

APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE LINEAS S_3
DERIVADAS DE DOS FAMILIAS PROGENITORAS DE UN
HIBRIDO DE MAIZ (Zea mays L.)

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ciencias Agrícolas

TE
UVE
Agos
5/20
1986

APTITUD COMBINATORIA GENERAL DE LINEAS S_3
DERIVADAS DE DOS FAMILIAS PROGENITORAS DE UN
HIBRIDO DE MAIZ (Zea mays L.)

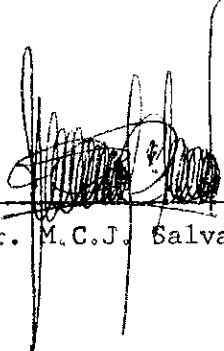
VICTOR HUGO SAMAYOA DEL CID

Trabajo de investigación presentado
para optar el título de
Ingeniero Agrónomo en el grado académico de
Licenciado en Ciencias Agrícolas

Guatemala
1986

Vo. Bo.:

(f)



Ing. Agr. M.C.J. Salvador Castellanos
Asesor

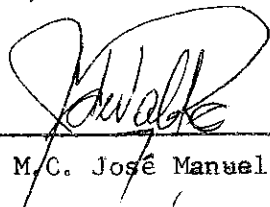
Tribunal:

(f)



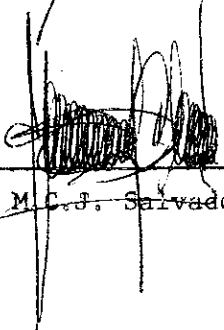
~~Ing. Agr. M.C. Alejandro Fuentes O.~~

(f)



Ing. Agr. M.C. José Manuel del Valle

(f)



Ing. Agr. M.C.J. Salvador Castellanos

Fecha de aprobación: 28 de Julio de 1986.

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS: Quien me ha fortalecido en todo momento.
- A MI MADRE: Marta Elena
Con cariño y agradecimiento eterno por sus esfuerzos y sabios consejos.
- A MI ESPOSA: Blanca Elizabet
Por su comprensión, abnegación y amor.
- A MIS HIJOS: Hugo Leonel
Marta Olivia
Razón de mi superación.
- A MIS HERMANOS: Edgar Humberto
Héctor Amílcar
Antonio
Flor de María
Con cariño.
- A MIS FAMILIARES.
- A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO.
- A LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA.

Agradezco a las siguientes personas e instituciones que me prestaron su valiosa colaboración en la realización del presente trabajo:

A mi asesor:

Ing. Agr. J. Salvador Castellanos.

Al personal del Programa de Maíz del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

Al Ing. Agr. Marco Antonio Dardón S. por su colaboración y asesoría al presente trabajo.

Al Ing. Agr. Alejandro Fuentes.

Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

A la Universidad del Valle de Guatemala.

Al Ing. Agr. Marco Tulio Urizar.

A la Unidad de Formación de Recursos Humanos, con especial agradecimiento a:

P. Agr. Héctor Adolfo Castillo (ex-Director)

P. F. Rafael Carlos Briones Anzueto

Ing. Agr. Alfredo Ortiz Garzaro

A mis compañeros de trabajo.

A mis compañeros de promoción de la Universidad del Valle.

A todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera, hicieron posible la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCION	1
A. Objetivos	3
B. Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
A. Línea autofecundada o endocriada	6
1. Importancia de la diversidad o <u>variabilidad</u> genética	6
2. Fuente de germoplasma	7
3. Desarrollo y evaluación de líneas puras	7
B. Razones para el cruzamiento de líneas puras	9
C. Clases de híbridos de maíz	9
D. Formación de variedades híbridas	10
E. Aptitud combinatoria general	10
1. Método clásico o visual	13
2. Método de la prueba temprana	13
3. Método de líneas <u>Per se.</u>	14
4. Método de cruzas de prueba de mestizos	14
F. Concepto de probador para evaluar líneas puras	15
G. Predicción de híbridos	15
H. Heredabilidad	17
III. MATERIALES Y METODOS	19
A. Localización del área experimental	19
B. Tipo de Suelos	19
C. Características climáticas	20
D. Formación del material genético	20

E.	Planteamiento para la evaluación del material genético	22
	1. Diseño experimental	22
	2. Fecha de siembra y cosecha	22
	3. Tamaño de la parcela y distancia de siembra	22
	4. Manejo del ensayo experimental	23
	5. Datos recopilados	23
	6. Rendimiento por parcela	23
F.	Análisis estadístico	24
	1. Análisis de varianza por localidad	24
	2. Análisis de varianza combinado	27
	3. Comparación múltiple de medias	30
	4. Estimación de aptitud combinatoria general	30
	5. Predicción del comportamiento de híbridos dobles a partir de dos cruza <u>s</u> triples	30
	6. Estimación de heredabilidad	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	33
	A. Rendimiento y características agro <u>n</u> ómicas	33
	B. Estimación de aptitud combinatoria general	40
	C. Análisis de varianza	40
	D. Predicción del comportamiento de hí <u>br</u> idos dobles a partir de dos cruza <u>s</u> triples	41
	E. Estimación de heredabilidad	41
V.	CONCLUSIONES	47
	BIBLIOGRAFIA	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Localización de las localidades donde se realizó el estudio	19
2	Características climáticas de las tres localidades donde se realizó el estudio	20
3	Análisis de varianza para un diseño de bloques incompletos o látice simple	26
4	Análisis de varianza combinado para un diseño de bloques incompletos o látice simple	29
5	Medias de rendimiento, nivel de significancia y estimación de aptitud combinatoria general para los 12 mestizos seleccionados del progenitor 29-5, evaluados en tres localidades del trópico de Guatemala, 1,985.	34
6	Características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 29-5 evaluados en 3 localidades del trópico de Guatemala, 1,985	35
7	Medias de rendimiento, nivel de significancia y estimación de aptitud combinatoria general para los 20 mestizos seleccionados del progenitor 22-100, evaluados en tres localidades del trópico de Guatemala, 1,985	37
8	Características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 22-100 evaluados en 3 localidades del trópico de Guatemala, 1,985	38
9	Análisis de varianza combinado de látice en	

	bloques al azar para la variable rendimiento en Ton/Ha de los mestizos evaluados del progenitor 29-5 a través de tres localidades	42
10	Análisis de varianza combinado de látice en bloques al azar para la variable rendimiento en Ton/Ha de los mestizos evaluados del progenitor 22-100 a través de tres localidades	43
11	Predicción del comportamiento de híbridos <u>do</u> bles considerados superiores, a partir de dos cruza <u>s</u> triples provenientes de los <u>mesti</u> zos seleccionados de los progenitores 29-5 y 22-100	44
12	Componentes de varianza fenotípica (σ_p^2) y estimación de heredabilidad en sentido amplio (H^2) para el análisis combinado de los mestizos de los progenitores evaluados	45

RESUMEN

El maíz es uno de los cultivos más importantes y la principal fuente de alimentación para los guatemaltecos, sin embargo el rendimiento promedio por unidad de área a nivel nacional ha sido bajo a causa de varios factores que han sido limitantes, entre los cuales se pueden mencionar: El uso de prácticas agrícolas tradicionales no adecuadas y el cultivo de variedades criollas de bajo rendimiento. Ante estos problemas, los fitomejoradores se han dedicado a la búsqueda de mejor tecnología y material genético más productivo que permita atenuar los factores incidentes en la baja productividad del maíz.

El objetivo del presente trabajo consistió en identificar las mejores líneas S_3 , derivadas en dos familias progenitoras de un híbrido de maíz blanco, en base al comportamiento de sus mestizos evaluados en tres localidades del trópico de Guatemala, así como también; predecir e identificar aquellos cruces superiores en rendimiento y características agronómicas, con la finalidad de mejorar el híbrido original que sirvió de base. La hipótesis planteada fue: Las líneas de maíz de un mismo origen a evaluarse en el presente estudio, presentan diferente aptitud combinatoria general para la variable rendimiento; la cual fue aceptada según el análisis de varianza correspondiente.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques incompletos o látice simple evaluándose en tres localidades con dos repeticiones por localidad. Esta investigación fue realizada durante el ciclo de cultivo de 1,985.

De los resultados de la evaluación se identificaron 10 mestizos que se comportaron superiores al híbrido testigo original HB-83 y algunos superaron a otros materiales testigos generados por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) o de compañías privadas. Todos los mestizos son cruces triples entre una línea y el probador, que es una craza simple de líneas.

El mayor potencial de rendimiento fue obtenido en los mestizos del progenitor 22-100, los cuales mostraron mayor expresión de aptitud combinatoria general oscilando ésta para los mestizos seleccionados entre 1318 y 378 Kg/Ha; mientras que para el progenitor 29-5, esta aptitud combinatoria general osciló entre 976 y 430 Kg/Ha.

Con respecto a las estadísticas estimados en el análisis de varianza combinado, estos mostraron una alta diferencia estadística entre los genotipos para la variable rendimiento en los dos grupos de mestizos evaluados.

Las líneas S_3 que conformaron los mestizos seleccionados se considera que pueden expresar mejores características al realizar sus cruza dialélicas, y con esta información se pretende estructurar futuros híbridos con mayor potencial de rendimiento y mejores características agronómicas; como alternativa a corto plazo, antes de estimar la aptitud combinatoria específica de las líneas S_3 seleccionadas, se propone la evaluación de los mestizos que superaron al testigo HB-83, así como los híbridos dobles superiores predichos.

I. INTRODUCCION

El hombre depende casi absolutamente de las plantas para su alimentación, por ello ha desarrollado técnicas eficientes para el manejo de los cultivos y el mejoramiento genético de las especies, con el fin de aumentar la productividad agrícola y así enfrentar la creciente demanda de alimentos de una población en constante crecimiento dentro de un mundo de superficie limitada.

Dentro de los estudios citológicos efectuados en maíz, destaca el de McClintock et al (1,981) (14), quienes estudiaron las constituciones cromosómicas del maíz y su congénere cercano, el teocintle. Una de las conclusiones de mayor importancia es la aportada por Kato(1,976) indicando que el teocintle mexicano proveniente de recolecciones efectuadas en un área entre el sur de Guanajuato y Guerrero central, tienen plantas que exhiben todos los diversos componentes cromosómicos que se encuentran en el maíz y además otros aún no observados en este cultivo.

Lo anterior es un aporte científico sobre el origen del maíz, lo cual se complementa con el hallazgo de polen fósil en las excavaciones efectuadas en la construcción de la Torre Latinoamericana en México D. F., el cual según la prueba de C_{14} determinó un dato aproximado de --- 80,000 años de antigüedad (9). Otros descubrimientos arqueológicos -- han demostrado que hace 7,000 años, en México ya se aprovechaba el -- maíz silvestre (2). Actualmente, el maíz es una de las principales especies de cultivo en el mundo, y en nuestro país; juega un papel importante en la dieta alimenticia ya que es una de las fuentes primordiales de proteína y carbohidratos para la población guatemalteca.

Según la publicación "Investigación y Producción de Maíz en Guatemala", 1,981 (3), cada guatemalteco consume diariamente 350 gramos de maíz aproximadamente, siendo éste el alimento dominante en su dieta. En el área rural cada agricultor produce maíz por lo menos para satisfacer sus necesidades familiares. Aproximadamente el 45 por ciento de la superficie arable total del país se cultiva con maíz; por ello, se

desarrollan proyectos a través de las instituciones del Sector Público-Agropecuario y de Alimentación, para brindar asistencia técnica y crediticia, que incremente su producción. En general, los rendimientos promedios que se obtienen actualmente son bajos debido a factores incidentes en la agricultura nacional, dentro de los cuales se pueden citar: El uso de prácticas agrícolas no adecuadas y el cultivo de variedades tripllas de bajo rendimiento, lo cual sugiere la importancia de generar tecnología y variedades mejoradas que superen estos rendimientos.

Una de las alternativas para incrementar los rendimientos por unidad de área es a través de la formación de variedades híbridas, metodología que permite explotar en mejor forma los factores heteróticos que puedan expresar los materiales. Generalmente, el proceso de formación de híbridos incluye dentro de su metodología, pruebas de aptitud combinatoria general (A.C.G.), ya que a través de estas se hace posible identificar líneas con buena capacidad de combinación que se puedan utilizar en la estructuración de híbridos con mayor potencia de rendimiento y mejores características agronómicas. Estas pruebas consisten en la evaluación de mestizos entre líneas endocriadas cruzadas por un probador común.

En el presente trabajo se pretende aprovechar la información que se tiene en cuanto a la buena habilidad de combinación que presentan -- los dos progenitores involucrados en el estudio, por lo que se procedió a evaluar los mestizos entre líneas S_3 procedidos de ambos progenitores -- y que fueron cruzados por un probador común. Esta evaluación se realizó en tres localidades de la zona tropical baja de Guatemala, estas -- éstas ubicadas en los Departamentos de Guatemala, Escuintla y Suchitepéquez.

Con la generación de materiales híbridos se pretende llevar al agricultor, mejores alternativas que hagan del cultivo del maíz, una actividad más rentable y que esto apoye un constante abastecimiento de granos que cubra las necesidades del mercado de consumo nacional.

A. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron:

1. Identificar las mejores líneas S_3 derivadas de dos familias -- progenitoras de un híbrido de maíz blanco, en base al comportamiento de los mestizos evaluados en tres localidades del trópico de Guatemala.
2. Predecir híbridos dobles que superen al híbrido testigo original HB-83, en base a la información obtenida de los cruces trí ples mestizos evaluados.
3. Identificar los mejores cruces triples mestizos que superen en características agronómicas al híbrido testigo original HB-83.

B. Hipótesis

Como hipótesis para ser evaluada a nivel de campo se planteó la si guiente:

Las líneas de maíz de un mismo origen a evaluarse en el presen te estudio, presentan diferente aptitud combinatoria general para la variable rendimiento.

II. REVISION DE LITERATURA

Los botánicos dan al maíz el nombre de Zea mays. La palabra Zea - significa cereal (en griego) y la palabra mays quiere decir, que contiene sustancias (21).

Gregor Méndel estableció a fines del siglo pasado, las bases de la Genética la cual sirvió de base para los primeros estudios científicos sobre la mejora del maíz, los cuales se remontan a 1,905, cuando G. H. Shull (21), inició sus experimentos de autofecundación en estas plantas tratando de establecer la influencia del modo de polinización en el número de hileras de granos de las mazorcas.

E. M. East, citado por Wilson y Richer (21), hizo trabajos sobre los efectos de la autopolinización y la fecundación cruzada. Los conocimientos aportados por estas investigaciones al mejoramiento del maíz, se pueden resumir así:

1) El aislamiento de líneas autofecundadas con buenas perspectivas que se reproduzcan iguales a sí mismas en relación con los caracteres que posean; 2) la determinación de las líneas más productivas en las cruces y 3) la utilización de las mejores cruces para la producción comercial de maíz híbrido.

En 1,909 se hicieron importantes aportes al mejoramiento del maíz, cuando el doctor Shull sugirió un método para la producción de semilla híbrida. El año anterior, él había indicado que, "un campo ordinario de maíz, está compuesto por muchos híbridos complejos, cuyo vigor disminuye al autofecundarse y que el fitogenetista debería luchar por mantener las mejores combinaciones". Como resultado de sus estudios, se definió un plan de mejoramiento que consiste en: a) Autofecundar, para obtener líneas puras y b) cruzar las líneas puras (autofecundadas), para producir líneas híbridas de producción uniforme (16).

El mejoramiento del maíz comprende la mejora sistemática del cultivo, por lo cual se debe controlar la ascendencia de la semilla. El fi-

tomejorador distingue las diferencias importantes del material vegetal en estudio y selecciona e incrementa los tipos más deseables (12).

Según Poehlman (16), el maíz es una especie alógama donde aproximadamente el 95 por ciento de la polinización es cruzada y el 5 por ciento es efectuada por medio de una autopolinización. La mayor parte del polen que poliniza a una mazorca de maíz, proviene generalmente, de plantas inmediatamente cercanas.

En el maíz se han realizado muchos estudios genéticos debido a -- que: a) Es una planta producida muy extensamente; b) las polinizaciones cruzadas o las autopolinizaciones se pueden efectuar con facilidad; c) se obtienen grandes cantidades de semilla de una sola planta; d) e existen muchas características hereditarias de fácil observación y e) el maíz contiene muchos caracteres recesivos que se manifiestan mediante la autofecundación, por ser una especie de polinización cruzada. El hecho de que el sistema de producción de maíz híbrido se haya establecido como consecuencia de estudios sobre la herencia, ha estimulado nuevas investigaciones genéticas en esta especie (16).

Shull et al. citados por Poehlman (16), determinaron que los híbridos de maíz tenían mayor vigor que las líneas endogámicas, debido a que estas últimas disminuyen su vigor por el aumento de homocigosis -- que causa la autofecundación. La disminución de vigor de la endocria se equilibra después de varias generaciones de autofecundaciones por -- la reunión de genes homocigotos recesivos que se vuelven deletereos y genes homocigotos dominantes que son favorables para el vigor; a esta reducción de vigor se le llama depresión endogámica según Poey et al. (17).

La endogamia decrece conforme aumenta el tamaño de la población, debido a la variabilidad que poseen las variedades de polinización libre (17).

Shull citado por Jugenheimer (12), refiriéndose a la endogamia in dica que el objetivo del mejoramiento no debe ser encontrar la mejor --

línea pura, sino que encontrar y mantener la mejor combinación híbrida. El maíz híbrido se produce al cruzar líneas endocriadas seleccionadas. La obtención o el desarrollo de líneas es por lo tanto, el primer requisito de un programa de maíz híbrido.

Para la formación de híbridos, la aptitud combinatoria general con lleva a derivar los mejores materiales entre diversas poblaciones, en lo referente a características agronómicas (5).

A. Línea autofecundada o endocriada.

Según Poey et al. (17), la autofecundación es el método más común utilizado para formar líneas endogámicas o líneas puras, en el cual el polen de una planta se aplica a sus propios estigmas. Este proceso de endogamia es acompañado de selección, hasta obtener plantas aparentemente homocigotas, lo que requiere de 5 a 7 autofecundaciones. La evaluación final de las líneas puras se puede determinar mediante el comportamiento de los híbridos donde intervienen.

Según Brauer (2), "la formación de líneas homocigotas tiene como objetivo final, encontrar combinaciones eficientes para producir variedades híbridas comerciales. La prueba final para decidir qué líneas --han de usarse comercialmente, es la aptitud combinatoria, medida a través de la mayor productividad de los híbridos resultantes".

1. Importancia de la diversidad o variabilidad genética.

La diversidad o variabilidad genética equivale a la materia prima de donde se puede lograr progreso en la selección. Si la variación es pequeña o no existe, no podrán ser identificados suficientes individuos superiores que logren mejorar la media de la característica que se selecciona (17).

La diversidad genética es necesaria para desarrollar híbridos de comportamiento superior. Eckhardt y Bryan (1,940), encontraron que las cruza simples cuyos progenitores eran diferentes, producían cruza dobles con rendimientos elevados.

Hayes e Immer (1,942), indican que "la diversidad genética -- puede tener igual o mayor valor que la aptitud combinatoria (12).

Con respecto a cruzamientos entre líneas endogámicas de diferentes poblaciones, Wu citado por Velásquez (21), determinó que las cruas simples provenientes de líneas de una misma población, rindieron menos que las cruas de líneas de diferente población.

2. Fuente de germoplasma.

Como ya se indicó, la hibridación se produce al cruzar líneas endocriadas seleccionadas, por lo cual, la fuente de origen es importante, ya que de aquí dependen las características que se quieren obtener cuando se cruzan con otras líneas. Por ello es necesario seleccionar plantas que no hayan estado emparentadas, para que cuando éstas se hibriden no tiendan a la endogamia, por lo cual la selección del material original dependerá de los objetivos que se persigan.

Las variedades de polinización libre fueron en el pasado, la fuente principal para la obtención de líneas autofecundadas. Poey et al. (17), indican que la fuente de germoplasma para la obtención de líneas puras son: Las variedades de polinización libre con alto potencial de rendimiento y características agronómicas deseables, tales como: Planta baja, resistencia a enfermedades, a acame, a insectos, precosidad y otros atributos que el mejorador de maíz considere necesarios.

Poehlman (16), indica que se pueden obtener líneas autofecundadas partiendo de cruas simples, de cruas dobles, de cruas múltiples de cruas de líneas por variedad o de variedades sintéticas. Para ello, es necesario el mejoramiento poblacional de la fuente de germoplasma, para capitalizar la variabilidad genética aditiva presente en dicho material, previa a la extracción de líneas endogámicas.

3. Desarrollo y evaluación de líneas puras.

En plantas alógamas, el desarrollo de líneas puras implica un proceso de autofecundación acompañada de selección.

Las líneas puras generalmente se mejoran para introducirles caracteres tales como: Prolificidad, resistencia a enfermedades y reducción de altura de planta (17).

En el desarrollo de líneas puras, existen factores genéticos que pueden causar un fracaso; por ejemplo (12): a) El elevado número de genes; b) los efectos enmascaradores del medio ambiente en el programa de selección; c) la compleja interacción genética y d) una falla en el método para aislar esas líneas.

Existen varios métodos de desarrollo de líneas puras, pero la elección de uno de ellos dependerá de la disponibilidad de tiempo y recursos; éstos métodos son los siguientes: Método de selección mazorca por mata. Este método fue propuesto por Jones y Singleton (1,934) (12) y consiste en sembrar una mata con un número de tres a cuatro plantas - de cada mazorca seleccionada en cada ciclo de selección, lo cual permite tener en un área pequeña, un gran número de líneas. El método clásico; el cual comprende la selección de líneas endocriadas durante el período de autofecundación, tomando como base la apariencia física de un surco de plantas sembradas con semillas de la misma mazorca. La mayoría de los híbridos actuales están formados por líneas desarrolladas -- por este método.

Las plantas que serán autofecundadas (generalmente 1000) (12), deben ser seleccionadas por su vigor, resistencia a enfermedades y otras características no se pueden detectar cuando se realiza la polinización es necesario volver a seleccionar al momento de la cosecha, para descartar aquellas plantas débiles o susceptibles a enfermedades, al acame o con mazorca pequeña o podrida. Poey et al. (17), indican que esta selección debe practicarse entre y dentro de familias.

Las plantas seleccionadas anteriormente, son llamadas S_0 (16), sus mazorcas son desgranadas en forma separada y luego se efectúa la siembra siguiendo el método de mazorca por surco en el siguiente ciclo, practicándosele nuevamente la presión de selección y calificación de características agronómicas deseables (17). En este ciclo, las plantas son

llamadas S_1 (primera generación autofecundada)... Luego se continúa el mismo procedimiento hasta llegar a la S_4 o S_6 , según los objetivos del mejoramiento y del criterio del fitomejorador. Las líneas que sobrevivan el proceso de selección, serán utilizadas en las pruebas de aptitud combinatoria.

Poey et al. (17), indica que en la formación de líneas puras es conveniente que las generaciones endogámicas se practiquen a diferentes densidades de población, permitiendo con esto, que las líneas que sobrevivan, resistan altas densidades de población en las combinaciones híbridas.

B. Razones para el cruzamiento de líneas puras.

Según Jugenheimer (12), "todas las líneas puras de maíz desarrolladas hasta ahora, son inferiores a las variedades de polinización libre, tanto en vigor como en rendimiento. Hasta que no se desarrollen líneas más productivas, el uso final de las líneas puras se encuentra en la producción de híbridos o compuestos. Las mejores combinaciones híbridas de líneas seleccionadas dan incrementos sustanciales en el rendimiento sobre las mejores variedades de polinización libre. Otras características deseables, como la firmeza del tallo y raíces, la resistencia a enfermedades e insectos específicos, son ventajas que algunos híbridos poseen".

C. Clases de híbridos de maíz.

Las clases de híbridos más utilizados en maíz son los siguientes (22):

1. Cruza simple: Es el cruce entre dos líneas autofecundadas.
2. Cruza triple: Se lleva a cabo cruzando un híbrido de cruce simple, con una tercera línea autofecundada.
3. Cruza doble: Es la obtenida generalmente de la combinación de dos cruces simples.
4. Cruza regresiva: Cuando una línea autofecundada con buenas perspectivas, se cruza con una variedad tipo de polinización

libre.

D. Formación de variedades híbridas.

Según Sprague (1,946 y 1,955) citado por Brauer (2), el procedimiento clásico o estandar para la formación de híbridos, consiste en generar líneas puras a partir de variedades de polinización libre, luego seleccionar las mejores combinaciones, para utilizar finalmente las que mejor combinan como progenitores de los híbridos. El procedimiento más detallado es el siguiente (2):

1. Autofecundar plantas de una variedad de polinización libre.
2. Continuar la autofecundación, hasta lograr líneas bastante homocigotas. Al mismo tiempo, se hará una selección de caracteres deseables (Jones y Mangeladorf, 1,925).
3. Entre las líneas formadas, se hará una selección de las que tengan mejor aptitud combinatoria general, mediante cruzamientos con un probador común. Los mestizos resultantes de estos cruzamientos, se someten a pruebas de rendimiento (Sprague y Tatum, 1,942).
4. Se evalúa la aptitud combinatoria específica de las líneas que se seleccionaron por su buena aptitud combinatoria general. Esta evaluación corresponde a la formación de híbridos en todas las combinaciones posibles de las líneas puras y ensayos de rendimiento de estos híbridos (Sprague y Tatum, 1,942).

En la práctica, se evalúa la aptitud combinatoria específica por el ensayo de cruzamientos entre las líneas seleccionadas por aptitud combinatoria general con una sola línea o cruzamiento simple.

5. Se realiza la prueba de las mejores cruza dobles hechas con base en los resultados de las cruza simples (Anderson, 1,938; Cockerman, 1,967).

E. Aptitud combinatoria general (A.C.G.)

La aptitud combinatoria general es el desempeño promedio de una línea pura en sus combinaciones híbridas. Proporciona información sobre

qué líneas puras deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan -- con muchas otras líneas. Los probadores deben seleccionarse por su capacidad para determinar cuales líneas se combinarán bien con muchas otras líneas (12).

Allard (1) manifiesta que la A.C.G. es el "comportamiento medio de una raza en una serie de cruzamientos". Sprague y Tatum (1,942), citados por Dardón (5), indican que la A.C.G. es "el comportamiento promedio de una línea endocriada en una serie de cruza en la cual intervino". Estos investigadores introdujeron los conceptos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica. Martínez Garza (13), describe los pasos para la estimación de los componentes de varianza genética y los efectos de la A.C.G. y de la aptitud combinatoria específica (A.C.--E).

Entre los investigadores que han trabajado en Guatemala en lo que es aptitud combinatoria, se encuentran: Dardón (5), quien estudió la A.C.G. y la A.C.E. en 10 poblaciones de maíz, Quemé (18) trabajó con cruza dialélicas para la aptitud combinatoria general y específica en maíz Córdova et al. (1,980), citados por Dardón (5), trabajaron con hermanos completos y líneas desarrolladas con endogamia lenta, concluyeron que las familias de hermanos completos, mostraron valores más altos de A.C.G. que las líneas con endogamia lenta.

Para poder tomar la decisión sobre qué método de selección utilizar, es necesario determinar los componentes de la varianza genética total para conocer la varianza genética aditiva y la varianza genética no aditiva o disponible y encontrar la proporción en que las mismas se encuentren en la población. Gardner (1,964) citado por Dardón (5), determinó que la varianza genética aditiva es la más importante en poblaciones poco mejoradas o no mejoradas, pero a medida que las poblaciones -- van siendo mejoradas por algún método de selección, la varianza genética aditiva tiende a disminuir. Rivera, citado por Dardón (5), encontró que para rendimiento en maíces provenientes de cruza de materiales mejorados, la varianza genética total se debía en gran parte a la varianza aditiva.

Una comparación entre la variabilidad que existe entre una población sin mejorar y una mejorada por el sistema de hermanos completos y medios hermanos, fue realizada por Hallauer, citado por Velásquez (21). Encontró una menor varianza genética aditiva en las poblaciones mejoradas, pero con una mayor probabilidad de encontrar cruza superiores.

Poey et al. (17), manifiestan que "la efectividad de los métodos de selección dependen de la cantidad y tipo de varianza involucrada (covarianza) en los diferentes esquemas de apareamiento", dicha efectividad es la siguiente:

Método de apareamiento	Varianza capitalizada
Medios hermanos	$(1/4) \sigma_A^2$
Hermanos completos	$(1/4) \sigma_A^2 + (1/4) \sigma_D^2$
Líneas puras	$\sigma_A^2 + (1/4) \sigma_D^2$

En donde σ_A^2 indica la varianza genética aditiva y σ_D^2 la varianza genética disponible o no aditiva.

Dardón et al. (6), concluyeron que en "la formación de híbridos en base a familias mejoradas por el sistema de hermanos completos, ha resultado ser eficiente en lo que respecta a incrementar los rendimientos por unidad de área, sin embargo las características agronómicas de dichos híbridos muestran cierta deficiencia en cuanto a uniformidad de altura de planta y mazorca; principalmente, cobertura de la mazorca. Estas características así manifiestas son originadas debido a que dentro del proceso de mejoramiento de las familias, la endogamia obtenida por ellas es menor en comparación con la que se obtiene al formar líneas puras, o la concentración genética para efectos deseables dominantes es más baja en familias de hermanos completos".

En lo que respecta a la evaluación de líneas endogámicas, Velásquez (21), Panse y Sukhatme (15), han sugerido cuatro métodos que son: Clásico o visual, prueba temprana, líneas Per se y cruza de prueba o mestizos. Poey et al. (17) menciona los últimos tres métodos. Una descripción general de los mismos es la siguiente:

1. Método clásico o visual.

Este método pretende seleccionar en forma visual, únicamente las líneas autofecundadas, para llevarlas seguidamente, a la formación de cruza simples para determinar las mejores combinaciones.

Velásquez y Palacios, citados por Velásquez (21), efectuaron selección visual en líneas S_0 y S_1 ; la ganancia se vio sólo en las líneas S_1 para la aptitud combinatoria general, por lo cual sugirió que la selección visual probablemente es efectiva cuando se aplica a líneas de una o más autofecundaciones. Sin embargo, Genter y Alexander citados por el mismo autor, indican que no fue efectiva la selección visual cuando se aplicó a líneas con diferente grado de endogamia. Manifiestan que es difícil seleccionar líneas visualmente para el carácter rendimiento.

Este método depende mucho de la apreciación y experiencia del fitomejorador.

2. Método de la prueba temprana.

Jenkins (1,935, 1,940); Sprague (1,946); Hayes (1,949); Lonquist (1,950), citados por Brauer (2), encontraron una correlación alta entre la aptitud combinatoria de las líneas en la primera, segunda y tercera generaciones de autofecundación, con respecto a la obtenida en líneas altamente homocigotas.

El método de la prueba temprana consiste en el cruzamiento de las líneas con un material adecuado (probador) al comienzo de su formación es decir, después de una o dos generaciones de autofecundación (17). Este método permite hacer una selección preliminar de las líneas y llevar a generaciones posteriores de endogamia, sólo las líneas que han sobresalido, basándose en dos suposiciones: a) la existencia de marcas diferencias en aptitud combinatoria entre las plantas de una población seleccionada por endocria; y b) una muestra seleccionada sólo en base a pruebas de aptitud combinatoria de plantas de la generación

S_0 , es una muestra mejor para continuar la autofecundación y selección, que una muestra casi aleatoria de las aptitudes combinatorias sacadas de la misma población en base a la sola selección visual (12).

3. Método de líneas Per se.

Según Poey et al. (17), "la evaluación de líneas Per se, consiste en calificar el comportamiento de estas por su potencial propio, antes del cruzamiento". Significa ensayar líneas como tales -- sin necesidad de formar mestizos. La evaluación de la A.C.G. de las líneas por este método ha sido eficiente y fácil por lo que podría reemplazar parcial o totalmente la prueba de mestizos (21); investigaciones como Genter y Alexander, Ortíz, Falconer y otros, apoyan esta teoría, citados por Velásquez (21).

Una de las ventajas de este método con respecto al de mestizos, es que la interacción con el probador y la expresión de los genotipos probados, se debe a su riqueza genética aditiva.

4. Método de cruzas de prueba o mestizos.

El mestizo, llamado en inglés top cross o test cross son el resultado de cruzar una línea que se desea someter a prueba, con un probador como progenitor masculino (2).

Las cruzas de prueba son similares a las pruebas tempranas, pero realizadas al final de la formación de las líneas, según Poey et al. (17) generalmente en líneas S_3 o S_5 cruzadas con un probador común.

Este método de cruce de líneas por variedad fue propuesto por Davis, citado por Velásquez (21), quien manifestó que la capacidad de combinación de las líneas autofecundadas de maíz podría estimarse mediante el comportamiento de sus cruzas con un probador común. Esta evaluación se puede realizar en campos aislados o por medio de polinizaciones a mano.

Este método permite que las líneas que fueron seleccionadas, pue-

dan sembrarse en ensayos de rendimiento de sus cruzas simples, para la determinación de la aptitud combinatoria general.

F. Concepto de probador para evaluar líneas puras.

Según Poey et al. (17), "un probador es una variedad de polinización libre, una crusa simple o una línea endogámica". El criterio más aceptado respecto al probador más adecuado para evaluar líneas puras en combinaciones híbridas, es que éste no debe interaccionar con las líneas a evaluar. Los probadores deben seleccionarse por su capacidad para determinar cuales líneas se combinan bien con muchas otras líneas.

Existen varios tipos de probadores como: Probador de amplia base genética, probador de bajo rendimiento (líneas recesivas), mas de un probador, cualquier tipo de probador y el probador no emparentado (21).

Muchos investigadores han demostrado que el probador mas seguro, es la variedad de donde se han originado las líneas (17). En conclusión, el uso de los probadores queda a criterio del fitomejorador, ya que por la reducción del vigor que presentan las líneas endogámicas, hace difícil la evaluación en ensayos de rendimiento como tales, por lo cual; se hace necesario el uso de probadores para la eliminación de líneas que no presenten buena aptitud combinatoria general, para la evaluación posterior de sus combinaciones híbridas.

G. Predicción de híbridos.

Los agricultores generalmente cultivan maíz híbrido de cruzas dobles, por lo cual es necesario probar el comportamiento de las cruzas simples sobresalientes en sus combinaciones para formar estas cruzas (16).

Según Allard (1) "una vez seleccionadas las líneas puras teóricamente mejores basándose en su buena aptitud combinatoria general medida por los top crosses con algún tester adecuado de amplia base genética, es necesario identificar" las cruzas simples, triples o dobles que tengan los mejores rendimientos.

"El número de combinaciones de líneas puras tomadas 4 a 4 para producir cruces dobles aumenta rápidamente con el número de líneas puras. Así 20 líneas pueden combinarse para producir $n(n-1)/2 = 190$ cruces simples y $3n!/((4!) (n-4)!) = 14,535$ cruces dobles, excluyendo los cruzamientos recíprocos". Se ve entonces que el trabajo del mejorador es considerable y casi irrealizable, por lo cual; el uso de métodos de predicción de rendimiento para cruces dobles son de especial importancia (1).

La estimación de rendimiento de una cruce doble es más frecuente calcularla a partir del rendimiento medio de 4 cruces simples no genitoras, es decir; que el comportamiento medio de las 4 cruces simples - AxC, AxD, BxC y BxD se utiliza para predecir el comportamiento de la cruce doble (AxB) (CxD) (1).

Según Hallauer y Miranda (11), la predicción del comportamiento de cruces dobles de maíz fue reportado inicialmente por Jenkins (1,934) usando los datos de cruces simples, para lo cual sugirió 4 métodos para efectuar estas predicciones:

1. La media de las 6 cruces simples posibles dentro del grupo de 4 líneas.
2. El comportamiento promedio de las 4 cruces simples no emparentadas.
3. El comportamiento promedio de las 4 líneas sobre una serie de cruces simples.
4. El comportamiento promedio de un grupo de 4 líneas cuando se usan cruces de mestizos o top cross.

De acuerdo con Eberhard (1,964), citado por Hallauer y Miranda (11), las siguientes fórmulas pueden ser usadas para predecir cruces dobles:

1. $\hat{D}_{ij.kz}^{sa} = (1/6) (S_{ij} + S_{ik} + S_{iz} + S_{jk} + S_{jz} + S_{kz})$
2. $\hat{D}_{ij.kz}^{sb} = (1/4) (S_{ik} + S_{iz} + S_{jk} + S_{jz})$
3. $\hat{D}_{ij.kz}^{tij} = (1/2) (T_{ij.k} + T_{ij.z})$

$$4. \hat{D}_{ij.kz}^{tkl} = (1/2) (T_{kz.i} + T_{kz.j})$$

$$5. \hat{D}_{ij.kz}^t = (1/2) (\hat{D}_{ij.kz}^{tij} + \hat{D}_{ij.kz}^{tkz})$$

Las primeras 2 fórmulas corresponden a los métodos 1 y 2 propuestos por Jenkins. Los otros están basados en la expresión de las cru--zas triples, las cuales no han sido muy utilizadas debido a que de un determinado número de líneas endogámicas hay muchas cru--zas triples que cru--zas simples posibles. Las fórmulas mencionadas pueden ser utilizadas cuando se ha formado una cruza simple (S_{ij}) y 2 nuevas líneas endogámicas (k,z), para formar la cruza doble $D_{ij.kz}$.

Las fórmulas 2,3,4 y 5 pueden ser eficientemente utilizadas para predecir las cru--zas dobles si los efectos epistáticos son muy pequeños.

H. Heredabilidad.

En los trabajos de mejoramiento es importante conocer la proporción de la varianza genética que será transmitida de un individuo a su pro--genie. Poey et al. (17) manifiestan que la heredabilidad sugiere efectividad para lograr ganancias en procesos de selección.

Brauer (1,969) (2) indica que los estudios de heredabilidad sirven para evaluar qué parte de la variación de los caracteres cuantitativos corresponde a factores genéticos y por diferencia, la correspondiente a factores ecológicos. Dardón (1,980) (5), indica que la heredabilidad es la proporción de la varianza genética con respecto a la varianza total. Falconer (1,981) (8), manifiesta que la heredabilidad expresa la proporción de la varianza total que es atribuible a los efectos medios de los genes y esto es lo que determina el grado de parecido entre parientes. La define como el cociente de la varianza genética sobre la varianza fenotípica. La heredabilidad expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicación del valor reproductivo o sea, el grado de correspondencia entre el valor fenotípico y el valor reproductivo; por lo cual en casi cualquier fórmula relacionada con métodos de mejoramiento, se usa la heredabilidad.

El valor de la heredabilidad depende de la magnitud de todas las componentes de varianza, por lo cual; un cambio en cualquiera de estas la afectará. Dudley y Moll (1,969) citados por Jugenheimer (12), definieron la heredabilidad como el cociente de la varianza genética entre la varianza fenotípica. La varianza fenotípica es la varianza total - entre los fenotipos cuando se cultivan o crecen en el rango de medios ambientes que interesan al fitomejorador. La varianza genética total es la parte de la varianza fenotípica que puede atribuirse a las diferencias genotípicas entre los fenotipos. La varianza de la interacción genotipo-medio ambiente es la parte de la varianza fenotípica atribuible a la falla de cada genotipo para ser igual en medios ambientes diferentes. La varianza genética total puede subdividirse además en varianza genética aditiva, varianza genética de dominancia y varianza genética epistática.

La heredabilidad se mide en la práctica en dos formas, según Poey et al. (17):

1. Heredabilidad en sentido amplio (H^2).

"Constituye la fracción de la varianza genética del total de la varianza fenotípica". Determina la importancia relativa del genotipo y del medio ambiente en el proceso de formación de híbridos.

$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

En donde:

σ_g^2 = Varianza genética

σ_p^2 = Varianza fenotípica.

2. Heredabilidad en sentido estrecho (h^2).

Es la fracción genética debida a la varianza aditiva (σ_a^2) del total de la varianza fenotípica (σ_p^2).

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}$$

III. MATERIALES Y METODOS

A. Localización del área experimental.

El presente trabajo fue conducido a nivel de campo en 3 localidades, así:

Cuadro 1. Localización de las localidades donde se realizó el estudio.

Localidad	Latitud	Longitud
Cuyuta, Escuintla.	12°05'12"	90°51' 42"
La Máquina, Suchitepéquez.	14°18'24"	90°32' 52"
Quezada, Jutiapa.	14°16'00"	90°02' 00"

Fuente: Diccionario Geográfico Nacional. Tomo I. 1,978.

B. Tipos de Suelos.

De acuerdo a la Clasificación de Reconocimiento de Suelos de Simmons et al. (20), a continuación se hace una descripción de los suelos de cada una de las localidades donde se efectuó el presente trabajo:

1. Cuyuta, Escuintla.

A esta localidad corresponde la serie de suelos Tiquisate -- franco (Ts). Los suelos Tiquisate se caracterizan por ser "profundos, bien drenados, desarrollados sobre depósitos marinos aluviales de color oscuro... Ocupan relieves casi planos a altitudes bajas en la parte Sur de Guatemala. Están asociados con los suelos Bucul y otros de la parte Este del plano costero del Pacífico".

2. La Máquina, Suchitepéquez.

Esta localidad posee suelos Ixtán arcilla (Ix).

En general, "los suelos Ixtán son profundos, moderadamente bien drenados, desarrollados sobre materiales de grano fino...en relieve

ves casi planos a altitudes bajas en el suroeste de Guatemala. Están asociados con los suelos mal drenados Champerico. La vegetación natural consiste de matorral abierto (bambú en algunos lugares) y algo de bosque bajo".

3. Quezada, Jutiapa.

Este municipio posee la serie de suelos Quezada (Qa.), "profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica débilmente cementada... ocupan relieves casi planos a altitudes medianas en el sureste del país. Se encuentran en asociación con los suelos Chicaj pero están mejor drenados. La vegetación nativa consiste de pastos, matorrales xerofíticos, jícara y algo de cactus".

C. Características climáticas.

Las tres localidades donde se realizó la presente investigación, presentan las siguientes características climáticas más importantes:

Cuadro 2. Características climáticas de las tres localidades donde se realizó el estudio.

Localidad	Altura msnm	Precipitación pluvial media anual (mm)	Temperatura media en °C.
Cuyuta	48	2,300	29.0
La Máquina	100	1,860	27.0
Quezada	980	1,230	22.4

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 1,984-85.

D. Formación del material genético.

El germoplasma utilizado en este estudio fueron líneas S_3 originadas de las 2 familias de hermanos completos que forman la cruza hembra del híbrido de maíz HB-83, identificándose éstas como Familia 22-100 y Familia 29-5. Estas familias fueron introducidas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), generándose las líneas en el Centro de Producción Cuyuta del Instituto de Ciencia y -

Tecnología Agrícolas, ICTA.

Los números 22 y 29 identifican a las poblaciones Mezcla Tropical Blanco y Tuxpeño Caribe respectivamente; y los números 100 y 5 a las familias de la población.

Para fines de este trabajo las líneas S_3 originadas de las 2 familias ya mencionadas, constituyeron el progenitor hembra, cruzándose cada una de ellas por un probador o progenitor macho que para este caso fue la cruce simple de líneas 43-46 \otimes 2-3-2 X GB-12, siendo el origen de estas líneas la población 43 que corresponde a La Posta y la GB-12 que tiene su origen en materiales criollos.

Actualmente el híbrido comercial HB-83 es un híbrido doble, siendo la cruce 43-46 \otimes 2-3-2 X 43-68 \otimes 1-1-3 el progenitor macho y la cruce 22-100 X 29-5 el progenitor hembra.

El germoplasma original con que se inició la generación de las líneas utilizadas en este trabajo fue de 200 familias de 22-100 y 52 familias de 29-5, constituyendo la población de plantas autofecundadas de estas familias la generación S_0 .

Después de 3 ciclos consecutivos de autofecundaciones y selección fenotípica de las líneas generadas, se obtuvieron 128 líneas seleccionadas del progenitor 22-100 y 47 del 29-5. Además se seleccionó una fracción de 45 líneas S_2 de varios progenitores que se consideraban como fuentes promisorias de interés.

Para la generación de líneas endocriadas se siguió el procedimiento de polinizaciones controladas manualmente en cada uno de los 3 ciclos. Al inicio se consideró una presión de selección del 10%, aunque en la práctica, esta estuvo determinada por la presión ejercida por el medio ambiente, habiéndose tomado todas aquellas líneas que se consideraban promisorias fenotípicamente, para seleccionar finalmente un máximo de 5 mazorcas por línea por ciclo de endogamia. Al haberse obtenido las líneas S_3 , se procedió al mestizaje de las mismas en campos ais-

lados con relación de siembra de 3 surcos hembra por un surco de macho. Estos mestizos se formaron durante el ciclo de Cuyuta 1,985 A, a través de 2 lotes aislados de polinización, desespigando todos los surcos de las líneas que participaron como hembras, para que fuera el respectivo probador el que sirviera de polinizador.

Con los cruces mestizos antes mencionados, se formó un ensayo de rendimiento por cada grupo de líneas pertenecientes a un progenitor, incluyendo en cada uno de los ensayos conformados, un grupo de testigos que se consideró de importancia para establecer comparaciones. Los ensayos de rendimiento se evaluaron durante el ciclo 1,985 B en las 3 localidades antes mencionadas. El total de líneas que entraron al mestizaje fueron: Del 22-100, 128 líneas y del progenitor 29-5, 47 líneas ; así como 45 líneas de otros progenitores de diverso origen.

E. Planteamiento para la evaluación del material genético.

1. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado para evaluar los mestizos fue de bloques incompletos o látice simple, con 2 repeticiones por localidad, distribuyéndose los tratamientos en forma aleatoria. Para evaluar el 22-100 se utilizó un látice simple de 12 x 12 y para el 29-5, uno de 11 x 10 complementándose ambos látices con materiales testigos.

2. Fecha de siembra y cosecha.

La siembra de las diferentes parcelas fue realizada en el mes de junio de 1,985 y la cosecha se realizó de acuerdo a la localidad, en los meses de octubre y noviembre del mismo año (ciclo 1,985 B).

3. Tamaño de la parcela y distancias de siembra.

La parcela experimental estuvo constituida por un surco de 5.5 metros de largo, separado 0.75 metros entre surco y 0.50 metros entre posturas. Cada postura con 2 plantas, haciendo un total de 22 plantas por surco que es igual a 53,333 plantas por hectárea. El

tamaño de la parcela o área útil de parcela es de 4.125 metros cuadrados; que es el producto de multiplicar el largo del surco (5.5 metros) por la distancia entre surcos (0.75 metros).

4. Manejo del ensayo experimental.

El área de siembra fue preparada con un paso de aradura y dos pasos de rrastra. El control de malezas se realizó dependiendo de cada localidad con distintos herbicidas químicos presiembrados incorporados o como sellos después de la siembra, variando éstos según el tipo e intensidad de malezas. Se utilizó el insecticida Furadán 10 G. para el control preventivo de plagas del suelo a razón de 13 Kg/Ha. Los niveles de fertilización promedio utilizados fueron de 100 y 40 Kg/Ha de N. y P_2O_5 , aplicando todo el fósforo y la mitad del nitrógeno al momento de la siembra y el otro 50% de nitrógeno, dividido en dos aplicaciones, 25% a los 25 días y el otro 25% a los 45 días después de la siembra.

La siembra se efectuó en forma manual, colocando tres semillas por postura; a los 12 días se efectuó un raleo de plantas, para dejar dos por posturas como población final.

Durante el crecimiento de la plantación, se efectuó un control manual de malezas y un control químico de plagas, dependiendo de las necesidades del cultivo en cada localidad.

5. Datos recopilados.

- a. Días a floración femenina.
- b. Altura de planta y de mazorca.
- c. Porcentaje de mazorcas descubiertas y podridas.
- d. Rendimiento de grano en Kg/Ha. al 15% de humedad.

6. Rendimiento por parcela.

El rendimiento se calculó tomando en cuenta el peso total de todas las mazorcas cosechadas por surco, en kilogramos. Luego se ajustó a toneladas por hectárea (Ton/Ha) al 15% de humedad --

del grano, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Ton/Ha} = \frac{Pc \times 100 - hc}{100 - hd} \times K \text{ área} \times K \text{ desgrane}$$

Donde:

Pc = peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil (en kilogramos).

hc = humedad de cosecha.

hd = humedad deseada.

k desgrane = constante para ajustar a rendimiento en grano (0.8).

k área = constante para ajustar a kilogramos por hectárea en grano, la cual se calcula así:

$$K \text{ área} = \frac{\text{Ha (m}^2\text{)}}{\text{Area útil de parcela}}$$

Area útil de parcela = largo del surco x distancia entre surcos x número de surcos.

Una vez obtenido el rendimiento de grano de cada uno de los cruces mestizos evaluados en los ensayos de rendimiento a través de 3 localidades, se procedió a efectuar los cálculos estadísticos para el respectivo análisis de varianza, así como para la estimación de la aptitud combinatoria general, heredabilidad y predicción de cruces dobles. Se tomó en cuenta también en la selección de cruces mestizos superiores, además del rendimiento de grano, algunas características agronómicas de importancia expresados por los mismos, así como alguna información que se tenía de las características de las líneas S_3 per se.

F. Análisis estadístico

1. Análisis de varianza por localidad.

El rendimiento de grano obtenido por los diferentes mestizos fue analizado a través del análisis de varianza por localidad, en base a un diseño de bloques al azar con un arreglo de bloques incompletos según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = M + R_k + T_i + B_j(R_k) + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado de la ijk -ésima observación.

M = Efecto de la media general.

R_k = Efecto de la k -ésima repetición.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

$B_j(R_k)$ = Efecto del j -ésimo bloque incompleto de la k -ésima repetición.

E_{ijk} = Error asociado con la ijk -ésima unidad experimental.

i = Número de tratamientos.

j = Número de bloques incompletos.

k = Número de repeticiones.

La prueba de significancia de la diferencia entre tratamientos fue determinada bajo la siguiente prueba de F.:

$$F_c = \frac{\text{CMT ajustado}}{\text{CMe ajustado}}$$

Donde:

F_c = F calculada

CMT = Cuadrado medio de tratamientos ajustado.

CMe = Cuadrado medio del error ajustado.

Con $(r-1)$ y $(2qk^2 - 2qk - K^2 + 1)$, grados de libertad asociado con CMT y CMe, respectivamente.

BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL

Cuadro 3. Análisis de varianza para un diseño de bloques incompletos o látice simple.

F. V.	G. l.	S. C.	C. M.
Repetición	$(r-1)$	$\sum^r (\sum Y_{ijk})^2 - FC$	$\frac{SC}{(r-1)}$
Bloques	$2q(k-1)$	$\frac{B}{\dots (SC \text{ comp. a} + SC \text{ comp. b})}$	$\frac{SC}{2q(k-1)}$
Comp. a	$2(q-1)(k-1)$	$\frac{\sum d^2}{qk} - \frac{(\sum dh)^2 + (\sum dy)^2}{qk^2}$	
Comp. b	$2(k-1)$	$\frac{\sum d^2}{2qk} - \frac{(\sum dh)^2 + (\sum dc)^2}{2qk^2}$	
Variedades	(k^2-1)	$\frac{\sum^r (\sum Y_{ijk})^2 - FC}{2q}$	
Error	$(2qk^2 - 2qk - k^2 + 1)$	$\sum^r \sum^r Y_{ijk}^2 - FC$	$\frac{SC}{(2qk^2 - 2qk - k^2 + 1)}$
Total	$2qk^2 - 1$	$\sum^r \sum^r Y_{ijk}^2 - FC$	

Fuente: COCHRAN, W.G. y COX, G. M. Diseños experimentales (4)

2. Análisis de varianza combinado.

Se hizo un análisis de varianza combinado en base a los totales de cada tratamiento en las 3 localidades mediante un modelo para una serie de experimentos repetidos de un diseño de bloques incompletos o látice simple; dicho modelo es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + L_l + R_k + T_i + (LT)_{li} + B_j(R_{kl}) + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Valor observado en el i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición en el k -ésimo bloque incompleto en la l -ésima localidad.

μ = Media General

L_l = Efecto de la l -ésima localidad.

R_k = Efecto de la k -ésima repetición.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento en la l -ésima localidad.

$(LT)_{li}$ = Interacción del i -ésimo tratamiento en la l -ésima localidad.

$B_j(R_{kl})$ = Efecto del j -ésimo bloque incompleto de la k -ésima repetición dentro de la l -ésima localidad.

E_{ijkl} = Error experimental asociado a la $ijkl$ -ésima observación.

La prueba de significancia de la diferencia entre tratamientos, localidades y su interacción; se determinó con la prueba de F, así:

$$F. \text{ trat.} = \frac{CMT}{CMLxt}$$

Donde:

F. trat. = F. calculada de tratamientos.

CMT = Cuadrado medio de tratamientos.

$CMLxt$ = Cuadrado medio de localidades por tratamientos con (k^2-1) y $(l-1)(k^2-1)$, grados de libertad asociados con CMT y CMe, respectivamente.

La prueba de significancia de localidades por tratamientos, se

calculó así:

$$F. \text{ loc x trat.} = \frac{CMLxt}{CMe}$$

Donde:

F. loc. x trat. = F calculada de localidades por tratamientos.

CMe = Cuadrado medio del error; con $(k^2-1)(l-1)$ y $l(2qk^2-2qk-k^2+1)$,
grados de libertad asociados con CML x t y CMe, respectivamente.

Cuadro 4. Análisis de varianza combinado para un diseño de bloques in completos o látice simple.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.
Localidades	(l-1)	$\frac{1}{\sum} (\sum \sum Y_{ijkl})^2 - FC$ $2qk^2$	$\frac{SC}{(l-1)}$
Rep. (loc.)	1(r-1)	$\frac{1r (\sum \sum Y_{ijkl})^2 - FC - SC \text{ loc.}}{k^2}$	$\frac{SC}{1(k-1)}$
Bloques	2q1(k-1)	... (SC Comp. a+SC Comp. b)	$\frac{SC}{2q1(k-1)}$
Comp. a	21(q-1)(k-1)	$\frac{\sum d^2}{qk} - \frac{(\sum dx)^2 + (\sum dy)^2}{qk^2} - SC \text{ loc.}$	
Comp. b	21(k-1)	$\frac{\sum d^2}{2qk} - \frac{(\sum dk)^2 + (\sum dc)^2}{2qk^2} - SC \text{ loc.}$	
Variedades	(k ² -1)	$\frac{\sum^r (\sum^l Y_{ijkl})^2 - FC}{2k1}$	
Loc. xVar.	(1-1)(k ² -1)	$\frac{\sum^r \sum^l (\sum Y_{ijkl})^2 - FC - SC \text{ Var.} - SC \text{ loc.}}{2q}$	
Error	1(2qk ² -2qk-k ² +1)	$\sum^r \sum^l \sum^1 Y_{ijk}^2 - FC - \text{Todas las F.V.}$	
Total	21qk ² - 1	$\sum^r \sum^l \sum^1 Y_{ijk}^2 - FC$	$\frac{SC}{1(2qk^2 - 2qk - k^2 + 1)}$

Fuente: PANSE, V.G. y SUKHATME, P.V. Métodos estadísticos para investi gadores agrícolas (15).

3. Comparación múltiple de medias.

Con los datos del análisis de varianza combinado, se efectuaron las pruebas de significancia, realizando comparaciones múltiples entre medias, calculándose por medio de la Prueba de Duncan o de t modificada, la cual permite hacer todas las comparaciones múltiples posibles. El valor del límite de significancia o diferencia mínima significativa, se calculó así:

$$M.D.S. = t_{\alpha} \bar{S}_x$$

Donde:

t_{α} = Valor de tabla para $\alpha = 0.05$ y para $\alpha = 0.01$.

$$\bar{S}_x = \text{Error estandar de la media} = \sqrt{\frac{CMe}{r \times l}}$$

CMe = Cuadrado medio del error.

r = Número de repeticiones.

l = Número de localidades.

4. Estimación de aptitud combinatoria general.

La aptitud combinatoria general fue estimada como una desviación del rendimiento de cada mestizo con respecto a la media general de todos los mestizos evaluados, así:

$$\widehat{A.C.G.} = X_i - \bar{X}$$

En donde:

$\widehat{A.C.G.}$ = Estimación de aptitud combinatoria general.

X_i = Rendimiento de cada uno de los mestizos.

\bar{X} = Media general de rendimiento de los mestizos evaluados.

5. Predicción del comportamiento de híbridos dobles a partir de -- dos cruzas triples.

Para efectuar esta predicción, se tomó la metodología propuesta por Eberhart (1,964), citado por Hallauer y Miranda (11), quien determinó que a partir de dos cruzas triples provenientes de mestizos,

se puede predecir el comportamiento de híbridos dobles, para lo cual; en este trabajo se tomó la fórmula 3 propuesta por él, así:

$$\hat{D}_{ij.kz} = (1/2) (T_{ij.k} + T_{ij.z})$$

En donde:

$\hat{D}_{ij.kz}$ = Estimación de rendimiento de la cruz doble.

ij = Cruza simple usada como probador.

k,z = Las líneas seleccionadas.

$T_{ij.k}$ y $T_{ij.z}$ = Cruzas triples seleccionadas (mestizos).

En forma simplificada y práctica, lo anterior se interpreta como la media del rendimiento de las 2 cruza triples que se utilizan para predecir la cruz doble.

6. Estimación de heredabilidad.

Para efectuar los cálculos de heredabilidad, se procedió inicialmente a hacer una estimación de los componentes de varianza. -- Con la esperanza matemática de los cuadrados medios obtenidos para tratamientos, localidad por tratamientos y error, se estimó la varianza genética (σ_g^2), la varianza del error (σ_e^2) y la varianza de la interacción genotipo-ambiente (σ_{ge}^2) de acuerdo al siguiente cuadro (15):

F. V.	G. L.	C. M.	E. C. M.
Localidades	l-1	CMI	$\sigma_e^2 + r \sigma^2_{tl} + rt \sigma^2_l$
Repet. (loc.)	l(r-1)	CMrxl	
Tratamientos	t-1	CMT	$\sigma_e^2 + r \sigma^2_{tl} + rl \sigma^2_t$
Loc. x trat.	(l-1) (r-1)	CMlxt	$\sigma_e^2 + r \sigma^2_{tl}$
Error	l(r-1) (t-1)		σ_e^2
Total	lrt-1		

Donde:

σ_e^2 = Varianza del error que es igual a la varianza ambiental (σ_a^2).

σ_{ge}^2 = Varianza de la interacción genotipo-ambiente que es igual a la varianza de localidad por tratamientos (σ_{lt}^2).

σ_g^2 = Varianza genética que es igual a la varianza de tratamientos (σ_t^2).

Con los datos del análisis de varianza combinado, se procedió a -- calcular la varianza genética ($\sigma_g^2 = \sigma_t^2$); para lo cual inicialmente se calculó la σ_{ge}^2 y finalmente la σ_g^2 , así: (7)

$$CM_{lt} = \sigma_e^2 + r \sigma_{tl}^2, \text{ o sea; } \sigma_{tl}^2 = \frac{CM_{lt} - \sigma_e^2}{r}, \quad \sigma_{ge}^2 = \frac{CM_{lt} - \sigma_e^2}{r}$$

Para la varianza genética (σ_g^2):

$$CM_t = \sigma_e^2 + r \sigma_{tl}^2 + rl \sigma_t^2, \text{ o sea; } \sigma_t^2 = \frac{CM_t - \sigma_e^2 - r \sigma_{tl}^2}{rl}$$

$$\sigma_g^2 = \frac{CM_t - \sigma_e^2 - r \sigma_{tl}^2}{rl}$$

Luego se estimó la varianza fenotípica (σ_p^2), según la fórmula: (5).

$$\sigma_p^2 = \frac{\sigma_e^2}{rt} + \frac{\sigma_{ge}^2}{1} + \sigma_g^2$$

Con los resultados de los componentes de varianza, se procedió a es timar la heredabilidad en sentido amplio (H^2) para la variable rendi-- miento, según la fórmula: (17)

$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}$$

En donde:

σ_g^2 = Varianza genética

σ_p^2 = Varianza fenotípica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Rendimiento y Características Agronómicas.

En el ensayo del rendimiento del progenitor 29-5 se seleccionaron, en base al análisis combinado de las 3 localidades de evaluación, 9 mestizos formados con líneas de este progenitor así como 3 mestizos constituidos con líneas S_2 de origen variado; en igual forma, se seleccionaron 20 mestizos en el ensayo de rendimiento del progenitor 22-100.

En los cuadros 5 y 6 se presenta el rendimiento, nivel de significancia, estimación de aptitud combinatoria general y características agronómicas de los mestizos seleccionados para el progenitor 29-5, -- comparados con algunos testigos que intervinieron en las evaluaciones.

Se observa en el cuadro 5 que los rendimientos de los mestizos evaluados fueron superiores en la localidad de Jutiapa, mientras que en Cuyuta y en La Máquina, la expresión general de rendimiento fue menor, lo que hace inferir en el contraste de las condiciones ambientales de dichas localidades. En el análisis combinado se observa que la media de rendimiento de los mestizos seleccionados osciló entre 5868 y 5322 Kg/Ha, comportándose 3 de estos mestizos, superiores al mejor testigo (43-46_(X) 2-3-2 X GB-12) que es una cruce simple, así como al testigo comercial HB-83 que fue el híbrido que sirvió de base para plantear esta investigación.

Cuadro 5. Medias de rendimiento, nivel de significancia y estimación de aptitud combinatoria general (A.C.G.) para los 12 mestizos seleccionados del progenitor 29-5 evaluados en 3 localidades del trópico de Guatemala, 1,985.

Mestizos Origen Cuy85B	Rendimiento en Kg/Ha. (ajustado)				Prueba Duncan	A.C.G. Kg/Ha
	Cuyuta	La Maquina	Jutiapa	Análisis Comp.		
49*	5839	5042	6730	5868	a	976
11**	4970	5286	6947	5746	a	854
3**	4804	5268	6830	5636	a	741
8**	4473	5317	6891	5564	a	672
32**	5327	4329	6865	5496	a	604
53*	5064	4943	6439	5471	a	579
29*	4277	4714	7434	5470	a	579
89* (2)	4922	4676	6807	5470	a	579
48* (1)	5536	4584	6141	5433	a	541
91* (2)	4874	5179	6005	5363	a	471
13*	5052	4640	6263	5327	a	435
54*	4567	5200	6209	5322	a	430
\bar{X} mestizos selecciona dos	4975	5182	6630	5514		
\bar{X} general	4278	4138	6063	4826		
Testigos:						
Probador (3)	4550	4894	7341	5601		
HB-83	4491	4821	7060	5445		
29-5 x Prob	4713	4901	6193	5276		
22-100 x 29- 5	4698	3602	6549	5103		
29-5	3096	3328	5408	3943		

* Mestizos cuyas líneas se avanzarán a otra generación de endogamia.

** Las líneas que involucran a estos mestizos, pasarán a formar cru-
zas dialélicas con líneas de otros progenitores, además se avanza-
rán a otra generación de endogamia.

(1) Mestizos de líneas S_2 derivadas de la población 23 y (2) mestizo
del progenitor B-2207 de Guatemala.

(3) El probador fue la cruz simple 43-46 \otimes 2-3-2 X GB-12.

Cuadro 6. Características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 29-5 evaluados en 3 localidades del trópico de Guatemala, 1,985.

Mestizos Origen Cuy85B	Rend.Kg/Ha Anal.comb.	Días flor	Altura en m.		% de mazorcas	
			Planta	Maz.	Descub.	Podridas
49	5868	60	2.36	1.28	5.94	7.57
11	5746	57	2.40	1.24	1.75	5.19
3	5633	59	2.39	1.33	8.62	7.92
8	5564	58	2.42	1.29	2.50	2.62
32	5496	59	2.43	1.31	3.48	6.16
53	5471	59	2.38	1.29	4.65	4.05
29	5470	58	2.28	1.23	13.64	5.79
89	5470	59	2.52	1.39	3.28	6.01
48	5433	57	2.36	1.24	3.11	3.33
91	5363	59	2.47	1.38	6.44	6.37
13	5327	60	2.58	1.38	3.03	9.08
54	5322	59	2.27	1.32	3.91	6.81
Testigos:						
Probador	5601	58	2.46	1.37	2.44	7.83
HB-83	5445	60	2.48	1.30	6.32	7.31
29-5 x proba dor	5276	59	2.48	1.33	4.87	8.13
22-100 x 29-5	5103	60	2.38	1.35	4.89	10.86
29-5	3943	60	2.34	1.24	6.86	15.36

De acuerdo a la comparación de medias para la variable rendimiento para determinar el nivel de significancia (prueba de Duncan), se determinó que no existen diferencias significantivas al 1% de probabilidad - en los mestizos seleccionados.

En cuanto a las características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 29-5, se observa en el cuadro 6 que el período de floración femenina, así como la altura de planta y mazorca es similar a los testigos, considerándose estas expresiones como aceptables para el tipo de híbridos deseados para las condiciones en que se pretenden recomendar. El porcentaje de mazorcas descubiertas y podridas varió ligeramente, observándose que en general no existe una correlación entre porcentaje de mazorcas descubiertas y podridas para ambos progenitores. Es importante mencionar que se espera corregir aún mas la expresión de estas características indeseables al realizar cruza entre las líneas que constituyeron estos mestizos.

En los cuadros 7 y 8 se presenta el rendimiento, nivel de significancia, estimación de aptitud combinatoria general y características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 22-100, observándose en el cuadro 7 que el rendimiento de los mestizos evaluados también fue superior en la localidad de Jutiapa. La media de rendimiento del análisis combinado indica que este osciló entre 6729 y 5789 Kg/Ha - para los mestizos 66 y 76 respectivamente, superando 6 de los mestizos seleccionados al testigo HB-83 que fue el de mejor rendimiento con 6242 Kg/Ha.

Cuadro 7. Medias de rendimiento, nivel de significancia y estimación de aptitud combinatoria general (A.C.G.) para los 20 mestizos - seleccionados del progenitor 22-100, evaluados en tres localidades del trópico de Guatemala, 1,985.

Mestizos Origen Cuy85B	Rendimiento en Kg/Ha (ajustado)				Prueba	A.C.G.
	Cuyuta	La Máquina	Jutiapa	Anál. Comb.	Duncan	Kg/Ha
66**	5959	6774	7676	6729	a	1318
14*	5941	6244	7519	6623	a	1212
86**	6311	5910	7546	6570	a	1159
23*	5587	6754	6985	6489	a	1078
91*	6179	6127	6845	6377	a	966
114**	5176	5927	7726	6306	a	895
42*	5933	5474	7368	6199	a	788
60**	5476	5627	7569	6155	a	744
105**	4648	6778	6751	6145	a	733
122*	5609	6159	6493	6109	a	698
95*	5729	6007	6498	6050	a	639
67*	4721	6266	7177	6045	a	634
125**	5411	5482	7369	6016	a	605
3*	5422	5269	7498	6006	a	595
77*	5268	6093	6946	6001	a	590
19*	5393	5341	7018	5985	a	574
56*	6017	5026	6580	5889	a	478
2*	5533	5204	6877	5832	a	420
88*	5311	6645	5579	5806	a	395
76	5240	5176	7032	5789	a	378
\bar{X} mestizos sel.	5533	5914	7053	6156		
\bar{X} general	4613	4828	6599	5646		
Testigos:						
HB-83	5158	6728	7028	6242		
22-100 x						
29-5	5389	5091	7735	6088		
Probador (1)	4868	5863	6275	5674		
22-100 x						
Prob.	4477	5182	6271	5332		
22-100	2200	2689	6034	3659		

* Mestizos cuyas líneas se avanzarán a otra generación de endogamia.
 ** Las líneas que involucran a estos mestizos, pasarán a conformar cruza dialélicas con líneas de otros progenitores, además se avanzarán a otra generación de endogamia.

(1) El probador fue la cruz simple 43-46 \otimes 2-3-2 X GB-12.

Cuadro 8. Características agronómicas de los mestizos seleccionados del progenitor 22-100 evaluados en 3 localidades del trópico de Guatemala, 1,985.

Mestizos Origen Cuy85B	Rend. Kg/Ha Anal. Comb.	Días flor	Altura en m.		% de mazorcas	
			Planta	Maz.	Descub.	Podridas
66	6729	56	2.37	1.29	5.69	2.31
14	6623	59	2.51	1.35	2.27	3.03
86	6570	58	2.48	1.23	8.77	2.28
23	6489	59	2.50	1.38	18.50	7.50
91	6377	59	2.33	1.24	2.31	5.75
114	6306	60	2.55	1.43	3.17	0.00
42	6199	59	2.35	1.27	9.20	4.67
60	6155	59	2.41	1.23	6.42	3.79
105	6145	58	2.56	1.40	0.76	3.98
122	6109	58	2.44	1.28	8.32	2.35
95	6050	59	2.56	1.38	2.38	3.17
67	6045	59	2.40	1.30	10.55	4.31
125	6016	58	2.32	1.28	6.50	5.01
3	6006	59	2.46	1.38	8.37	4.03
77	6001	58	2.43	1.34	6.89	3.11
19	5985	58	2.28	1.22	13.42	5.93
56	5889	59	2.63	1.47	7.52	6.49
2	5832	59	2.44	1.37	6.00	7.82
88	5806	58	2.53	1.33	7.42	2.59
76	5789	58	2.54	1.42	3.03	5.60
Testigos:						
HB-83	6242	59	2.58	1.45	5.90	5.61
22-100 x						
29-5	6088	59	2.31	1.27	3.90	6.55
Probador	5674	59	2.42	1.32	2.27	6.28
22-100 x						
probador	5332	60	2.53	1.38	7.45	6.20
22-100	3659	60	2.21	1.15	8.44	20.08

En forma similar al progenitor 29-5, no existen diferencias significativas al 1% de probabilidad en la comparación de medias de rendimiento de los mestizos seleccionados del progenitor 22-100, observándose -- que en este material se tuvo una más amplia oportunidad de seleccionar por arriba del rendimiento de los testigos, pudiendo deberse esto a que el progenitor presenta una variabilidad genética que logra expresar un mayor potencial de rendimiento al cruzarlo con este probador o que la muestra utilizada fue mayor, lo que permitió un rango más amplio de selección.

En el cuadro 8 se observa que los mestizos del progenitor 22-100 - manifestaron características agronómicas aceptables con respecto a días a floración femenina y altura de planta y mazorca, siendo su expresión en general, similar a los mestizos seleccionados del progenitor 29-5.

La media de rendimiento de la fracción de los mestizos seleccionados superó en 510 kg/Ha y 688 kg/Ha a la media general de los mestizos evaluados para el progenitor 22-100 y 29-5 respectivamente; así también todos los mestizos seleccionados en ambos progenitores superaron a la respectiva cruce entre la familia original per-se 22-100 y 29-5 cruzada por el probador. Lo anterior demuestra que a través del proceso de concentración de endogamia por autofecundaciones se han logrado sintetizar e identificar genotipos con características deseables, dentro de toda la muestra evaluada en cada progenitor, así como también se han ido eliminado características indeseables que forman parte de la variabilidad genética de los dos progenitores base.

Como se aprecia en los cuadros 5 y 7, el progenitor 22-100 presentó la media general más elevada con 5646 kg/Ha, mientras que el 29-5 - presentó una media de 4826 kg/Ha, sin embargo; esto puede deberse a las condiciones de ambiente, y posiblemente en forma específica al suelo, ya que aún algunos testigos que fueron comunes, obtuvieron rendimientos contrastantes.

Todas las líneas que intervinieron en los mestizos seleccionados - de los progenitores 29-5 y 22-100, se consideran como una buena base pa

ra seguir concentrando endogamia y utilizar las líneas más avanzadas en futuros proyectos de hibridación, sin embargo; se identificaron 10 líneas consideradas superiores (4 del progenitor 29-5 y 6 del progenitor 22-100), cuyas expresiones como mestizos aparecen en los cuadros 5 y 7 identificados con dos asteriscos, observándose además del rendimiento, las características agronómicas comparadas con los testigos que intervinieron en esta evaluación. Las líneas consideradas superiores, se asume que ya tienen una concentración de endogamia suficiente para utilizarlas inmediatamente en la formación de curzas dialélicas que permitan identificar las mejores combinaciones para estructurar un híbrido con mayor potencial de rendimiento y mejores características agronómicas -- que el híbrido comercial HB-83 que actualmente se encuentra en el mercado.

B. Estimación de aptitud combinatoria general ($\widehat{A.C.G.}$).

Los cuadros 5 y 7 presentan además, las estimaciones de aptitud -- combinatoria general de los mestizos seleccionados, observándose que el progenitor 22-100 presentó mayor expresión, oscilando esta entre 1318 y 378 kg/Ha; mientras que el progenitor 29-5 mostró menor expresión, oscilando la estimación de A.C.G. entre 976 y 430 kg/Ha. Estos valores apoyan lo que ya se mencionó anteriormente con respecto a la ganancia que se ha logrado a través de la concentración de endogamia y selección; además se acepta la hipótesis alternativa planteada para esta investigación.

C. Análisis de Varianza.

Los cuadros 9 y 10 presentan los análisis de varianza combinados -- para los mestizos evaluados de los progenitores 29-5 y 22-100 a través de 3 localidades para la variable rendimiento. Como se observa, las fuentes de variación estudiadas fueron altamente significativas para ambos progenitores, ($p \leq 0.01$), lo cual nos indica que los ambientes de evaluación fueron contrastantes, y que la expresión de los tratamientos fue diferente a través de las localidades, lo cual se comprueba con la significancia de la interacción localidad por tratamientos.

Los valores de coeficiente de variación se consideran aceptables, para este tipo de evaluaciones, por lo que la información obtenida es confiable para hacer inferencias y sacar conclusiones.

Los cuadros 9 y 10 se presentan con toda la información que se hizo necesaria para hacer la estimación de los componentes de la varian-za.

D. Predicción del comportamiento de híbridos dobles a partir de dos cruzas triples.

En el cuadro 11, se presenta la predicción del comportamiento de los híbridos dobles a partir de 2 cruces mestizos triples. Esta predicción se hizo para cada uno de los progenitores prediciendo aquellos híbridos dobles que se consideraban relativamente superiores al testigo HB-83. Se observa en el cuadro 11 que para el progenitor 29-5 se predijeron 5 híbridos cuyo rendimiento predicho osciló entre 5807 kg/Ha y - 5682 kg/Ha, comparados con el HB-83 que en este experimento obtuvo 5445 kg/Ha. Para el progenitor 22-100 se predijeron 6 híbridos cuyo rendimiento osciló entre 6676 kg/Ha y 6553 kg/Ha, comparados con el HB-83 -- que obtuvo 6242 kg/Ha.

E. Estimación de heredabilidad.

En el cuadro 12 se presenta la varianza fenotípica (σ_p^2) y sus componentes (σ_g^2 , σ_{ge}^2 y σ_e^2); así como el cálculo de heredabilidad en sentido amplio (H^2) para la variable rendimiento a nivel de análisis combinado de los mestizos de los progenitores evaluados. Se calcula H^2 porque el diseño utilizado no permite estimar los componentes de la varianza genética para calcular la heredabilidad en sentido estrecho (h^2).

Como se observa en este cuadro, el progenitor 22-100 mostró relativamente mayor porcentaje de heredabilidad que los mestizos evaluados en el ensayo del progenitor 29-5.

Cuadro 9. Análisis de varianza combinado de látice en bloques al azar para la variable rendimiento en Ton/Ha de los mestizos evaluados del progenitor 29-5 a través de tres localidades.

F. V.	G. L.	C. M.	F.
Localidades	2	253.576	471.076 **
Repet. (Loc.)	3	2.3903	4.441 **
Tratamientos	109	2.5920	4.815 **
Loc. x Trat.	218	0.8273	1.537 **
Bloques	60	1.5417	2.864
Error	267	0.5383	
Total	659		

Coefficiente de variación = 9.22%

Media general de rend. = 4.8263 Ton/Ha = 4826 kg/Ha.

Desviación standar efectiva = 0.2568 Ton/Ha = 257 kg/Ha.

** = Diferencias estadísticamente significativas al 1% de probabilidad.

Cuadro 10. Análisis de varianza combinado de látice en bloques al -- azar para la variable rendimiento en Ton/Ha de los mestizos evaluados del progenitor 22-100 a través de tres localidades.

F. V.	G. L.	C. M.	F.
Localidades	2	342.053	669.727 **
Repet. (Loc.)	3	5.3854	10.544 **
Tratamientos	143	2.5964	5.084 **
Loc. x Trat.	286	0.7157	1.401 **
Bloques	66	1.1169	2.187
Error	363	0.5107	
Total	863		

Coefficiente de variación = 8.03%

Media general de rend. = 5.3465 Ton/Ha = 5346 kg/Ha.

Desviación estandar efectiva = 0.24797 Ton/Ha = 248 kg/Ha.

** = Diferencias estadísticamente significativas al 1% de probabilidad.

Cuadro 11. Predicción del comportamiento de híbridos dobles considerados superiores, a partir de dos cruzas triples provenientes de los mestizos seleccionados de los progenitores 29-5 y 22-100.

Cruzas seleccionadas del progenitor 29-5	Rendimiento esperado kg/Ha
(49 x 11) (probador) *	5807
(49 x 3) (probador)	5751
(49 x 8) (probador)	5716
(11 x 3) (probador)	5690
(49 x 32) (probador)	5682
HB-83 (rendimiento observado)	5445
Cruzas seleccionadas del progenitor 22-100:	
(66 x 14) (probador)*	6676
(66 x 86) (probador)	6649
(66 x 23) (probador)	6609
(14 x 86) (probador)	6596
(14 x 23) (probador)	6556
(66 x 91) (probador)	6553
HB-83 (rendimiento observado)	6242

* El probador fue la cruz simple 43-46 \otimes 2-3-2 X GB-12.

Cuadro 12. Componentes de varianza fenotípica (σ_p^2) y estimación de heredabilidad en sentido amplio (H^2) para el análisis combinado de los mestizos de los progenitores evaluados.

Progenitor	σ_g^2	σ_e^2	σ_{ge}^2	σ_p^2	H^2
29-5	0.2941	0.5383	0.1445	0.4320	70%
22-100	0.3141	0.5107	0.1025	0.4334	73%

Este valor de heredabilidad (H^2), sugiere que en los 2 grupos de mestizos evaluados, existe una amplia proporción de varianza genética respecto a la varianza total, que puede ser explotada a través del mejoramiento genético, siendo la selección de líneas endocriadas, una metodología acertada para aprovechar dicha varianza genética.

V. CONCLUSIONES

1. Los mejores mestizos de los progenitores 29-5 y 22-100, superan en rendimiento y características agronómicas deseables a las respectivas cruzas formadas con progenitores de familias per se, lo cual hace inferir que a través del proceso de derivación y selección de líneas de los progenitores, se han obtenido nuevas combinaciones híbridas superiores a las originales.
2. Los mestizos que mostraron mayor expresión de aptitud combinatoria general fueron los del progenitor 22-100, oscilando esta entre 1318 y 378 kg/Ha. En el caso del progenitor 29-5, la aptitud combinatoria general osciló entre 976 y 430 kg/Ha.
3. El mayor potencial de rendimiento fue obtenido en los mestizos - (cruzas triples) del progenitor 22-100; mientras que los mestizos del 29-5 dieron origen a combinaciones híbridas con rendimientos menores.
4. Los estadísticos estimados en el análisis de varianza combinado, mostraron una alta diferencia estadística entre los genotipos para la variable rendimiento en los 2 grupos de mestizos evaluados.
5. La heredabilidad para la variable rendimiento en el progenitor - 22-100 fue de 73% y para el progenitor 29-5 de 70%. Esto indica que la proporción de la varianza genética con respecto al total, es alta en ambos progenitores.
6. Se predijeron 11 híbridos dobles cuya estimación de rendimiento se considera aceptable para que sean evaluados y así establecer su potencial real comparado con el híbrido HB-83.
7. Las líneas involucradas en estos mestizos, se consideran una base para realizar cruzas dialélicas que permitan obtener información para estructurar a corto plazo, un híbrido mejorado con mayor po

tencial de rendimiento y mejores características agronómicas, que sustituya a los actuales en el mercado.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLARD, R.W. Principios de la mejora genética de las plantas. Traducción de la ed. en inglés por José L. Montaya. España, Omega, S.A., 1,975. 498 p.
2. BRAUER, O.H. Fitogenética Aplicada. México, Limusa, S.A. 1,983. 518 p.
3. CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO. Investigación y producción de maíz en Guatemala. México, CIMMYT, 1981. 15 p.
4. COCHRAN, W.G. y COX, G.M. Diseños experimentales. Traducida de la 2a ed. en inglés por el Colegio de Post Graduados, Chapingo, 5a reimpresión. México, Trillas, 1,978. 651 p.
5. DARDON, M.A. Aptitud combinatoria general y específica de 10 poblaciones de maíz (Zea mays L.). Tesis Maestro en Ciencias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México, 1,980. 66 p.
6. _____ et al. Estimación de aptitud combinatoria general y heterósis de líneas derivadas de progenitores híbridos. PCCMCA, reunión anual, Nicaragua, 1,984.
7. _____. Consulta personal.
8. FALCOMER, D.S. Introducción a la Genética Cuantitativa. Traducción del Inglés por Fidel Márquez Sánchez. 12a impresión. México, C.E.C.S.A., 1,981. 430 p.
9. FUENTES OROZCO, A. Consulta personal.
10. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA Y VULCANOLOGIA, METEORO-

- LOGIA E HIDRAULICA. Datos Meteorológicos. Guatemala, Sección de reproducción INSIVUMEH. 1,981. 213 p.
11. HALLAUER, A.R. y MIRANDA, J.B. Qualitative Genetics in Maize Breeding. The Iowa State University Press, U.S.A. 1,981. 468 p.
 12. JUGENHEIMER, R.W. Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Traducción del Inglés por Piña García. México, Limusa, 1,981, 681 p.
 13. MARTINEZ GARZA, A. Diseño y Análisis de los experimentos de cruas dialélicas. Chapingo, Colegio de Post Graduados. México, 1,975. 223 p.
 14. McCLINTOCK, B.; KATO, T.A. y BLUMENSCHHEIN, A. Constitución Cromosómica de las razas de maíz. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 1,981. 521 p.
 15. PANSE, V.G. y SUKHATME, P.V. Métodos estadísticos para investigadores agrícolas. Traducción de la 2a ed. en inglés por A.M. Flores y M.G. Lomelí. México, Fondo de la cultura económica, 1,963. 344p.
 16. POEHLMAN, J.M. Mejoramiento genético de las cosechas. 6a reimpre^sión, México, Limusa, 1,979. Cap. 3 y 13.
 17. POEY, F.; CORDOVA, H.; FUENTES, A. y SCHEUCH, F. Conceptos teóricos que respaldan los programas de mejoramiento genético de maíz. Guatemala, ICTA, 1,979. 96 p.
 18. QUEME DE LEON, J.L. Determinación de aptitud combinatoria general y específica para rendimiento de seis progenitores de híbridos de maíz (*Zea mays* L.), Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos. Guatemala, 1,982. 64 p.

19. REYES CASTAÑEDA, P. Diseño de experimentos aplicados. México, Trillas, 1,981. 344 p.
20. SIMMONS, CH. S.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. Clasificación de reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional. Guatemala, José de Pineda Ibarra, 1,959. 1000 p.
21. VELASQUEZ, R. Formación de híbridos simples en base a familias de hermanos completos, provenientes de diferentes poblaciones de maíz (Zea mays L.), Tesis de Maestro en Ciencias, Chapingo, Colegio de Post Graduados. México, 1,978. 84 p.
22. WILSON, H.K. y RICHER, A. CH. Producción de cosechas. Traducción de la 1ª ed. en inglés por José Luis de la Loma. México, Compañía Editorial Continental, S.A., 1,970. 411 p.