y cruza simples, respectivamente), dependerán obviamente del amortiguamiento individual para tener una población estable, mientras que tanto el amortiguamiento individual como el poblacional podrán estar presentes en poblaciones heterogéneas. (1)

En relación al amortiguamiento poblacional, se refieren a aquél que se encuentra por arriba de los constituyentes de la población, por lo que resulta de las interacciones entre los diferentes genotipos que coexisten en ella. Citan como ejemplo la revisión hecha por Simonds (1964), quien encontró que poblaciones mezcladas son casi siempre más estables en rendimiento

que sus componentes individuales, y el trabajo de Jones (1958), que compara cruza simples y dobles, encontrado que los coeficientes de variación fueron menores que las cruza dobles (12.31) que para cruza simples (21.41). (1)

Eberhart y Russell citados por Córdova (3), postulan que aunque la estabilidad de una cruza doble proviene de la mezcla de genotipos también parece ser que está bajo control genético, o sea que ciertos genotipos pueden mostrar mayor estabilidad que otros, de manera que pueden obtenerse cruza simples genéticamente estables de mayor rendimiento que las cruza dobles. En su investigación encontraron dichas cruza simples tan estables como cualquier cruza doble, sugiriendo que las cruza simples difieren en su habilidad de respuestas a condiciones ambientales más favorables; la suma de cuadrados de desviaciones de regresión parece ser el parámetro más importante, y que es probable que estén involucrados en esa estabilidad todos los tipos de acción génica.

Carballo y Márquez (1970), citados por Córdova (3), en su trabajo sobre estimación de parámetros de estabilidad en variedades de maíz, hacen notar que en el grupo de variedades de alto rendimiento las coeficientes B no difieren mucho de 1 o son inferiores a este valor. Mencionan que la tendencia general fue la asociación de altos rendimientos con altos valores B_i y la

asociación negativa del rendimiento y de B con S^2_{di} .

Gardner y Mareck (1977), en su trabajo de cuatro poblaciones formadas a través de una selección en masa, su variedad progenitora Hays Golden y un híbrido testigo se sembraron en 14 localidades durante 3 años. La media de localidades varió entre 24 y 77 qq/ha (qq = 100 Kg). Calcularon parámetros de estabilidad para cada entrada, utilizando la regresión para rendimiento como un índice Ambiental, poblaciones seleccionadas mostraron una respuesta mayor ($b = 1.01$ a 1.30) a las localidades con rendimientos altos que la población original ($b = 0.77$) o el híbrido testigo ($B = 0.74$) en todas las localidades de rendimientos bajos, los rendimientos de la población seleccionada no fueron diferentes a los de la población original.

Concluyeron que la selección ha sido para aquéllos alelos que permiten a las poblaciones mejoradas responder a las prácticas modernas de cultivo. La respuesta estimada a la selección variará dependiendo del nivel de rendimiento de la localidad en prueba. Esto explica el por qué en evaluaciones de la respuesta de la selección en masa en años secos (1974, 1975 y 1976) indicaron decremento en rendimientos relativos de poblaciones mejoradas en comparación con las poblaciones originales.

Miezan et al (1977), mencionan una expansión de la fórmula del coeficiente de regresión sugerida por Finlay y Wilkinson como parámetro de estabilidad, demostró que el parámetro puede ser significativamente alterado por genotipos extremos; ejemplo: Aquéllos con una varianza muy pequeña o muy grande. Al parecer, no todos los genotipos deberán involucrarse en la estimación de índices ambientales. Dos métodos han sido sugeridos: (1) Utilizar un juego de genotipos de igual varianza (dentro de las magnitudes intermedias) para estimar los índices ambientales; (2) Usar una media ajustada de los genotipos en cada ambiente para definir el ambiente. Ellos utilizaron los datos de rendimiento de maíz en Kansas como ejemplo numérico, confirmando los efectos de los genotipos extremos. Sin embargo, no se obtuvieron cambios significativos en el coeficiente de regresión cuando las diferentes combinaciones de genotipos fueron usadas para estimar los índices ambientales. Encontraron dificultad en la interpretación del coeficiente de regresión cuando la covarianza entre genotipos no es cero. (10)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIAL GENETICO

En el presente estudio se utilizaron seis cruzas simples, cuatro cruzas triples, cinco poblaciones, tres híbridos intervarietales, seis familias (provenientes del Programa de Producción de Maíz-ICTA) y un híbrido doble comercial (Ver Cuadro 1); en el Cuadro 2 se describe la genealogía y proveniencia de los genotipos utilizados.

CUADRO 1

DESCRIPCION DE LOS GENOTIPOS EVALUADOS
EN CUATRO AMBIENTES. GUATEMALA, 1979

C.S.	MATERIAL BIOLOGICO C.T.	FAMILIAS
21-170x22-165	(23-86x29-244) 43-46	21-70
22-165x3806	(23-86x29-244)F ₂ 43-46	22-165
21-170x3806	(21-170x22-165) 3806	23-86
23-86 x 29-244	(22-165x3806) 21-70	29-244
22-63 x 43-46		43-46
(23-86x29-244)F ₂		22-63
VARIEDADES	CRUZAS INTERVARIETALES	C.D.
COMPUESTO 2 C ₂	ICTA B-1 x ETO	H-5
ICTA B-1 - C ₈	COMP-2x23-86	
ETO BLANCO	COMP-2xCENTA	
SANSAREÑO		
3806		

CS = CRUZA SIMPLE
CT = CRUZA TRIPLE
CD = CRUZA DOBLE

CUADRO 2

GENEALOGIA Y PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES
GENETICOS (Programa de Producción de Maíz - ICTA 1979)

No. ENTRADA	GENEALOGIA	PROCEDENCIA
7	HB-11=(21-170x22-165)x3806	Híbrido triple de grano blanco desarrollado por ICTA
9	21-170 (P)	Familia derivada de la población Tuxpeño Planta Baja. CIMMYT.
8	22-165 (P)	Familia derivada de la población Mezcla Tropical Blanca. CIMMYT.
10	3806 (P)	Generación avanzada de un cruce sencillo de Híbrido Salvadoreño H-3. CENTA.
4	21-170-x22-165 (CS)	Híbrido simple desarrollado por ICTA
3	21-160x3806 (CS)	Híbrido simple desarrollado por ICTA
6	22-165x3806 (CS)	Híbrido simple desarrollado por ICTA
5	(22-165x3806)x21-170 (CT)	Híbrido Triple de grano blanco desarrollado por ICTA
12	HB-33=(23-86x29-244)F ₁ x43-46 (CT)	Híbrido Triple de grano blanco desarrollado por ICTA
13	HB-33=(23-86x29-244)E ₂ x43-46 (CT)	Híbrido Triple de grano blanco desarrollado por ICTA
18	23-86 (P)	Familia derivada de la población Blanco Cristalino. CIMMYT.
19	29-44 (P)	Familia derivada de la población Tuxpeño Caribe. CIMMYT

20	43-46 (P)		Familia derivada de la población CIMMYT
15	(23-86x29-244)F ₁ (CS)		Híbrido Simple desarrollado por ICTA
16	(23-86x29-244)F ₂ (CS)		Híbrido Simple F ₂ desarrollado por ICTA
17	22-63 (P)		Familia de la población (MTB). CIMMYT
14	22-63x43-46 (CS)		Híbrido F ₁ desarrollado por ICTA
1	T-101=(B-1xETO) (HI)		Híbrido intervarietal de grano blanco desarrollado por ICTA
2	B-1	(V)	Variedad de grano dentado derivado de la población Tuxpeño Planta Baja CIMMYT
21	ETO	(V)	Variedad de grano cristalino seleccionado de materiales locales y del Caribe en la Estación Tulio Ospina de Medellín, Colombia.
22	HB-21=(ETO BLANCOxB1) x23-87 (HTE)		Híbrido triple experimental de grano blanco semicristalino desarrollado por ICTA
11	HB-53=(COMPUESTO-2x CENTA M1B) (HI)		Híbrido intervarietal de grano blanco semidentado desarrollado por ICTA.
23	COMPUESTO-2	(V)	Variedad de polinización libre de grano blanco-dentado y profundo originado de población Tuxpeño y Tuxpeño Caribe. CIMMYT
24	H-5	(HD)	Híbrido doble Salvadoreño de grano blanco dentado. CENTA
25	SANSAREÑO	(V)	Maíz criollo precoz blanco recolectado en suroriente de Guatemala.

CT: CRUZA TRIPLE

P : PROGENITOR

CS: CRUZA SIMPLE

HI: HIBRIDO INTERVARIETAL

V : VARIEDAD

HTE: HIBRIDO TRIPLE EXPERIMENTAL

HD : HIBRIDO DOBLE

3.2 ENSAYOS DE RENDIMIENTO

Las cruzas y sus progenitores, las variedades, los híbridos intervarietales y el híbrido doble comercial (testigo), fueron evaluados en ensayos agrotécnicos de rendimiento en cuatro ambientes.

3.3 SITIOS EXPERIMENTALES

Los cuatro sitios experimentales donde se llevó a cabo el presente estudio fueron: La Máquina, Jutiapa y Cuyuta.

De acuerdo a la clasificación de reconocimiento de los suelos de Guatemala, realizada por Simons et al (1959), los suelos de los sitios experimentales corresponden a las series cuyas características se muestran en el Cuadro 3.

De acuerdo a la clasificación ecológica de Guatemala, propuesta por Holdrige (1958), Jutiapa corresponde a la zona sub-tropical seca, Cuyuta y La Máquina a la zona tropical seca.

En el Cuadro 4 se describe la altura en metros SNM, precipitación promedio y temperatura máxima, media y mínima de los 4 sitios experimentales. En el Cuadro 5 se presentan los resultados de los análisis de suelo.

CUADRO 3

CLASIFICACION DE RECONOCIMIENTO Y CARACTERISTICAS DE
LOS SUELOS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

LOCALIDAD	SERIE	COLOR	TEXTURA	FERTI- LIDAD	CAH
CUYUTA	Tecojate	Gris muy os- curo	Franco are- noso	Moderada	Mediana
LA MAQUINA	Ixtan- Arcilla	Café oscuro	Arcilloso	Alta	Alta
JUTIAPA	Culma	Café oscuro	Franco Ar- cilloso	Moderada	Alta

CAH: Capacidad abastecimiento de humedad.

CUADRO 4

CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

LOCALIDAD	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTURA MSNM	PP MEDIA ANUAL	TEMPERATURA MEDIA
CUYUTA	14°17'	90°50'	130	2255	30°C
LA MAQUINA	14°23'	91°35'	100	1860	27°C
JUTIAPA	14°16'	90°02'	900	1093	22°C

CUADRO 5

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

LOCALIDAD	pH	mg/ml*		Meq/100 ml*	
		P	K	Ca	Mg
JUTIAPA	5.0	13	160	4.8	1.8
CUYUTA	5.5	18	225	8.2	3.5
LA MAQUINA	5.6	16	245	10.2	3.8

*Determinado con HCL.05N-H₂SO₄.025N. Suelo Sol. 1:5

3.4 MANEJO DE LOS EXPERIMENTOS

En cada sitio experimental se dieron las condiciones de manejo recomendadas en la región.

3.4.1 SIEMBRA

Los experimentos fueron sembrados el 15.XII.78 y 22.V.79 en Cuyuta, 29.V.79 y 30.V.79 en La Máquina y Jutiapa, respectivamente.

3.4.2 FERTILIZACION

Se realizó una aplicación total de 100 kilogramos de nitrógeno y 40 kilogramos de anhídrido fosfórico por hectárea, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: al momento de la siembra se utilizó fertilizante de fórmula comercial 20-20-0 a razón de 40 kilogramos de nitrógeno y 40 de anhídrido fosfórico, una segunda aplicación de urea a razón de 30 kilogramos de nitrógeno, aplicados al pie de la planta 25 días después de la siembra y una tercera aplicación de igual aplicación de urea 50 días después de la siembra.

3.4.3 COSECHA

Se realizó a los 120 días después de la siembra e inmediatamente se determinó la humedad del grano para estimar pos-

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES

teriormente los rendimientos en kilogramos por hectárea, en base a una humedad uniforme del 15%.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO

3.5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los materiales genéticos se ordenaron en un diseño experimental de látice simple 5x5 con cuatro repeticiones por ambiente.

El modelo estadístico bajo el cual se efectuó el análisis de varianza por ambiente, es el siguiente:

$$Y_{ijq} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + t_q + e_{ijq}$$

donde:

Y_{ijq} = La observación de q-ésimo tratamiento (variedad)
en el j-ésimo bloque incompleto en la i-ésima repetición.

μ = Media general del carácter medido

α_i = Representa los efectos de la repetición

β_{ij} = Los efectos del bloque incompleto

t_q = Los efectos de tratamientos (variedades)

e_{ijq} = Error intrabloques

3.5.2 ANALISIS DE VARIANZA POR LOCALIDAD

En el Cuadro 6 se presenta el análisis de varianza apropiado para el modelo de látice simple.

CUADRO 6

ANALISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO DE LATICE SIMPLE

Fuente de Variación	Grados de libertad	Esperanza de C. Medios
Repeticiones		
Bloques eliminando Var.	$2q(K-1)$	$\sigma e^2 + \frac{2q-1}{2q} K\sigma B^2$
Componente (a)	$2q(q-1)(K-1)$	$\sigma e^2 + K\sigma B^2$
Componente (b)		$\sigma e^2 + K\sigma B^2$
Var. ignorando bloque	(K^2-1)	
Error (Intrabloque)	$(2qK^2-K^2-2qK-1)$	σe^2
Tratamientos ajustados	K^2-1	

σe^2 = Varianza de la población asociado con el error

σB^2 = Varianza de la población asociado con las desviaciones de bloques incompletos.

3.5.3 PARAMETROS DE ESTABILIDAD

Para determinar la estabilidad del rendimiento de los progenitores y sus diferentes combinaciones híbridas y para deter-

minar la interacción de cada material genético a través de los 4 ambientes, se utilizó el modelo de estabilidad de Eberhart y Russell (1966), el cual se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i + I_j + S^2_{ij}$$

en donde:

Y_{ij} = Es la media varietal de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente, ($i = 1, 2, \dots, v$; $j = 1, 2, \dots, n$)

μ_i = La media de i -ésima variedad a través de todos los ambientes.

β_i = Coeficiente de regresión que mide las respuestas a la variedad " i " en varios ambientes.

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

S^2_{ij} = Desviaciones de regresión de la variedad en el j -ésimo ambiente.

Mediante este modelo se divide la interacción genotipo por ambiente en dos partes:

- a) La variación debida a la respuesta de la variedad, a los diferentes índices ambientales (suma de cuadrados de la regresión); y

- b) Las desviaciones inexplicables de la regresión sobre los índices ambientales.

En el Cuadro 7, se presenta el análisis de varianza apropiado para la estimación de parámetros de estabilidad, según Eberhart y Russell (1966).

CUADRO 7

ANALISIS DE VARIANZA APROPIADO PARA LA ESTIMACION
DE PARAMETROS DE ESTABILIDAD

FUENTE DE VARIACION	G de L	SUMA DE CUADRADOS	CM
TOTAL	nv-1	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - FC$	CM ₁
VARIEDADES (V)	v-1	$1/n \sum_i Y_i^2 - FC$	
AMBIENTES (A)	n-1	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \sum_i Y_i^2 / n$	
VARS. X AMBS.	(v-1) (n-1)		
AMBIENTE (LINEAL)	1	$1/v (\sum_i Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
VARS. X AMB (LINEAL)	(v-1)	$\sum_i (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2 - SCA (lin)$	CM ₂
DESV. PONDERADAS	v(n-2)	$\sum_i \sum_j S_{ij}^2$	CM ₃
VARIEDAD ₁	n-2	$(\sum_j Y_{1j}^2 - (Y_1)^2 / n) - (\sum_j Y_{1j} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
VARIEDAD _v	n-2	$(\sum_j Y_{vj}^2 - Y^2 / n) - (\sum_j Y_{vj} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
ERROR PONDERADO	n(r-1) (v-1)		

Para calcular el cuadrado medio del error ponderado se empleó la fórmula siguiente:

$$S^2 e / r = CMEC = \frac{\sum_{i=1}^n SECK}{n} / r$$

en donde:

CMEC = Cuadrado medio del error ponderado

SCEK = SUMA de cuadrados individuales de cada experimento

n = Sumatoria general de grados de libertad - Vars.
x Reps. x Locs.

r = Repeticiones en cada experimento

El coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión, serán los parámetros utilizados de acuerdo a Carballo Y Márquez (1970); éstos se ilustran en el Cuadro 8.

CUADRO 8

INTERPRETACION DE LOS PARAMETROS DE ESTABILIDAD SEGUN CARBALLO Y MARQUEZ (1970)

CATE- GORIA	COEFICIENTE REGRESION	DESVIACIONES REGRESION	DESCRIPCION DEL MATERIAL EXPERIMENTAL
a)	$B_i=1$	$s^2_{di} = 0$	Variedad estable
b)	$B_i=1$	$s^2_{di} > 0$	Buena respuesta en todos los ambientes, consistente
c)	$B_i=1$	$s^2_{di} = 0$	Responde mejor en ambientes desfavorables consistente
d)	$B_i=1$	$s^2_{di} > 0$	Responde mejor en ambientes desfavorables, inconsistente
e)	$B_i>1$	$s^2_{di} = 0$	Responde mejor en buenos ambientes, consistente
f)	$B_i>1$	$s^2_{di} > 0$	Responde mejor en buenos ambientes, inconsistente

3.5.4 COMPARACION MULTIPLE DE MEDIAS

Al realizar el análisis anterior se encontró diferencias significativas entre medias por lo que se procedió a realizar la comparación múltiple de medias de rendimiento. En este caso se usó la prueba de Tukey, con el fin de obtener un nivel de protección más alto. Steel y Torrie (1960), describieron este procedimiento de prueba, en el cual se tiene que calcular W , que constituye la mínima diferencia significativa honesta.

La DMS de Tukey (W), se calculó de la siguiente forma:

$$W = q(p, nz) S_{\bar{x}}$$

en donde:

W = Valor utilizado para probar la significancia de la diferencia observada entre medias de rendimiento

q = Valor obtenido en las tablas en base a p y nz

p = Número de tratamientos

nz = Grados de libertad del error

$S_{\bar{x}}$ = Error estándar de la media = $CME^{1/2}/r$

3.5.5 PRUEBA DE SIGNIFICANCIA

3.5.5.1 La significancia de las diferencias entre medias varietales (hipótesis nula, $H_0 : V_1 = V_2 = \dots V$) se efectuó mediante la prueba de F

$$F = CM_1/CM_3$$

3.5.5.2 La hipótesis de que no hay diferencias genéticas entre las variedades para su regresión sobre los índices ambientales se efectuó mediante la siguiente prueba de F

$$F = CM_2/CM_3$$

3.5.5.3 La hipótesis (Ho) de que las desviaciones de regresión para cada variedad son estadísticamente iguales a cero se efectuó mediante la prueba de F

$$F = \sum_j dij^2 / n-2/error \text{ ponderado}$$

en donde:

$$\sum_j dij^2 = \text{sumas de cuadrados de las desviaciones de regresión para cada una de las variedades}$$

$$n = \text{Número de ambientes}$$

3.5.5.4 La hipótesis de que los coeficientes de regresión son estadísticamente iguales a 1 se efectuó mediante una prueba de t.

$$t_c = \frac{Bi - 1}{\frac{S^2_{x.y}}{\bar{z} x^2 / \bar{z} I^2_j}}$$

en donde:

B_i = Coeficiente de regresión

I_j^2 = Suma de cuadrados de los índices ambientales

$S^2_{x.y}$ = Suma de cuadrados de las desviaciones de regresión para cada variedad

$\bar{z}_x^2$ = Suma de los índices ambientales al cuadrado

3.5.5.5 El comportamiento de cada variedad o material experimental se predijo mediante los estimadores de los parámetros V_i y B_i , como:

$$Y_{ij} = V_i + B_i I_j$$

en donde:

V_i = Rendimiento promedio de cada variedad

B_i = Coeficiente de regresión

I_j = Índice ambiental

3.5.6 ANALISIS DE HETEROSIS (Rendimiento y altura de planta)

Se agruparon los cruces según sus progenitores para estimar el valor promedio de rendimiento y heterosis.

Por otra parte se compararon los valores de los mejores cruces y sus respectivos progenitores.

La heterósis se estimó con el fin de medir, en porcentaje, el incremento del rendimiento de los híbridos F_1 sobre el progenitor más rendidor, utilizando la fórmula siguiente:

$$HF_1 = (MF_1 / MP) \times 100$$

en donde:

HF_1 = % de heterósis en la F_1

MF_1 = Rendimiento de la cruza

MP = Valor del progenitor con mayor rendimiento que intervino en la cruza

3.5.7 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS

Se tomaron datos sobre las principales características:

- a) Altura de planta y mazorca, la primera se obtuvo a la base de la espiga y la segunda al nudo que sostiene la mazorca principal.
- b) Días a floración se tomaron cuando el 50% de antésis estuvo presente.
- c) Los datos de altura de planta se utilizaron para calcular heterósis y se realizó en la misma forma que para heterósis de rendimiento.

4. RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE RENDIMIENTO

El cuadro 9 resume los resultados obtenidos en el análisis de varianza para rendimiento de cada uno de los ambientes donde se evaluaron los materiales genéticos estudiados en el presente trabajo. Nótese que la fuente de interés (variedades) fue altamente significativa en cada una de las localidades. Los coeficientes de variación estimados sugieren una alta confiabilidad de los resultados y buen manejo de los experimentos. El cuadro 10 presenta la comparación múltiple de medias de rendimiento de los híbridos HB-33 y HB-11 y de sus respectivos progenitores.

CUADRO 9

ESTADISTICOS ESTIMADOS EN EL ANDEVA PARA RENDIMIENTOS
DE 25 MATERIALES DE MAIZ EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.
GUATEMALA

AMBIENTES ESTADISTICOS	La MAQ.	JUT.	CUY.	CUY.
F	13.4**	7.2**	8.8**	11.8**
MEDIA	4.24	4.98	5.56	4.49
MDS 5%	0.674	1.093	0.931	0.740
C.V %	11.2	15.5	11.8	11.6

CUADRO 10

COMPARACION MULTIPLE DE MEDIAS DE RENDIMIENTO
DE MAIZ EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES. GUATEMALA, 1979

	RENDIMIENTO		%
	TON/HA	qq/MZ	H-5
(23-86x29-244)F ₂ x43-46	6.06	93.3	110
(23-86x29-244)F ₁ x43-46 (HB-33)	6.01	92.5	109
COMP-2 C ₂ CUY-79A	5.55	85.5	101
T-101	5.51	84.8	101
H-5	5.49	84.5	100
(21-170x22-165)F ₁	5.37	82.7	98
HB-21	5.36	82.5	98
HB-33 CUYUTA-79A	5.28	81.3	96
22-63	5.28	81.3	96
(23-86x29244)F ₁	5.26	81.0	96
(21-170x22-165)F ₁ x3806 (HB-11)	5.24	80.7	95
(22-165x3806)F ₁ x21-170	5.18	79.8	94
21-170x(3806)	5.16	79.5	94
B-1	5.12	76.8	93
22-63x43-46	5.07	78.1	92
43-46	4.62	71.1	84
23-86	4.60	70.8	84
29-244	4.48	69.0	82
ETO B-1 C ₃	4.38	67.4	80
21-170	4.37	64.2	76
22-165	4.11	63.3	75
SANSAREÑO	3.61	55.6	66
619x615	3.55	54.7	65
(23-86x29-244)F ₂	3.06	47.1	56
22-165(3806)	2.90	44.7	53

TUKEY-DMS = 0.516 Ton/Ha (7.95 qq/MZ) al 15%

CUADRO 11

PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONOMICAS
DE LOS HIBRIDOS HB-33, HB-11 Y DE SUS RESPECTIVOS PRO-
GENITORES EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.

GUATEMALA, 1979

GENEALOGIA	REND. TON/HA	ALT. PLAT. (cms)	DIAS FLOR	COB. MAZ.	ACAME RAIZ	% PUD MAZ
(23-86x29-244)F ₁ x43-46	6.01	222	58	12.2	8.6	10.5
(23-86x29-244)F ₁ ¹	5.26	203	57	10.5	11.8	14.2
23-86	4.60	183	57	13.4	10.4	17.7
29-244	4.48	210	58	8.5	8.6	15.8
43-46	4.62	223	60	8.2	10.3	13.9
(21-170x22-165)F ₁ 3806	5.24	222	58	6.2	9.0	10.0
(21-170x22-165)F ₁ ¹	5.37	201	59	9.1	7.0	13.2
21-170	4.17	194	59	4.5	8.9	14.8
22-165	4.11	181	58	10.8	5.2	18.3
3806	3.55	214	57	5.0	13.3	17.8
(22-165x3806)F ₁ x21-170	5.18	216	58	6.3	5.5	10.3
(22-165x3806)F ₁ ¹	2.90	203	60	13.2	20.4	13.5
22-165	4.11	181	58	10.8	5.2	18.3
3806	3.55	214	57	5.0	13.8	17.8
21-170	4.17	194	59	4.5	8.9	14.8
H-5	5.49	255	60	5.0	17.9	14.5

4.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD

El Cuadro 12 presenta el análisis de varianza combinado para estimar los parámetros de estabilidad (B_i y S^2_{di}) del rendimiento, se observa que las fuentes de variación de interés, variedades y variedades por ambiente fueron altamente significativas. El coeficiente de variación para el análisis combinado de rendimiento fue excelente (6.7%), lo cual apoya las inferencias que se puedan realizar en los resultados obtenidos.

El Cuadro 13 incluye las medias de rendimiento y parámetros de estabilidad para cada uno de los genotipos evaluados. El Cuadro 14 presenta las medias de rendimiento parámetros de estabilidad para cada grupo de materiales genéticos evaluados (cruzas simples, cruzas triples, cruzas dobles, cruzas intervarietales, variedades y familias).

4.3 ANALISIS DE HETEROSIS Y ALTURA DE PLANTA

El Cuadro 15 muestra los porcentajes de heterosis y altura de planta de cruzas simples y tripes evaluadas.

CUADRO 12

ANALISIS DE VARIANZA PARA ESTABILIDAD DE 25 GENOTIPOS DE MAIZ
EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.
GUATEMALA, 1979

FUENTE DE VAR.	GL	SC	CM	F.C.	5%	1%	SIGN
TOTAL	99	118.326					
VARIEDADES (V)	24	69.487	0.895	6.37	1.74	2.18	**
AMBIENTE (A)	3	48.839					
V x A	48						
AMB. (LINEAL)	1	0.037		2.39	1.74	2.18	**
V x A (LINEAL)	24	26.072	1.086				
DESV. PONDERADA	50	22.731	0.455				
VAR. 1	2	0.358	0.179	1.74	19.50		NS
2	2	0.122	0.061	0.59	"		NS
3	2	0.267	0.133	1.29	"		NS
4	2	0.416	0.208	2.02	"		NS
5	2	0.124	0.062	0.60	"		NS
6	2	1.468	0.234	2.27	"		NS
7	2	0.249	0.125	1.21	"		NS
8	2	0.211	0.105	1.02	"		NS
9	2	1.246	0.623	6.05	"		NS
10	2	1.257	0.628	6.08	"		NS
11	2	0.241	0.120	1.17	"		NS
12	2	0.197	0.098	0.95	"		NS
13	2	0.564	0.282	2.73	"		NS
14	2	1.312	0.656	6.37	"		NS
15	2	0.524	0.262	2.54	"		NS
16	2	2.259	1.129	10.96	"		NS
17	2	0.381	0.190	1.85	"		NS
18	2	0.799	0.399	3.88	"		NS
19	2	0.118	0.059	0.57	"		NS
20	2	0.355	0.177	1.72	"		NS
21	2	0.292	0.146	1.42	"		NS
22	2	0.321	0.160	1.56	"		NS
23	2	0.478	0.239	2.32	"		NS
24	2	1.136	0.568	5.51	"		NS
25	2	8.037	4.019	39.02	"		*
ERROR POND.	288	26.664	0.103				
DMS = 0.445							
CV = 6.7%							

CUADRO 13

ANALISIS DE ESTABILIDAD
 DESVIACIONES Y COEFICIENTES DE REGRESION DE LOS MATERIALES
 GENETICOS EVALUADOS EN CUATRO LOCALIDADES
 GUATEMALA, 1979

No.	MATERIAL EXPERIMENTAL	REND. Ton/Ha	S^2_{di}		Bi	
1	T-101	5.51	0.08	NS	0.81	NS
2	B-1	5.12	0.04	NS	0.73	NS
3	21-170(3806)	5.16	0.03	NS	1.65	*
4	21-170x22-165	5.37	0.10	NS	1.08	NS
5	22-165(3806)21-170	5.18	0.04	NS	0.95	NS
6	22-165(3806)	2.9	0.63	NS	0.96	NS
7	(21-170x22-165)3806	5.24	0.02	NS	1.31	NS
8	22-165	4.11	0.002	NS	1.32	NS
9	21-170	4.17	0.52	NS	1.24	NS
10	619x515	3.55	0.52	NS	0.98	NS
11	HB-53 CUYUTA-79A	5.28	0.02	NS	0.74	NS
12	(23-86x29-244)F ₁ x42-46	6.01	0.005	NS	1.40	NS
13	(23-86x29-244)F ₂ x43-46	6.06	0.18	NS	1.20	NS
14	22-63x43-46	5.07	0.55	NS	0.48	NS
15	(23-86x29-244)F ₁	5.26	0.16	NS	0.96	NS
16	(23-86x29-244)F ₂	3.06	1.03	NS	0.75	NS
17	22-63	5.28	0.09	NS	0.56	NS
18	23-86	4.60	0.30	NS	1.25	NS
19	29-244	4.48	0.04	NS	0.77	NS
20	43-46	4.62	0.07	NS	0.49	NS
21	ETO B-1 C ₃	4.38	0.04	NS	1.24	NS
22	HB-21	5.36	0.06	NS	0.92	NS
23	COM.-2 C ₂ CUYUTA 79-A	5.55	0.14	NS	1.00	NS
24	H-5	5.49	0.46	NS	0.92	NS
25	SANSAREÑO	3.61	3.91	*	0.10	*

* S^2_{di} , mayor que "0" y Bi mayor o menor que "1"

NS. S^2_{di} , igual a "0" y Bi igual a "1"; estimados al 5% de probabilidad

CUADRO 14

PARAMETROS DE ESTABILIDAD ESTIMADOS
EN CRUZAS SIMPLES, TRIPLES Y VARIEDADES DE MAIZ
EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES
GUATEMALA, 1979

CRUZAS SIMPLES	Bi	Sdi ²	KG/HA
(21-170x22-165)F ₁	1.08	0.10	5370
(23-86x29-244)F ₁	0.96	0.16	5260
(21-170x3806)F ₁	1.65*	0.03	5160
(22-63x43-46)F ₁	0.48*	0.55*	5070
(23-86x29-244)F ₂	0.75	1.03	3060
(22-165x3806)F ₁	0.96	0.63	2900
$\bar{X}$	0.98 NS	0.42*	4470
CRUZAS TRIPLES			
(23-86x29-244)F ₂ x43-46	1.20	0.13	6006
(23-86x29-244)F ₂ x43-46	1.40	0.005	6001
(21-170x22-165)F ₁ x 3806	1.31	0.02	5024
(22-165x3806)F ₁ x21-170	0.95	0.04	5180
$\bar{X}$	1.21 NS	0.06 NS	5552
VARIEDADES			
COMP-2 C ₂ CUY-79A	1.00	0.14	5550
B-1	0.73	0.04	5120
ETO B-1 C ₃	1.24	0.04	4380
SANSAREÑO	0.10*	3.91**	3610
$\bar{X}$	0.77*	1.03*	4840
B-1 x ETO	0.87	0.08	5510
COMP-2 x 23-86	0.92	0.06	5360
$\bar{X}$	0.89	0.07	5435
H-5	0.92	0.46*	5.49

CUADRO 15

HETEROSIS DEL RENDIMIENTO Y ALTURA DE PLANTA DE CRUZAS
SIMPLES Y TRIPLES EVALUADAS EN CUATRO AMBIENTES
GUATEMALA, 1979

GENEALOGIA	KG/HA	% DE HETEROSIS			ALTURA PLANTA	
		PM ₁₁	F ₁	PM ₁₂	Cms	P $\bar{X}$
(23-86x29-244) 43-46	6001	130	114	131	222	108
(23-86x29-244) F ₁	5260	114	100	114	203	103
23 - 86	4600	99	86	100	183	100
29 - 244	4480	96	86	97	210	
43 - 46	4620	100	86	99	223	
(23-86x29-244) F ₂	<u>3060</u>	51	58*	66	<u>202</u>	103
(23-86x29-244) F ₂ x43-46	<u>6006</u>	130	114	131	<u>226</u>	109
(21-170x22-165) 3806	5240	<u>126</u>	98	<u>126</u>	222	108
21-170x22-165	5370	<u>129</u>	<u>100</u>	<u>129</u>	201	101
21-170	4170	100	78	100	194	100
22-165	4110	98	76	98	181	
3806	3550	85	66	85	214	

PM₁₁ = PROGENITOR DE MAYOR RENDIMIENTO

F₁₁ = F₁ DE LA CRUZA UTILIZADA COMO HEMBRA

PM₁₂ = PROGENITOR DE MAYOR RENDIMIENTO EN LA CRUZA F₁

* = DE PRESION DE F₁ A F₂

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE ACIS REFERENCIA

5. DISCUSION DE RESULTADOS

ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO

Es notable que el más alto valor para el coeficiente de regresión ($B_i = 1.65$), lo obtuvo una cruza simple de familias del híbrido HB-11, esto coincide con los datos reportados por Russel y otros (1968), quienes encontraron que cruza simples formadas con líneas endogámicas tuvieron los más altos valores para coeficientes de regresión y su respuesta fue considerablemente mejor a ambientes favorables.

En el presente estudio se encuentra que en promedio las cruza simples mostraron coeficientes de regresión más bajos que las cruza triples, pero estos no fueron significativos (Cuadro 14). Las desviaciones de regresión fueron similares a cero para el caso de cruza triples, lo cual sugiere mayor adaptación por su capacidad para amortiguar los cambios ambientales ya que su constitución genética es más heterogénea debido a que sus progenitores que son familias de hermanos completos poseen también más variación.

La cruza triple (23-86 x 29-244) 43-46 = HB-33, obtuvo el rendimiento promedio más alto (6006 kg/ha), a través de los cuatro ambientes donde se evaluaron los genotipos y mostró muy buena respuesta a todos los ambientes, estos resultados coinci-

den con los obtenidos por Soto y otros (1980) y Pineda (1980), los cuales mostraron que el híbrido HB-33 mostró excelente adaptación a la zona tropical baja de Guatemala.

En general los coeficientes de regresión más altos fueron obtenidos por los genotipos más rendidores, coincidiendo estos resultados con los reportados por Córdova (1973), Márquez y Córdova (1976), Córdova y Dávila (1978); quienes encontraron una correlación estrecha y positiva entre coeficientes de regresión (Bi) y rendimiento.

HETEROSIS DEL RENDIMIENTO Y ALTURA DE PLANTA

Las estimaciones de heterosis (Cuadro 15), muestran valores hasta de 30% mayores que el mejor progenitor (43-46) involucrado en la craza triple (23-86 x 29-244) 43-46, sin embargo es notable que esta craza triple rinde 14% más que su craza simple hembra (23-86 x 29-244).

Algo semejante ocurre en el caso de la craza triple (21-170 x 22-165) 3806, aunque es similar en rendimiento que su craza simple hembra (21-170 x 22-165).

La literatura es amplia al mostrar efectos heteróticos en maíz, y estos efectos han mostrado su máxima expresión en orden descendente para cruza simples, cruza triples y cruza dobles, esto es verdad cuando se utilizan progenitores que han sufrido un largo proceso de endogamia.

En el presente trabajo, el valor más alto de heterosis para rendimiento, se obtuvo en cruzas triples de hermanos completos, esto es comprensible si se considera que los progenitores no han sufrido proceso de endogamia drástica (autofecundación) y que en el proceso de mejoramiento (cinco ciclos de hermanos completos), se han mejorado estos progenitores al hacer énfasis en los efectos genéticos aditivos más parte de los efectos de dominancia ($1/2\sigma^2A + 1/4\sigma^2D$).

Estos resultados coinciden con los reportados por Velásquez y Córdova (1978), Córdova y Otros (1980). Para altura de planta no se encontró respuesta para heterosis, confirmándose la capacidad acumulada de estos materiales para reducir la altura de planta y mantener la expresión máxima de rendimiento.

IMPLICACIONES EN PRODUCCION DE SEMILLA Y GRANO COMERCIAL

Es de hacer notar (Cuadro 15), que los costos de producción de semilla se reducen al producir cruzas triples, ya que una craza simple es mejor productora de semilla que un progenitor, en el caso específico de (23-86 x 29-244) se obtuvieron ganancias en rendimiento de 15% y 19% respecto a sus progenitores 23-86 y 29-244.

Cuando se utilizó la primera y segunda generación de la craza simple hembra (23-86 x 29-244) y se cruzó con el progeni-

tor 43-46, para formar la F_1 del híbrido HB-33, se notan (Cuadro 10) iguales rendimientos, debido a la restauración de la heterósis. Sin embargo hay un decremento del 42% en rendimiento por depresión endogámica de F_1 a F_2 cuando se utilizó la cruza simple hembra, resultando útil la cruza simple de 2a. generación para producir semilla, sólo en casos de emergencia y en consecuencia el alza en el costo de semilla; aunque el agricultor siempre se beneficiará de los altos rendimientos de la F_1 del híbrido triple. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Josephson y Kincer (1977), al utilizar la semilla F_2 para formar cruzaes dobles, no observaron diferencias significativas en rendimiento a los híbridos formados con semilla F_1 , ni en las medias para los caracteres de planta y mazorca, pero los híbridos producidos con solo semilla F_2 mostraron mayor varabilidad para algunos caracteres.

CARACTERISTICAS AGRONOMICAS

Las características agronómicas de los híbridos triples HB-33 y HB-11, superan al híbrido doble H-5 en cuanto a acame de raíz y porcentaje de pudrición de mazorca, y son similares en cobertura de mazorca.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La producción de semilla es más barata cuando se producen cruza triples debido a que una cruza simple es mejor productora de semilla que un progenitor. En el presente trabajo pudo verse que la cruza simple, hembra del HB-33 tubo 15% más rendimiento que sus progenitores y la cruza triple (HB-33) que finalmente siembra el agricultor expresó un 14% de heterosis para rendimiento que su cruza simple, y 30% más que el progenitor más alto.
2. En la cruza intervarietal T-101 se tuvo un 8 y 16% más de rendimiento que sus progenitores debido al aprovechamiento del vigor híbrido.
3. La cruza triple (21-170x22-165)3806 expresó 26% de heterosis para rendimiento en comparación a su progenitor más rendidor, y fue similar en rendimiento que su cruza simple hembra. En cuanto a altura de planta no hubo expresión de heterosis.
4. Las cruza mostraron coeficientes de regresión más altas y desviaciones de regresión más bajas.
5. En base a estos resultados se recomienda producir a nivel comercial cruza triples debido a su mejor costo de producción de semilla y a su potencial de rendimiento.

7 BIBLIOGRAFIA

1. ALLARD, R.W. y BRADSHAW. Implication of genotype environment interactions, in applied plant breeding. Crop Sci. 4:503-509. 1967.
2. CARBALLO, C.A. y MARQUEZ, S.P. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y La Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. Agro-Ciencias, 5(1): 129-146. 1970.
3. CORDOVA, H.S. Uso de Parámetros de estabilidad para evaluar el comportamiento de variedades. Guatemala, ICTA, 1978 35 p.
4. CORDOVA, H.S., et al. Heterosis del rendimiento y altura de planta en variedades de maíz. En: XXV Reunión Anual del PCCMCA. Tegucigalpa, Honduras. 19-23 marzo. 1979
5. CORDOVA, H.S., POEY, F.P. y VELASQUEZ, R.R. Respuestas correlacionadas para rendimiento y características agronómicas de cruza dobles y triples de FHC de maíz (*Zea mays* L.) en Guatemala. En: XXV Reunión Anual del PCCMCA. Tegucigalpa, Honduras. 19-22 de marzo, 1979.
6. DARDON, D.E. Evaluación, caracterización y herencia de la punta descubierta en genotipos tropicales de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agr. Guatemala, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1980. 66 p.
7. GARDNER, C.D. y LONNQUIST, J.H. Teoría genética-estadística y procedimientos útiles para el estudio de las variedades y cruzamientos intervarietales de maíz. México, D.F., CIMMYT, Folleto de Investigación N° 2. 1966.
8. GARDNER, C.D. y MARECK, J.H. Stability of yield of original and improved populations of maize-grown over a wide range of environments. Agron. Abst. s/n, s/p. Am. Soc. Agron. 1977.
9. JOSEPHSON, L.M. y KINCER, H.C. The use of F_2 single cross as parents of double cross seed. Agron Abst. s/n, s/p. Am. Soc. Agron. 1977.
10. MIEZAN, K., WALTER, T.L., MILLIKEN, G.A. y LIAN, G.H. Problems in using regression coefficients as stability parameters in a breeding program. Agron. Abst. s/n, s/p. Am. Soc. Agron. 1977.
11. MOLL, R.H., COCKERHAM, C.C., STUBER, C.W. y WILLIAMS, W.P. Selection responses, genetics environment interactions, and heterosis with recurrent selection for yield in maize, 1978. Cropsay 18 (4): 641-645.

12. PAUL, I. Evaluación de variedades e híbridos precoces de maíz (Zea mays L.) seleccionados bajo condiciones limitadas de humedad. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1979, 57 p.
13. SIMONDS, N.W. Variability in crop plants, its use and conservation. Biol. Rev. 87: 422-465, 1962.
14. SOTO, G.J. Expresión de heterosis en cruces intervarietales de maíces amarillos tropicales. Tesis Ing. Agr., Guatemala, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1979. 40 p.
15. VELASQUEZ, R.R. Formación de híbridos simples en base a familias de hermanos completos provenientes de diferentes poblaciones de maíz (Zea mays L.). Tesis Mag. Sc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1978. 70 .

Vo.Bo.


Cristina de Cabrera
DOCUMENTALISTA

8. APENDICE

CUADRO 16

RENDIMIENTOS PROMEDIO EN TONELADAS POR HECTAREAS
DE 25 MATERIALES DE MAIZ EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.
GUATEMALA, 1979

MATERIA EXPERIMENTAL	MAQ.	JUT.	CUY.	CUY.	$\bar{Y}$
T-101	4.72	6.02	5.97	5.22	5.51
B-1	4.54	5.23	5.67	5.03	5.12
21-170 x (3806)	4.09	5.24	6.49	4.81	5.16
21-170 x 22-165	4.92	5.84	6.13	4.59	5.37
22-165(3806)x21-170	4.51	5.41	5.88	4.94	5.18
22-165x(3806)	1.65	2.87	3.57	3.53	2.9
(21-170x22-165) 3806	4.43	5.21	6.37	4.97	5.24
22-165	3.19	4.58	4.98	3.69	4.11
21-170	4.07	4.49	5.23	2.91	4.17
619x615	2.86	3.15	4.47	4.04	3.55
HB-53 CUYUTA-79A	4.76	5.12	5.99	5.26	5.28
(23-86x29-244)F ₁ x42-46	5.18	6.37	7.04	5.45	6.01
(23-86x29-244)F ₂ x43-46	5.65	6.50	6.97	5.14	6.06
22-63 x 43-46	5.20	4.26	5.98	4.86	5.07
(23-86 x 29-244)F ₁	4.25	5.56	5.85	5.37	5.26
(23-86x29-244)F ₂	2.92	1.92	4.29	3.10	3.06
22-63	5.45	4.93	5.99	5.04	5.28
23-86	3.88	5.31	5.23	4.49	4.6
29-244	3.87	4.69	5.01	4.34	4.48
43-46	4.58	4.31	5.27	4.33	4.62
ETO B-1 C ₃	3.70	4.91	5.20	3.72	4.38
HB-21	4.66	5.91	5.87	5.00	5.36
COMP-2 C ₂ CUY-79A	4.84	6.24	6.08	5.06	5.55
H-5	5.09	4.79	6.65	5.45	5.49
SANSAREÑO	<u>4.01</u>	<u>5.69</u>	<u>2.88</u>	<u>1.87</u>	<u>3.61</u>
I	- 0.58	0.16	0.74	- 0.33	4.82

CUADRO 17

PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONOMICAS
DE 25 GENOTIPOS DE MAIZ EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.
GUATEMALA, 1979

	MATERIAL GENETICO	REND . TON/HA	ALT. PLT. (cms)	DIAS FLOR	COB. MAZ.	ACAME RAIZ	% PUD MAZ.
13.	(23-86x29-244)F ₂ x43-46	6.06	226	59	9.7	8.5	10.9
12.	(23-86x29-244)F ₁ x43-46	6.01	222	58	12.2	8.6	10.5
23.	COMP.-2 C ₂ CUYUTA-79A	5.55	205	57	7.0	9.6	15.7
01.	T-101	5.51	221	59	6.6	9.6	13.0
24.	H-5	5.49	255	60	5.0	17.9	14.5
04.	(21-170x22-165)F ₁	5.37	201	59	9.1	7.0	13.2
22.	HB-21	5.36	211	59	14.7	6.5	12.9
11.	HB-53 CUYUTA-79A	5.28	217	58	7.5	6.9	13.8
17.	22-63	5.28	211	59	6.1	9.4	14.2
15.	(23-86x29-244)F ₁	5.26	203	57	10.5	11.8	14.2
07.	(21-170x22-165)F ₁ x3806	5.24	222	58	6.2	9.0	10.0
05.	(22-165x3806)F ₁ x21-170	5.18	216	58	6.3	5.5	10.8
03.	21-170x3806	5.16	227	58	5.0	8.9	11.9
02.	B-1	5.12	209	59	7.5	11.9	12.2
14.	22-63x43-46	5.07	219	60	7.8	7.5	12.8
20.	43-46	4.62	223	60	8.2	10.3	13.9
18.	23-86	4.60	183	57	13.4	10.4	17.7
19.	29-244	4.48	210	58	8.5	8.6	15.8
21.	ETO B-1 C ₃	4.38	215	59	5.4	6.3	16.3
09.	21-170	4.17	194	59	4.5	8.9	14.8
08.	22-165	4.11	181	58	10.8	5.2	18.3
25.	SANSAREÑO	3.61	236	55	5.0	10.1	19.3
10.	619x615	3.55	214	57	5.0	13.8	17.8
16.	(23-86x29-244)F ₂	3.06	202	59	16.5	14.7	12.1
06.	22-165 (3806)	2.90	203	60	13.2	20.4	13.5

CUADRO 18

PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONOMICAS
DE LAS VARIEDADES EVALUADAS EN CUATRO AMBIENTES
GUATEMALA, 1979

MATERIAL EXPERIMENTAL	REND. TON/HA	ALT. PLT. (cms)	DIAS FLOR	COB. MAZ.	ACAME RAIZ	% PUD. MAZ.
COMP.-2 C ₂ CUY-79A	5.55	205	57	7.0	3.6	15.7
B-1	5.12	209	59	7.5	11.9	12.2
ETO B-1 C ₃	4.38	215	59	5.4	6.3	16.3
SANSAREÑO	3.61	236	55	5.0	10.1	19.3
H-5	5.49	255	60	5.0	17.9	14.5

CUADRO 19

PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONOMICAS
DE LOS HIBRIDOS INTERVARIETALES Y DE SUS RESPECTIVOS
PROGENITORES EVALUADOS EN CUATRO AMBIENTES.
GUATEMALA, 1979

GENEALOGIA	REND. TON/HA	ALT. PLT. (cms)	DIAS FLOR	COB. MAZ.	ACAME RAIZ	% PUD. MAZ.
B-1 x ETO B-1 C ₃	5.51	221	59	6.6	3.6	13.0
B-1	5.12	209	59	7.5	11.9	12.2
ETO B-1 C ₃	4.38	215	59	5.4	6.3	16.3
COMP.-2C ₂ x23-86	5.36	211	59	14.7	6.5	12.9
COMP.-2C ₂	5.55	205	57	7.0	9.6	15.7
23-86	4.60	183	57	13.4	10.4	17.7
H-5	5.49	255	60	5.0	17.9	14.5

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal: No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto
.....

"IMPRIMASE"




DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.
DECANO