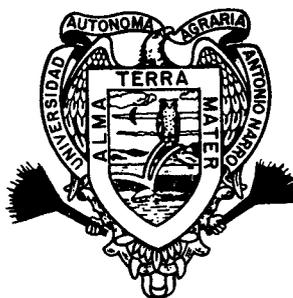


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISION DE AGRONOMIA



SELECCION DE VARIEDADES DE MAIZ POR
RENDIMIENTO MEDIO
Y PARAMETROS DE ESTABILIDAD

MARIO ROBERTO OZAETA MAZARIEGOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN FITOMEJORAMIENTO**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SELECCION DE VARIETADES DE MAIZ POR RENDIMIENTO MEDIO
Y PARAMETROS DE ESTABILIDAD

MARIO ROBERTO OZAETA MAZARIEGOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD FITOMEJORAMIENTO

1 9 8 0 .



ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y - ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO- DE:

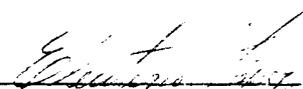
MAESTRO EN CIENCIAS, ESPECIALIDAD FITOMEJORAMIENTO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JULIO 1980

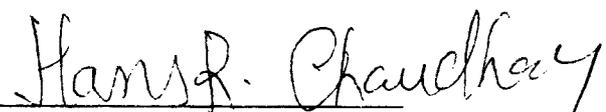
Universidad Autónoma de
Coahuila de Saltillo

CONSEJO PARTICULAR

BIBLIOTEC


DR. ELEUTERIO LOPEZ PEREZ
CONSEJERO


DR. FIDEL MARQUEZ SANCHEZ
ASESOR


DR. HANS RAJ CHAUDHARY
ASESOR

DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

ASCENCIÓN OZAETA M.

A MI MADRE

CARMEN MAZARIEGOS

A MI ESPOSA

GLADIS

A MIS HIJOS

CLAUDIA,

KAREN Y

ROBERTO

EN ESPECIAL A LA MEMORIA DEL DR. MARIO CASTRO GIL

AGRADECIMIENTO

Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por la beca que hizo posible la realización de mis estudios.

Al ING. M.C. HUGO SALVADOR CORDOVA y al DR. FEDERICO POEY, de quienes recibí las primeras enseñanzas sobre mejoramiento del maíz,

Al DR. ELEUTERIO LOPEZ PEREZ, maestro y amigo por su orientación y sugerencias en la ejecución y revisión del presente trabajo.

Al DR. FIDEL MARQUEZ SANCHEZ, por su valiosa sugerencia y acertada guía en el trabajo de tesis.

Al DR. HANS RAJ CHAUDHARY, por sus útiles enseñanzas y revisión del presente trabajo.

A los equipos de Prueba de Tecnología del ICTA, por la conducción de las evaluaciones en las diferentes localidades

Al Instituto Mexicano del Maíz, por la colaboración -- prestada en la realización de este estudio.

A la Srita. Irene Ayala López por su dedicación y eficaz labor en el trabajo mecanográfico.

C O N T E N I D O

	PÁG.
I. INTRODUCCION -----	1
II. REVISION DE LITERATURA -----	3
Interacción genotipo-ambiente. -----	3
Estudios sobre parámetros de estabilidad .----	7
Estudios prácticos sobre parámetros de estabi- lidad. -----	13
Clasificación de ambientes. -----	17
III. MATERIALES Y METODOS. -----	20
Material genético. -----	20
Pruebas experimentales.-----	23
Variables estudiadas. -----	24
Análisis estadísticos. -----	24
Métodos de Selección.-----	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSION. -----	41
V. RESUMEN Y CONCLUSIONES. -----	69
VI. APENDICES. -----	72
VII. BIBLIOGRAFIA. -----	86

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁG.
1	Clasificación variedades por su adaptabilidad (Parámetros μ y β)*, según Finlay y Wilkinson (1963) -----	8
2	Clasificación de variedades de maíz según los parámetros β y S_d^2 de Eberhart y Russell (1966), de acuerdo a Carballo y Márquez (1971).-----	11
3	Características de las familias seleccionadas para las formaciones de híbridos y variedades, para la zona tropical de Guatemala.-----	21
4	Mejores híbridos blancos y amarillos seleccionados en base a la prueba de mestizos. Zona tropical de Guatemala.-----	22
5	Análisis de varianza individual para diseño de bloques al azar.-----	25
6	Análisis de varianza combinados bajo un diseño de bloques al azar. -----	27
7	Análisis de varianza utilizado para la estimación de los parámetros de estabilidad. -----	31
8	Situaciones posibles que puedan tomar los parámetros de estabilidad, Carballo y Márquez (1971). 32	
9	Análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios para el diseño de bloques al azar.-----	35
10	Análisis de varianza para rendimiento de 18 genotipos de maíz evaluados en 22 localidades. --	43
11	Rendimiento promedio por localidad en kilogramos por parcela al 15% de humedad, índices ambientales y coeficientes de variación para 18 genotipos de maíz evaluados en 22 localidades del Trópico de Guatemala. -----	44
12	Análisis de varianza para estimar los parámetros de estabilidad de 18 genotipos de maíz evaluados en 22 ambientes. -----	46
13	Media de rendimiento (Kg/parcela) y parámetros de estabilidad estimados para 18 genotipos de maíz en 22 localidades. -----	47

CUADRO		PÁG
14	Coefficientes de correlación entre los parámetros media, coeficiente de regresión y desviaciones de regresión de rendimiento. -----	48
15	Selección Tandem entre 18 genotipos de maíz -- evaluados a través de 22 localidades. -----	51
16	Genotipos seleccionados por el método de niveles independientes de descarte en base a los parámetros medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión.-----	52
17	Distancias euclidianas (d_{it}) entre 18 genotipos y tres diferentes clases de variedad tipo.-----	54
18	Distribución de ambientes homogéneos según las técnicas de clasificación de taxonomía numérica.	55
19	Resumen de análisis y componentes de varianza para los parámetros μ , β , β^2 y S_d^2 .-----	60
20	Resumen de las componentes de covarianza de los parámetros μ , β , β^2 y S_d^2 . -----	61
21	Ecuaciones para determinar los índices de selección entre las combinaciones de los parámetros μ , β , β^2 y S_d^2 .-----	62
22	Parámetros de estabilidad e índices de selección para 18 genotipos evaluados a través de 16 ambientes seleccionados al azar.-----	63
23	Correlación de los índices de selección, avance genético esperado y eficiencia relativa para las combinaciones posibles de 3 parámetros (μ , β y S_d^2). -----	67
24	Correlación de los índices de selección, avance genético esperado y eficiencia relativa para las correlaciones posibles de 3 parámetros (μ , β y S_d^2). -----	68

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁG
1	Dendrograma de 22 ambientes para maíz en - - Guatemala obtenido de los efectos de interacción genotipo ambiente y el coeficiente de -- correlación	56
2	Dendrograma de 22 ambientes para maíz en - - Guatemala en base a la distancia euclídeana.	58

I. INTRODUCCION

La selección de genotipos para un ambiente específico puede efectuarse con relativa facilidad, pero cuando se cubren áreas ecológicas muy amplias se tiene una diversidad de ambientes los cuales causan que los genotipos se manifiesten de diferente forma aumentando así el rango de comportamiento.

La prueba de materiales en ambientes diversos ayuda a los genotecnistas a seleccionar variedades apropiadas para zonas agrícolas específicas o bien para zonas en las que se encuentra diversidad ambiental.

Durante muchos años la investigación agrícola ha hecho uso de diversas técnicas estadísticas para evaluar variedades. Con la evolución de los métodos de mejoramiento han evolucionado también los parámetros en los cuales el fitomejorador se basa para la selección de los genotipos. Este constante cambio ha provocado que en las distintas investigaciones los genotecnistas usen diferentes parámetros para seleccionar las variedades de mejor rendimiento y mayor adaptabilidad, dado que no hay un criterio general en ese sentido sobre cual o cuales dan mayor seguridad en la selección.

Por mucho tiempo los investigadores carecieron de una metodología para determinar los efectos de la interacción genético-ambiental en forma individual así como para identificar la estabilidad de los mejores genotipos. Estos factores son los que influyeron en las investigaciones realizadas por diversos científicos para tratar de encontrar el método más adecuado para detectar los genotipos más estables sobre una serie de diferentes medio-ambientes.

En el presente trabajo se evaluaron 18 genotipos de maíz (10 híbridos, 2 variedades y 6 testigos) a través de 23 localidades en el Trópico de Guatemala.

Los híbridos fueron producidos en base a familias de hermanos completos de las mejores poblaciones en proceso de mejoramiento por el programa internacional del CIMMYT, siendo - estos híbridos las mejores cruzas de una prueba de aptitud - combinatoria.

OBJETIVOS.

- I Estudiar la respuesta de 18 genotipos de maíz a vario ambientes, a fin de conocer su comportamiento desde u punto de vista de adaptación y sensibilidad a los cambios ambientales por medio de los parámetros media de rendimiento, regresión del rendimiento sobre medios - ambientales y desviaciones de la regresión.
- II Determinar el mejor parámetro o combinación de éstos que ayuden al mejorador a hacer una selección más adecuada a través de la utilización de cinco métodos de selección que incluyen los tres parámetros.
 - 1) Selección por media de rendimiento.
 - 2) Selección Tandem.
 - 3) Selección por niveles independientes de descarte.
 - 4) Selección por distancias euclideanas hacia una variedad tipo.
 - 5) Índice de selección.

II. REVISION DE LITERATURA

INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE.

Wilsie (1962) define el medio ambiente como el conjunto de condiciones exteriores e influencias que afectan la vida y desarrollo de un organismo e indica que el medio natural de una planta es dinámico y que constantemente está cambiando la intensidad de sus factores.

Allard y Bradshaw (1964) clasifican las variaciones del medio ambiente en predecibles e impredecibles: las primeras son las características permanentes del medio ambiente; las segundas son las fluctuaciones función del tiempo tales como lluvias, heladas, etc. Ellos denominan a una variedad como "buena amortiguadora" o con buena flexibilidad cuando puede ajustar su condición genotípica y fenotípica a condiciones transitorias del medio ambiente y distinguen dos tipos de flexibilidad:

- a) Individual, cuando cada individuo de una población tiene buena adaptación al rango de medios ambientes.
- b) Poblacional, aparece cuando diferentes genotipos que están coexistiendo, se adaptan a determinados rangos de ambientes.

Estos autores exponen que la diferencia de adaptación en las variedades está determinada genéticamente.

Watkin (1965) determina tres tipos de relación genes-medio:

1. Relación aditiva, donde el fenotipo permanece constante en todos los medios.
2. Relación no aditiva (A), donde diferencias cuantitativas en valores fenotípicos cambian con los diferentes

medios, pero su rango u orden no cambian (por lo tanto no existe interacción genotipo x ambiente).

3. Relación no aditiva (B), donde se distingue el revés del rango fenotípico al cambiar el genotipo a otros medios.

Falconer (1970) señala que existe interacción genotipo-ambiente cuando una diferencia específica de ambientes afecta el comportamiento de un genotipo.

Eberhart y Russell (1966) indican que la interacción genotipo-ambiente es de mayor importancia para el mejorador en su función de desarrollar variedades superiores mejoradas. -- Cuando las variedades son comparadas sobre una serie de ambientes, los comportamientos relativos individuales difieren. Esto causa dificultad para demostrar la superioridad significativa de cualquier variedad. La interacción está usualmente presente tanto en variedades como líneas puras, híbridos de cruzas simples o dobles, cruzas probadoras, líneas S_1 , o cualquier otro material con el cual el mejorador esté trabajando. Así mismo, indican que una forma de reducir la interacción genotipo-ambiente es mediante la estratificación de los ambientes y desarrollo de genotipos en cada uno de ellos; esta estratificación se refiere a la delimitación de áreas (macroambientes) con características similares de temperatura humedad, relieve, tipos de suelo, etc. Estos autores también señalan que al probar variedades en varias regiones por varios años, la interacción genotipo-ambiente también resulta elevada y que será necesario estudiar las relaciones entre los diferentes factores del medio ambiente, los procesos fisiológicos de los cultivares y las posibilidades de indicar a los fitomejoradores:

- a) La estructura de los genotipos más apropiados que deberán desarrollarse para hacer uso de los factores del medio ambiente disponible.

- b) Los niveles de los factores del medio ambiente que se deben usar en la selección de genotipos que poseen -- flexibilidad de adaptación ecológica y, en consecuencia, sean aptos para ser usados bajo diversidad de -- condiciones ambientales con resultados favorables en cualquier situación.
- c) Condiciones en las que deben hacerse la explotación comercial de sus variedades con mayores rendimientos y con menos esfuerzo posible.

Billings (1968) establece que el medio ambiente lo constituyen todas las fuerzas externas y sustancias que afectan el crecimiento, estructura y producción de la planta desde un punto de vista analítico.

Brauer (1969) indica que el rendimiento máximo de las -- plantas depende de varios factores tales como su capacidad para un buen aprovechamiento de agua, energía lumínica y sustancias nutritivas y en general todas las condiciones del medio ambiente; pero el medio ecológico está determinado por una -- serie de condiciones muy variables como las que ocurren en -- diferentes años de un mismo lugar o en diferentes lugares, -- por lo que señala que los factores climáticos son difíciles de controlar por el hombre y aunque se disponga de datos de varios años de estos factores, sólo nos dan una idea de lo que sucede en promedio de los años pero no de lo que sucede en un año en particular. Indica también que las plantas pueden -- reaccionar de manera muy variable a las condiciones ecológi-- cas, de modo que sería conveniente seleccionar las variedades que puedan cultivarse en áreas extensas y que reaccionen poco a las variaciones estacionales, puesto que éstas son de difícil control por el hombre.

Márquez (1970) plantea que la interacción genotipo-am- -- biente no es sino el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos cuando se les somete a diferentes am --

bientes. Cuando hablamos de los fenómenos hereditarios que suceden en las distintas investigaciones, está implícito que ellos se refieren al medio ambiente en el cual tuvieron lugar. Si dicho ambiente cambia, es posible que los citados fenómenos hereditarios cambien también. Señala que los efectos de interacción no son predecibles, su intensidad y signo dependen precisamente de la reacción que determinado genotipo tenga al enfrentarse a determinado ambiente. En otras palabras, la interacción lo cambiará en grado mayor o menor. Menciona también, que si no se incluyen en el proceso de la selección otras localidades además de la estación experimental, la heredabilidad estará sobre estimada ya que no se sustrae el componente de σ^2_{gl} de σ^2_g .

Betanzos (1970) señala que el control de los factores ambientales no siempre es codificable, lo que está de acuerdo con Brauer (1969) al decir que estos factores no son predecibles con anticipación y exactitud suficiente para que en función de ellos se pueda realizar la siembra de un genotipo.

Córdova (1975) indica que cuando varios genotipos se evalúan en diferentes localidades por varios años, las estimaciones de los componentes de varianza proveen la información de la importancia relativa de las interacciones genotipo x localidad, genotipo x año y genotipo x localidad x año.

Las pruebas de comportamiento de variedades cuando se analizan de manera convencional ofrecen la información sobre la interacción genotipo-ambiente, pero no dan una medida de la estabilidad de las variedades evaluadas.

El genotecnista está consiente que el fenotipo que observa es el resultado de la interacción genético-ambiental, y sabe que un genotipo no se comporta igual en todos los medios por lo tanto no mostrará el mismo fenotipo a través de todas las localidades. El propósito de usar localidades múltiples es para identificar el genotipo de mayor rango de adaptabili-

dad.

Para estudiar el comportamiento de los diferentes genotipos en diversos ambientes se han desarrollado modelos que han sido utilizados por muchos investigadores. Algunos de estos modelos se presentan a continuación.

ESTUDIOS SOBRE PARAMETROS DE ESTABILIDAD.

Sprague y Federer (1951) muestran cómo pueden ser usados las componentes de varianza para separar los efectos de genotipos medios ambientes y la interacción entre ambos factores igualando los cuadrados medios observados en el análisis de varianza con sus respectivas esperanzas matemáticas para el modelo aleatorio.

Plaisted (1960) propuso un método rápido para evaluar la adaptación de las poblaciones en diferentes localidades por medio del componente de interacción genotipo x localidad. Para ello, realiza inicialmente un análisis de varianza combinado para todos los genotipos en todas las localidades de un año. Posteriormente, se hacen análisis combinados excluyendo cada vez un genotipo diferente. El valor del componente de la interacción genotipo-localidad (σ^2_{gl}) en cada una de estas combinaciones se compara contra la σ^2_{gl} que comprenda todos los genotipos, y el genotipo excluido que presente la σ^2_{gl} más alta será el de mayor adaptación a las localidades estudiadas.

Finlay y Wilkinson (1963) usaron un coeficiente de regresión lineal de rendimiento medio individual sobre el rendimiento medio de todas las variedades para cada localidad y año para cada una de las variedades evaluadas en las pruebas de rendimiento. Los rendimientos fueron transformados a una escala logarítmica para el cálculo de rendimiento de regresión, que fue utilizado como una medida de estabilidad genotípica de una variedad. Estos autores establecieron siete clases de va

riedades las que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. CLASIFICACION DE VARIETADES POR SU ADAPTABILIDAD
(PARAMETROS μ y β)*, SEGUN FINLAY Y WILKINSON --
(1963)

CLASE N°	μ	β	DESCRIPCION
1	Baja	= 1	Mal adaptada a todos los ambientes.
2	Baja	> 1	Específicamente adaptada a ambientes - favorables.
3	Baja	< 1	Específicamente adaptada a ambientes desfavorables.
4	Intermedia	= 1	Estabilidad media.
5	Intermedia	> 1	Estabilidad inferior a la media.
6	Intermedia	< 1	Estabilidad superior a la media.
7	Alta	\neq 1	Bien adaptada a todos los ambientes

* μ = Media de rendimiento y

β = Coeficiente de regresión.

Eberhart y Russell (1966) añaden un nuevo término al modelo de Finlay y Wilkinson (1963), de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

donde:

- Y_{ij} Rendimiento de la variedad i en el ambiente j .
- μ_i Media de la variedad i en todos los ambientes
- β_i Coeficiente de regresión de los rendimientos de la variedad i en los ambientes sobre los respectivos índices ambientales (I_j).
- I_j Índice ambiental
- δ_{ij} Desviación de regresión de la variedad i en el ambiente j .

Estos autores establecieron este modelo basándose en la técnica de regresión para medir la estabilidad, utilizando como parámetros el coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión. El modelo define los parámetros de estabilidad que pueden ser usados para describir el comportamiento de una variedad sobre una serie de ambientes. Los mismos autores definen como una variedad estable, aquella en la que el coeficiente de regresión (β) es igual a uno y la suma de cuadrados de las desviaciones de regresión (S_d^2) es igual a cero.

Márquez (1976) explica el desarrollo del modelo de Bucio-Alanís (1966) similar al de Eberhart y Russell (1966), encontrando que:

$$Y_{ij} = U + g_i + (1+b_i) e_j$$

en donde:

- Y_{ij} es el rendimiento del genotipo
- g_i es el efecto del genotipo i ,
- e_j es el efecto del ambiente j ,
- b_i es el efecto de regresión par

$U + g_i$, e_j y $(1+b_i)$ corresponden respectivamente a μ_i , δ_{ij} y β_i del modelo de

(1966)

Ram et al (1970) proponen una modificación al modelo - propuesto por Eberhart y Russell (1966), la cual esencialmente consiste en substituir la respuesta varietal promedio por un índice genotípico que se obtiene como desviación de la media varietal con respecto a la media general para todos los ambientes.

Hanson (1970) ha utilizado el concepto convencional de estabilidad y ha definido un genotipo estable como "aquel que tiene la mínima variabilidad posible cuando crece en diverso ambientes". Indica que este genotipo no debe contribuir a la interacción genotipo-ambiente. En este sentido, y de acuerdo a la relación entre los modelos de Bucio (1966) y Eberhart y Russell (1966), Márquez (1973) encontró que:

$$Y_{ij} = (1 + \beta) + S_{dij}$$

Por lo que concluye que una variedad no interacciona con los ambientes cuando $\beta_i = 1$ y $S_{di}^2 = 0$, por lo tanto este concepto es diferente al de Hanson (1970). Por su parte Eberhart y Russell (1966) consideran como una variedad estable aquella en la que $S_{di}^2 = 0$, independientemente del valor β_i .

Brauer (1969) menciona que debe tomarse en cuenta que - una variedad muy estable tampoco será conveniente porque representaría poca respuesta a las mejores condiciones, lo cual está de acuerdo con Márquez (1973).

Tomando como base los parámetros de estabilidad de - - Eberhart y Russell (1966), Carballo y Márquez (1971) clasificaron variedades de maíz según el Cuadro 2.

CUADRO 2. CLASIFICACION DE VARIEDADES DE MAIZ SEGUN LOS PARAMETROS β y S_d^2 DE EBERHART Y RUSSELL (1966), DE ACUERDO A CARBALLO Y MARQUEZ (1971).

CLASE N.º	β	S_d^2	DESCRIPCION
1	= 1	= 0	Buena en todos los ambientes, consistente.
2	= 1	< 0	Buena en todos los ambientes, inconsistente.
3	< 1	= 0	Respuesta mejor en ambientes desfavorables; consistente.
4	< 1	> 0	Respuesta mejor en ambientes desfavorables; inconsistente.
5	> 1	= 0	Respuesta mejor en ambientes favorables; - consistente.
6	> 1	> 0	Respuesta mejor en ambientes favorables; inconsistente.

Las diferencias entre las clasificaciones de los Cuadros y 2 son:

Carballo y Márquez (1971) no consideran las fluctuaciones de la media de rendimiento, partiendo de una media alta o intermedia, y Finlay y Wilkinson (1963) no toman en cuenta las desviaciones de regresión usados por Carballo y Márquez quienes, a este respecto usan los términos consistente o inconsistente para denotar que los valores observados coinciden o no con los esperados. En esta forma, las seis clases de Carballo y Márquez (1971) de hecho solo corresponden a tres de las de Finlay y Wilkinson (1963).

CARBALLO Y MARQUEZ (1971)	FINLAY Y WILKINSON (1963)
Clase 1 y 2	Clase 7
Clase 3 y 4	Clase 6
Clase 5 y 6	Clase 5

Márquez (1976) indica que en el artículo de Eberhart y Russell (1966) a la suma de cuadrados de regresión se le restaba el valor del error standard conjunto; en comunicación personal con Márquez (1976) el Dr. S.A. Eberhart cree que no es necesario hacer dicha substracción.

Márquez (1976) propone un índice de adaptabilidad que cuenta en forma ponderada a los parámetros media (μ) coeficiente de regresión (β) y suma de cuadrados de las desviaciones de regresión (S_D^2), para hacer selección de variedades por su rendimiento y estabilidad. Indica así mismo que este índice para a variedad i estará dado por la función lineal:

$$\sum_{j=1}^3 b_j P_{ij} = A_i \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ variedades}).$$

en donde:

b_j es el coeficiente de regresión múltiple j ($j = 1, 2, 3$),

P_{ij} es el parámetro j de la variedad i , y

A_i es la correlación observada de los parámetros de la variable i (μ_i, β_i, S_{di}^2) con los parámetros de una variedad tipo (μ_t, β_t, S_{dt}^2) ó sea r_{it} .

Márquez (1976) explica que la variedad tipo se tiene que definir de acuerdo a las condiciones ambientales, sociales y económicas de la región agrícola en que se estén probando las variedades, de manera que estimando las constantes b_1, b_2 y b_3 por mínimos cuadrados el índice calculado para la variedad será:

$$\hat{A}_i = \hat{b}_1 P_{i1} + \hat{b}_2 P_{i2} + \hat{b}_3 P_{i3}$$

o sea en la nomenclatura usual:

$$\hat{A}_i = \hat{b}_1 \mu + \hat{b}_2 \beta + \hat{b}_3 S_d^2$$

y la selección de las variedades se llevaría a cabo de acuerdo al grado de acercamiento del índice \hat{A}_i al índice de la variedad tipo.

ESTUDIOS PRACTICOS SOBRE PARAMETROS DE ESTABILIDAD.

Eberhart y Russell (1969) realizaron un estudio donde comparan la estabilidad de 45 cruzas simples y 45 cruzas dobles de maíz, evaluadas a través de 21 localidades durante cuatro años. Ellos encontraron dos cruzas simples tan estables como cualquiera de las cruzas dobles. Sugieren que, puesto que las cruzas simples difieren en su habilidad de respuesta a condiciones ambientales favorables, el cuadrado medio de las desviaciones parece ser el parámetro de estabi-

lidad más importante y que es posible estén involucrados en esa estabilidad todos los tipos de acción génica.

Carballo y Márquez (1971) estimaron el rendimiento promedio de grano y los parámetros de estabilidad en híbridos y variedades mejoradas de maíz en el Bajío mexicano y la Mesa Central de México, a partir del modelo de Eberhart y Russell (1966). Los resultados obtenidos indicaron: 1) Que la selección fué efectiva y recomendaron variedades para regiones específicas, 2) que existe la necesidad de obtener poblaciones mejoradas, específicas para la zona de transición (entre El Bajío y los Valles altos) y 3) que no existió ninguna correlación entre las medias varietales y los parámetros de estabilidad. En los ambientes de temporal la correlación β_i y S^2_{di} fue negativa y significativa.

Martínez et al (1970) estudiaron el comportamiento de dos variedades de maíz y sus progenies F_1 , F_2 y F_4 para las variables rendimiento, peso de grano, número de mazorcas por planta y número de granos por mazorca. La mayor estabilidad fue para la variable rendimiento y número de mazorcas por planta; la mayor adaptación fue manifestada por la progenie F_1 y la menor por la F_4 .

Jowett (1972) al comparar los coeficientes de regresión para rendimiento en líneas, cruzas simples y cruzas de tres líneas de sorgo granífero, encontró una mayor estabilidad para las líneas y no encontró diferencias entre cruzas simples o de tres líneas. Las desviaciones de regresión fueron más bajas para las cruzas de tres líneas, por lo tanto, éstas pueden ser más estables que las cruzas simples, pero se observó en una cruz simple.

Fripp y Caten (1973) estudiaron la proporción de crecimiento del hongo Schizophyllum commune en varios ambientes, --

timando la correlación entre la expresión media y la sensibilidad en una población en la cual ambos parámetros segregaron - multáneamente. Se encontró una asociación positiva entre la presión media y la sensibilidad lineal cuando el estudio se - alizó en un grupo de ambientes diversos. Sin embargo, cuando seleccionó un grupo de ambientes más homogéneos la asocia- - ón desapareció demostrando así: 1) Que en los diferentes am- entes actúan diferentes sistemas genéticos y 2) que al menos ciertas circunstancias, tanto la expresión media como la -- nsibilidad lineal están determinados por sistemas genéticos - ferentes. También informaron que la asociación entre la ex- presión media y la sensibilidad no lineal dependieron de un - upo particular de ambientes considerados. Estos autores con- uyen que la relación existente entre la expresión media y la nsibilidad está altamente influenciada por los ambientes invo- crados y por lo tanto cada combinación de genotipos, ambien- s y caracteres deberán ser tratados como un caso particular.

Córdoba (1975), estudiando el efecto del número de líneas el rendimiento y estabilidad de variedades sintéticas en -- íz, determinó que existe una estrecha asociación positiva en- e rendimiento y el coeficiente de regresión β_i . Sin embargo, asociación entre rendimiento y desviaciones de regresión re- ltó ser negativa lo cual indica que las variedades sintéticas 1 alto rendimiento tendrán alto coeficiente de regresión y - sviaciones de regresión bajas.

Sánchez (1977), en su trabajo sobre variedades sintéticas maíz concluye que: 1) La mayor proporción de la variación -- servada en la interacción genotipo-ambiente de los caracteres idimiento de grano y días a floración masculina, fue explica- por las diferencias en la regresión lineal sobre los efectos entales, mientras que las desviaciones de regresión no fue- n una fuente importante en la explicación de dicha interacción; no se encontró asociación significativa entre la expresión me-- a y la sensibilidad lineal a los cambios ambientales para el racter rendimiento de grano, lo cual indica que los sistemas

enéticos que controlan estos parámetros son independientes -
 ugiendo que para condiciones como las del estudio en men-
 ión es factible realizar selección en alguno de ellos sin -
 lterar significativamente el otro, 3) cuando se consideraron
 osis de gemoplasma, se encontró asociación negativa y signi-
 icativa entre la expresión media y la sensibilidad no lineal
 los cambios ambientales para rendimiento de grano, lo cual
 ndica que ambos parámetros son determinados por el mismo -
 istema genético y que dosis de germoplasma que maximicen el
 endimiento darán como resultado un mínimo de desviaciones
 e regresión y 4) para el carácter días a floración masculina
 e encontró que los sistemas genéticos que determinan la ex-
 resión media y sensibilidad lineal a los cambios ambientales
 on comunes mientras que los que determinan la sensibilidad
 ineal y no lineal, así como la expresión media y sensibili-
 ad no lineal son diferentes.

Chavez (1977) al estudiar la estabilidad de 23 variedades
 es de avena a través de 7 localidades en diferentes agrupa-
 ientos ambientales encontró: 1) La selección de los mate- -
 iales bajo estudio fue efectiva para incrementar la media
 e los rendimiento, pero no para mejorar la estabilidad. Si
 e quiere mejorar para estabilidad en función de las desvia-
 iones de regresión, el criterio de selección debe incluir -
 a estimación de estos parámetros; 2) se considera que la al-
 a correlación observada entre la media de rendimiento y el
 oeficiente de regresión puede ser debida a que la expresión
 e ambos dependan de un mismo sistema genético o bien a que
 s el resultado de una selección efectuada en el mismo senti-
 o para ambos parámetros y 3) la correlación alta entre la
 edia de rendimiento y la respuesta a los cambios ambientales
 uede reducirse por un muestreo no aleatorio de los ambientes
 n el área de cultivo de la avena, llegándose al extremo de
 omper completamente esta correlación cuando los ambientes se
 grupan por su similitud en la interacción genotipo-ambiente.

Gomez e Gama (1978) desarrolló un estudio en el cual ana-

lizó cruza simples de maíz formadas a partir de líneas seleccionadas en tres localidades y tres años, determinando que para ese estudio, la estimación de los parámetros de estabilidad B y S_d^2 no suministraron una información adicional que ayude al mejorador en la selección de los híbridos superiores. La selección basada en la media de rendimiento a través de los ambientes fue mas efectiva que la estimación de los parámetros de estabilidad. Las medias de rendimiento de los híbridos seleccionados fueron diferentemente significativas de los híbridos no seleccionados, sin embargo, los parámetros de estabilidad fueron muy similares para ambos grupos de híbridos.

CLASIFICACION DE AMBIENTES.

Abou-El-Fittouh, et al (1969) dividieron la faja algodone- ra de los Estados Unidos por medio del agrupamiento de ambientes en un dendrograma en base a efectos de interacción genotipo-ambiente de rendimiento de algodón, y para obtener la similitud entre ambientes usaron la distancia euclideana y el coeficiente de correlación. En esta forma, los autores zonificaron el área mencionada y redujeron la magnitud de la interacción genotipo-ambiente. Estos autores sugieren también que la distancia euclideana es superior al coeficiente de correlación en la clasificación de ambientes en base a la interacción genotipo-ambiente para el caracter rendimiento de algodón.

Jardine y Sibson (1971) proponen una clasificación para medidas de asociación: 1) A-similaridad (asociación), 2) I-distinguibilidad, 3) D-disimilaridad. Hay varios tipos de A-similaridad, entre los cuales están: coeficiente de apareamiento simple, la distancia Euclideana y el coeficiente de correlación. Sobre I-distinguibilidad y D-disimilaridad se puede consultar a Solís del Rivero (1974) donde hace una descripción amplia de esta metodología.

Sneath y Sokal (1973) dicen que la similitud entre UTOS -

(Unidad Operacional Taxonómica) se estima por coeficientes de similitud y que debe señalarse que los coeficientes de distancia son lo contrario a los coeficientes de similitud y que de hecho ellos son medidas de disimilitud; así el coeficiente de correlación (r) es una medida de similitud, y las distancias euclidianas y el complemento del coeficiente de correlación $= (1-r)$ son medidas de disimilitud.

Solís (1974) en un sentido amplio indica que los métodos de agrupación "Cluster Analyses" pretenden, a partir de una matriz de disimilaridades (similaridades), describir y localizar conglomerados "clusters" los cuales nos permitan ejecutar conjeturas acerca de la estructura de los elementos y las relaciones que estos guardan entre sí.

Cervantes (1976) estudió los efectos genéticos y de interacción genotipo-ambiente de caracteres cuantitativos como características ó unidades de medida, y usó la distancia euclídeana y el complemento del coeficiente de correlación como medida de disimilitud para establecer las interrelaciones entre 25 razas de maíz de México. Este autor concluyó que: 1) La clasificación obtenida utilizando los efectos de interacción genotipo-ambiente estrechamente relacionada a la adaptación de los grupos constituídos, permite postular la existencia de complejos genéticos adaptativos en las razas de maíz de México;-- 2) la coincidencia de algunos de los subgrupos en los dendrogramas de efectos de interacción genotipo-ambiente y efectos específicos, sugieren que parte de los genes que actúan para adaptación tienen un origen ancestral común; y 3) según las posibles explicaciones que se han podido dar a los dendrogramas obtenidos, el complemento del coeficiente de correlación (r_c) es superior a la distancia euclídeana promedio (m_d) para estimar el grado de disimilitud entre poblaciones, cuando se usan los efectos genéticos estimados a partir de un sistema de cruas dialélicas, y estos son transformados según la estandarización empleada en la investigación

Campbell y Lafever (1980) investigaron el efecto de localidades y años sobre el rendimiento en trigo, utilizando los ensayos uniformes de rendimiento en la región productora de trigos rojos y suaves de invierno, a través de 12 localidades durante siete años. Posteriormente, procedieron a correlacionar los rendimientos de cada una de las localidades para todos los años estableciendo así la respuesta del rendimiento a la variación de las localidades a través de los años, formando para ello un dendrograma de acuerdo a los análisis de grupos. Todas, excepto un par de las 66, muestran una correlación significativa positiva en por lo menos un año y solo un par de localidades mostraron correlación significativa para los 7 años. Sesenta pares de localidades fueron significativas y positivas en 5 ó más años. Por medio de este estudio, se determinó la respuesta del rendimiento a varias localidades a través de la región además de determinar la consistencia ambiental de localidades similares de año a año.

III. MATERIALES Y METODOS

Material Genético.

Los híbridos experimentales de maíz que se evaluaron en este estudio provienen de la cruce de las mejores familias de las poblaciones en proceso de mejoramiento por el Programa Internacional del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con probadores que en este caso fueron variedades e híbridos adaptados a la región tropical de Guatemala. Las familias fueron seleccionadas por el programa de maíz del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) de Guatemala, en base al comportamiento promedio de ensayos de rendimiento en varios países tropicales. Estas familias se incrementaron fraternalmente, a la vez que se cruzaron por varios probadores adaptados. Mediante la evaluación de estas cruces (mestizos) en ensayos de rendimiento se identificaron las familias con mejor aptitud combinatoria general, y a la vez también se identificaron los mejores 10 cruzamientos entre familias por probador, dando origen así a los mestizos que se utilizaron en este estudio.

En el Cuadro 3 se muestra el origen y las características de grano de las 10 familias que intervinieron en la formación de los híbridos así como las de dos variedades.

El Cuadro 4 nos muestra la identificación y la genealogía de las 10 mejores cruces.

CUADRO 3. CARACTERISTICAS DE LAS FAMILIAS SELECCIONADAS PARA LA FORMACION DE HIBRIDOS
Y VARIETADES, PARA LA ZONA TROPICAL DE GUATEMALA

G E N E A L O G I A	COLOR Y TIPO GRANO DE LAS FAMILIAS	O R I G E N
Tuxpeño 1-170	Blanco dentado	IPTT-21
Mezcla Trop. Blanca-165	Blanco cristalino dentado	IPTT-22
Tuxpeño Caribe-229	Blanco dentado	IPTT-29
Mezcla Trop. Blanca-206	Blanco cristalino dentado	IPTT-22
Blanco Cristalino-87	Blanco cristalino	IPTT-23
(Mix 1 x Col Gpo. 1) Eto-3	Blanco cristalino	IPTT-25
Amarillo Cristalino-29	Amarillo cristalino	IPTT-27
Amarillo Dentado-239	Amarillo dentado	IPTT-28
Amarillo Cristalino-150	Amarillo cristalino	IPTT-27
Antigua x Veracruz-6	Amarillo cristalino dentado	IPTT-24
Tuxpeño Tolerante Sequía	Blanco dentado	Tuxpeño planta baja
Across-7423	Blanco cristalino	IPTT-23

CUADRO 4. MEJORES HIBRIDOS BLANCOS Y AMARILLOS SELECCIONADOS EN BASE A LA PRUEBA DE MESTIZOS. ZONA TROPICAL DE GUATEMALA.

ENTRADA	GENEALOGIA PROBADOR X FAMILIA	IDENTIFICACION
2	Mezcla de materiales cubanos x 21-170	TCB-11
3	Mezcla de materiales cubanos x 22-165	TCB-13
4	ICTA B ₁ x 29-229	TCB-15
5	ICTA T-101 x 22-206	TCB-17
6	ICTA T-101 x 23-87	TCB-19
7	ICTA T-101 x 25-3	TCB-21
9	Sint. 6 líneas x 27-29	TCA-22
10	Sint. 6 líneas x 28-239	TCA-24
11	Sint. 6 líneas x 27-150	TCA-26
12	Sint. 6 líneas x 24-6	TCA-28
8	B - 3	B ₃
16	Across 7423	Across 7423

Testigos:

1	ICTA B ₁ C ₅
13	ICTA A ₂
14	H-5
15	X-304
17	T-101
18	Criollo

Pruebas Experimentales

Los 10 mestizos y dos variedades (B-3 y ACROSS 7423) -- desarrollados por el programa de maíz del ICTA más 6 testigos (variedades e híbridos más utilizados en el país) totalizaron 18 materiales genéticos que se evaluaron en 23 localidades de la región tropical de la República de Guatemala durante 1977. Las 23 localidades se clasificaron dentro de tres grupos de acuerdo a las condiciones ambientales: precipitación, altura y tipos de suelo predominante, quedando los grupos de la siguiente manera: Costa del Pacífico, Región Oriental y Región del Atlántico con 9, 12 y 2 localidades respectivamente. Una localidad de la región del atlántico fue imposible de cosecharse por razones geográficas, quedando un total de 22 localidades.

En la evaluación del material genético el tamaño de la parcela experimental fue de 4 surcos de 5 m de largo. El espaciamiento entre surcos fue de 90 cm en todas las localidades. Se sembraron 11 matas por surco quedando entre ellas 50 cm con 3 plantas por mata para posteriormente aclarar a 2, dando así una densidad de 44,444 plantas por hectárea. El tamaño de la parcela útil fueron los 2 surcos centrales - de 5 m de largo.

El diseño experimental en cada localidad fue de bloques al azar con 4 repeticiones.

En cada uno de los experimentos se aplicó una fertilización uniforme de 75 kg de nitrógeno en tres aplicaciones de 25 kg cada una (a la siembra, a los 30 días y al candeleo*) además se aplicaron 40 kilogramos de P_{25} al momento de la -- siembra.

* "Candeleo": pocos días antes de la emergencia de la floración masculina.

VARIABLES ESTUDIADAS

La información reunida en este estudio corresponde a los datos de rendimiento de grano. A dicha información se le hizo un ajuste para número de plantas por covarianza y al 15% de humedad. El rendimiento se analizó en kg/parcela, aunque para fines de recomendaciones se expresará en kilogramos por hectárea.

Además de los datos de rendimiento se tomó la siguiente información adicional:

Días a floración femenina. Expresado como el número de días transcurridos entre la fecha de siembra y el momento en que hubo un 50% de estigmas presentes en la parcela.

Altura de planta. A una muestra de 10 plantas se les tomó la distancia en centímetros, de la base del tallo a la base de la inflorescencia masculina.

Altura de mazorca. A una muestra de 10 plantas se les midió la distancia en centímetros, de la base del tallo al nudo en que emerge la mazorca principal.

Acame. Se tomó como porcentaje del número de plantas caídas en relación al número total de plantas.

Número de plantas cosechadas. Antes de la cosecha se tomó el número de plantas existentes de la parcela útil.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo lineal del diseño bajo el cual se efectuó el análisis de varianza para una localidad fue el siguiente:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + e_{ij} \quad \begin{array}{l} (i = 1, 2, \dots, v) \\ (j = 1, 2, \dots, b) \end{array}$$

donde:

Y_{ij} es la observación en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

M es la media general del caracter medido.

T_i es el efecto de tratamientos (variedades).

B_j es el efecto de bloques (repetición).

e_{ij} es el error intrabloques o interparcelas.

En este modelo, se considera que los bloques son aleatorios y las variedades o tratamientos son fijos.

Dadas estas condiciones se obtiene el análisis de varianza del Cuadro 5.

CUADRO 5. ANALISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL PARA EL DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	ESPERANZA DE CUADRADOS MEDIOS
Bloques	$(b-1)$	
Variedades	$(v-1)$	$\sigma_e^2 + r \left(\frac{\sum v_i^2}{v-1} \right)$
Error Experimental	$(v-1)(b-1)$	σ_e^2

Para tener una idea mas amplia del comportamiento de las nuevas variedades, se efectuó un análisis de varianza Cuadro 6 sobre las 22 localidades.

El modelo bajo el cual se hizo el análisis combinado es:

$$Y_{ijk} = M + G_i + L_k + R_{j(k)} + (GL)_{ik} + E_{ijk} \quad \begin{array}{l} (i=1,2\dots v) \\ (j=1,2\dots r) \\ (k=1,2,\dots l) \end{array}$$

donde:

- Y_{ijk} es el valor del caracter Y del i-ésimo genotipo en la j-ésima repetición en la k-ésima localidad;
- M es la media general;
- G_i es el efecto del i-ésimo genotipo (híbrido o variedad);
- L_k es el efecto de la k-ésima localidad;
- $R_{j(k)}$ es el efecto de la j-ésima repetición dentro de la k-ésima localidad;
- $(GL)_{ik}$ es el efecto de la ik-ésima observación asociado con la interacción genotipo x localidad; y
- E_{ijk} es el efecto aleatorio asociado con la ijk-ésima observación dentro de la k-ésima localidad.

Las suposiciones de este modelo son que los errores no están correlacionados, tienen media cero y varianza constante; los ambientes son aleatorios, seleccionados como una muestra de lugares donde el maíz puede ser cultivado, las variedades son fijas. Bajo estas condiciones se obtiene el análisis de

CUADRO 6. ANALISIS DE VARIANZA COMBINADO BAJO UN DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	ESPERANZA DE CUADRADOS MEDIOS
Localidades	$(l - 1)$	
Repeticiones (Loc)	$l(r - 1)$	
Variedades	$(v - 1)$	$\sigma_e^2 + r\sigma_v^2 + rl \left(\frac{\sum v_i^2}{v - 1} \right)$
Variedad x Localidad	$(v - 1)(l - 1)$	$\sigma_e^2 + r\sigma_v^2$
Error	$l(r-1)(v-1)$	σ_e^2

Las comparaciones entre medias de rendimiento de las variedades formadas en comparación con los testigos se realizó en base a la prueba de Dúncan.

Parámetros de Estabilidad. Para medir la estabilidad - se utilizan métodos estadísticos de regresión de rendimientos sobre índices ambientales, lo cual indica la respuesta de las variedades a los diferentes ambientes. El modelo que se utilizó para el análisis de estabilidad fué el propuesto por - - Eberhart y Russell (1966).

Los parámetros que se utilizaron son el coeficiente de regresión (β) y las desviaciones de regresión (S^2_{dj}). De - - acuerdo a la interpretación de los parámetros, una variedad deseable podría ser aquella cuyo coeficiente de regresión -- (β) sea igual a uno, y sus desviaciones de regresión (S^2_{dj}) igual a cero y además tenga una media (μ) de rendimiento alta, estas características son muy difíciles de encontrar y - conformarían una variedad ideal.

Este modelo se aplicó a las medias de rendimiento de -- los distintos ambientes de prueba, considerando como un ambiente cada una de las localidades donde se evaluaron los - nuevos genotipos en comparación con los 6 testigos.

El análisis se realizó bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

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 es la media de la i -ésima variedad a travez de todos los ambientes.

β_i es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i en varios ambientes.

δ_{ij} es la desviación de regresión de la variedad i en el ambiente j .

I_j es el índice ambiental obtenido con el promedio de todas las variedades en el j -ésimo ambiente menos la media general.

Los parámetros de estabilidad se estiman de la forma siguiente:

$$I_j = \left(\sum_i Y_{ij} / v \right) - \left(\sum_i \sum_j Y_{ij} / vn \right)$$

donde el índice ambiental promedio es igual a cero ó sea con la restricción.

$$\sum I_j = 0$$

El coeficiente de regresión β_i se estimó con la fórmula:

$$b_i = \sum Y_{ij} I_j / \sum I_j^2$$

Las desviaciones $\delta_{ij} = (Y_{ij} - \hat{Y}_{ij})$ se elevan al cuadrado y se suman para proveer el estimador del parámetro de estabilidad S_{di}^2 que es:

$$S_{di}^2 = \sum \delta_{ij}^2 / n - 2 - S_e^2 / r$$

donde S_e^2 / r es el estimador del error conjunto, y r es el número de repeticiones de cada ambiente j . En este estudio no se les restó este término a las S_{di}^2 , ya que como se mencionó en revisión de literatura el Dr. Eberhart ha manifestado que no es necesario sustraer este término. La estimación S_{di} queda:

$$S_{di}^2 = \sum \delta_{ij}^2 / n - 2$$

$$\sum \delta_{ij}^2 = (\sum Y_{ij}^2 - \frac{Y_{i\cdot}^2}{n}) - (\sum Y_{ij} I_j)^2 / \sum I_j^2$$

Mediante este modelo se puede dividir la interacción genotipo-ambiente para cada variedad en dos partes: 1) La variación debida a la respuesta (lineal) que tiene una variedad en distintos índices ambientales (suma de cuadrados debida a la regresión), 2) las desviaciones inexplicables de la regresión sobre el índice ambiental.

El comportamiento de cada variedad puede predecirse -- usando los estimadores de los parámetros μ_i y β_i como:

$$\hat{Y}_{ij} = \mu_i + \beta_i \bar{I}_j$$

Pruebas de Hipótesis:

- a) Igualdad de medias: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_v$
esta se prueba mediante $F = CM_1/CM_3$ del Cuadro 7.
- b) Igualdad de los coeficientes de regresión:
 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_v$. La F adecuada para probar esta hipótesis: $F = CM_2/CM_3$
- c) Desviaciones de regresión igual a cero para cada variedad, se prueba con $F = (\sum \delta_{ij}^2 / n - 2) / \text{error conjunto } (CM_4)$.
- d) La hipótesis de que cualquier coeficiente de regresión no difere de la unidad, ó sea $\beta_i = 1$ se prueba -- mediante la t siguiente:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i - 1}{S_{bi}}; \text{ donde } S_{bi} = \left(\frac{S_{di}}{\sum I_j^2} \right)^{1/2}$$

CUADRO 7. ANALISIS DE VARIANZA UTILIZADO PARA LA ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE ESTABILIDAD

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO
TOTAL.....	$nv - 1$	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2$ -- F.C.	
Variedades (V).....	$v - 1$	$\frac{1}{n} \sum_i Y_i^2$ -- F.C.	CM ₁
Medios ambientes (E).....	$n - 1$	$\sum_i \sum_j Y_{ij}^2 - \sum Y_i^2/n$	
E x V	$v(n - 1)$		
Medios ambientes (lineal)	1	$\frac{1}{v} (\sum_j Y_{.j} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
V x E (lineal)	$v - 1$	$\sum_i (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$ -- S.C. Medio ambiente (lineal)	CM ₂
Desviación conjunta.....	$v(n - 2)$	$\sum_i \sum_j \delta_{ij}^2$	CM ₃
Variedad 1.....	$n - 2$	$\sum_j Y_{1j}^2 - \frac{(\sum_j Y_{1j})^2}{n}$	
:		:	
:		:	
:		:	
Variedad v	$n - 2$	$\sum_j Y_{vj}^2 - \frac{(\sum_j Y_{vj})^2}{n}$	
Error conjunto	$n(r - 1)(v - 1)$		CM ₄

De acuerdo a las pruebas de significancia, cada variedad puede ser clasificada bajo alguna de las situaciones - - anotadas en el Cuadro 8.

CUADRO 8. SITUACIONES POSIBLES QUE PUE DAN TOMAR LOS PARAME-
TROS DE ESTABILIDAD, CARBALLO Y MARQUEZ (1971).

Situación	Coefficiente de regresión	Desviaciones de la regresión.	Descripción
a)	$b_i = 1.0$	$S_{di}^2 = 0$	Variedad estable.
b)	$b_i = 1.0$	$S_{di}^2 > 0$	Buena respuesta a - todos los ambientes, pero inconsistente.
c)	$b_i < 1.0$	$S_{di}^2 = 0$	Respuesta mejor en ambientes desfavorables y consistentes.
d)	$b_i < 1.0$	$S_{di}^2 > 0$	Respuesta mejor en ambientes desfavorables e inconsistentes.
e)	$b_i > 1.0$	$S_{di}^2 = 0$	Respuesta mejor en buenos ambientes y consistente.
f)	$b_i > 1.0$	$S_{di}^2 > 0$	Respuesta mejor en buenos ambientes e inconsistente.

Métodos de Selección

En este estudio se usarán métodos para seleccionar los genotipos en base a: la media, el coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión del rendimiento.

1. Selección por media de rendimiento. Selección tomando en cuenta únicamente la media, seleccionando de tres a cuatro genotipos de mayor rendimiento.
2. Selección en Tandem. Se seleccionaran primero los genotipos cuya media sea superior a la media general, posteriormente dentro de este grupo de genotipos se seleccionarán aquellos que muestren un coeficiente de regresión igual a uno ($\beta = 1$) y finalmente del grupo seleccionado de acuerdo a la media y coeficiente de regresión se escogerán aquellos genotipos en los que las desviaciones de regresión sean igual a cero ($S_{d_i} = 0$).
3. Selección por variedad tipo. Selección basada en la distancia euclídeana de los parámetros μ_i , β_i y S_{d_i} hacia una variedad tipo. Para esto, primero se deben estandarizar los valores de los parámetros de los 18 genotipos de acuerdo a la fórmula descrita por Snedecor y Cochran (1978).

$$Z = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

donde:

X_i Media, coeficiente de regresión y desviaciones de regresión del i -ésimo genotipo.

μ Media general, media coeficiente de regresión y desviaciones de regresión.

σ Desviación estándar.

Posteriormente a la estandarización de los datos, se -- determinará la distancia geométrica (d_{it}) que existe entre cada uno de los 18 genotipos hacia una variedad tipo, utilizando para ello:

$$d_{it} = \sqrt{(M_i - M_t)^2 + (B_i - B_t)^2 + (S_i - S_t)^2}$$

donde:

d_{it} es la distancia geométrica entre el genotipo i y la variedad tipo t ,

M_i , B_i y S_i es la media, coeficiente de regresión y desviaciones de la regresión estandarizados del genotipo i ,

M_t , B_t y S_t es la media, coeficiente de regresión y desviaciones de regresión estandarizados de la variedad tipo.

Los genotipos que geoméricamente se encuentren más próximos a la variedad tipo serán los seleccionados.

La variedad tipo debe reunir las condiciones: media de rendimiento alta, coeficiente de regresión igual a uno ($\beta = 1$) y desviaciones de regresión igual a cero ($S_{di}^2 = 0$)

4. Selección por niveles independientes de descarte: Se hará la selección para μ , β y S_d^2 independientemente para cada nivel incluyendo en cada uno de los 18 genotipos. Los materiales que se seleccionarán serán aquellos que cumplan los límites estipulados en los tres niveles.
5. Indices de Selección: Con el objeto de llevar a cabo este tipo de selección es necesario contar con las varianzas y covarianzas fenotípicas y genotípicas de los parámetros μ

en grupos homogéneos y a partir de estos se formarán repeticiones que tendrán cada una un ambiente al azar de cada grupo de manera que estas puedan utilizarse como repeticiones de un diseño en bloques al azar; del análisis de varianza que resulte se extraerán las componentes de varianza genotípica y del error de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = M + G_i + B_j + E_{ij}$$

que da lugar al análisis de varianza del Cuadro 9.

CUADRO 9. ANALISIS DE VARIANZA Y ESPERANZA DE CUADRADO MEDIOS PARA EL DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR.

F.V.	CM.	ECM
Bloques		
Tratamientos	CM ₁	$\sigma^2_E + r\sigma^2_T$
Error	CM ₂	σ^2_E

en donde para un parámetro dado (μ , β o S^2_d):

σ^2_E es la del "error experimental" que corresponde al error ambiental,

σ^2_T es la varianza entre variedades y corresponde a la varianza genotípica, $\sigma^2_g = \frac{CM_1 - CM_2}{r}$

de manera que la varianza fenotípica es:

$$\sigma^2_{\#} = \sigma^2_T + \sigma^2_E$$

Agrupación de Ambientes. Se efectúa según la técnica de clasificación de taxonomía numérica, en la cual cada localidad se representa por un vector cuyo contenido es el rendimiento de cada genotipo por localidad.

En la comparación de pares de vectores se usó el coeficiente de correlación r como medida de similitud, el cual está dado según Solís del Rivero (1974) por la expresión:

$$r_{ik} = \frac{\sum (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{ik} - \bar{X}_k)}{\left[\sum (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \sum (X_{ik} - \bar{X}_k)^2 \right]^{1/2}}$$

OTU: Unidad Operacional Taxonómica, en este estudio los OTU'S lo constituyen las veintidos localidades.

donde:

X_{ij} es el valor observado de la característica i en el OTU j .

\bar{X}_j es la media sobre todas las características del OTU j .

El coeficiente de correlación (r), varía en el intervalo $\{-1,1\}$, siendo -1 para la discordancia máxima, y 1 para asociación completa. El método de agrupación usado fue el de conexión simple.

Esta metodología permite clasificar los 22 ambientes en subgrupos de ambientes similares para el carácter rendimiento de grano de 18 genotipos, dada en dendrograma (Fig. 1).

Criterio para agrupación de ambientes homogéneos. Para determinar las varianzas genotípicas y del error, se procedió a hacer agrupaciones de ambientes comunes a partir del grupo de 22 localidades, partiendo del dendrograma (Fig. 1) en el cual los ambientes quedaron clasificados; tomando como nivel de similitud $r = 0.3423$ se obtuvieron los siguientes grupos de ambientes similares:

<u>GRUPO</u>	<u>LOCALIDADES</u>
G ₁	23*
G ₂	18, 26, 28, 29*
G ₃	5, 14, 20*
G ₄	17
G ₅	15
G ₆	6, 7 8 24*
G ₇	11
G ₈	4, 22, 30
G ₉	2, 3, 9, 10*

Para formar las repeticiones y determinar las varianzas y covarianzas se eligieron los grupos G₁, G₂, G₃, G₆ y G₉ formándose cada repetición con una localidad de cada grupo - homogéneo, la determinación de la localidad en cada repetición fue al azar; las repeticiones quedaron entonces integradas por cuatro localidades cada una distribuidas de la siguiente manera:

<u>REPETICION</u>	<u>LOCALIDADES</u>
I	2, 6, 5, 18
II	3, 24, 20, 28
III	9, 7, 14, 29
IV	10, 8, 26, 23

* Ambientes comunes seleccionados para análisis de varianza y covarianza.

Índice de Selección. Una vez obtenidas las varianzas y covarianzas de los tres parámetros (μ , β y S_{di}^2) se obtendrá un índice de selección para cada genotipo con la función lineal siguiente:

$$I_i = b_1 P_{i1} + b_2 P_{i2} + b_3 P_{i3}$$

en donde:

I_i es el índice de selección para el genotipo i ,

b_1 , b_2 y b_3 son constantes desconocidas, y P_{i1} , P_{i2} y P_{i3} corresponden respectivamente a los parámetros μ , β y S_{di}^2 del genotipo i .

La estimación por mínimos cuadrados de las constantes b_1 , b_2 y b_3 , se obtiene a partir de la relación entre las matrices de varianzas y covarianzas fenotípicas (σ_{fi}^2 , σ_{fij}) y las matrices de varianzas y covarianzas genéticas (σ_{gi}^2 , σ_{gij}) extraídas del análisis de varianza del Cuadro 9.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{f1}^2 & \sigma_{f12} & \sigma_{f13} \\ \sigma_{f21} & \sigma_{f2}^2 & \sigma_{f23} \\ \sigma_{f31} & \sigma_{f32} & \sigma_{f3}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{g1}^2 & \sigma_{g12} & \sigma_{g13} \\ \sigma_{g21} & \sigma_{g2}^2 & \sigma_{g23} \\ \sigma_{g31} & \sigma_{g32} & \sigma_{g3}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

En donde a_1 , a_2 y a_3 constituyen los vectores de ponderación económico y generalmente tienen un valor de 1, a menos que haya una argumentación vigorosa para darles valores diferentes.

En la ecuación anterior si $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, se tendrá:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{g1}^2 & \sigma_{g12} & \sigma_{g13} \\ \sigma_{g21} & \sigma_{g2}^2 & \sigma_{g23} \\ \sigma_{g31} & \sigma_{g32} & \sigma_{g3}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, en notación matricial, tendremos:

$$F \cdot \begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \\ \hat{b}_3 \end{bmatrix} = F^{-1} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

Donde f es la matriz de varianzas y covarianzas fenotípicas, por lo que el índice de selección para el genotipo i será:

$$I_i = \hat{b}_1 \mu_i + \hat{b}_2 \beta_i + \hat{b}_3 S_{di}^2$$

De la misma manera se construirán los índices restantes, que conjunten las posibles combinaciones entre los tres parámetros.

$$I = \hat{b}_1 \mu_i + \hat{b}_2 \beta_i$$

$$I = \hat{b}_1 \mu_i + \hat{b}_3 S_{di}^2$$

$$I = \hat{b}_2 \beta_i + \hat{b}_3 S_{di}^2$$

Estimación de heredabilidades. Para cada parámetro se hizo la estimación de las heredabilidades en sentido amplio, utilizando la siguiente fórmula:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_g}{\sigma^2_f}$$

Avance Genético Esperado (ΔGE) y Eficiencia Relativa (ER) el Uso de Índices de Selección. El avance genético esperado en rendimiento por ciclo de selección para un índice particular se calculó empleando la fórmula:

$$\Delta GE = K \frac{\text{Cov}(I, H)}{I}$$

onde:

K es el diferencial de selección en unidades estandar,

Cov (I,H) es la covarianza entre los índices y el valor genético agregado.

I es la desviación estándar del índice.

Estos valores se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(I, H) &= \hat{b}_1 \sigma^2_{g_1} + \hat{b}_2 \sigma_{g_{12}} + \dots + \hat{b}_n \sigma_{g_{1n}} \\ &= b_1^2 \sigma_{f_1}^2 + b_2^2 \sigma_{f_2}^2 + \dots + b_n^2 \sigma_{f_n}^2 + 2b_1 b_2 \sigma_{f_{12}} + \dots + 2b_{n-1} b_n \sigma_{(n-1)(n)} \end{aligned}$$

onde: Los valores de σ^2 y σ , fueron obtenidos en la matriz de varianza y covarianzas.

La eficiencia relativa (ER) a la selección se obtuvo estableciendo la relación entre el avance genético esperado de índice particular $\Delta GE(B)$ y el avance genético esperado del índice del carácter por mejorar $\Delta GE(A)$, esta expresión se expresó en porcentaje:

$$ER = \frac{\Delta GE (B)}{\Delta GE (A)} \times 100$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados aquí presentados provienen de 18 genotipos valuados en 22 ambientes diferentes, excepto para la obtención de los índices de selección donde se muestrearon 16 de los 22 ambientes. Todos los análisis se basaron en la variable rendimiento por considerarse este el mayormente afectado por el medio ambiente.

El análisis de varianza combinado sobre las 22 localidades se presenta en el Cuadro 10. Podemos observar que los genotipos fueron significativos a un nivel de 1% de probabilidad. Esto era de esperarse dado el diferente origen genético de los materiales incluidos. Podemos observar así mismo, que para ambientes también hubo significancia a un nivel de 1% de probabilidad. Lo cual se justifica por el amplio número de localidades que se evaluaron en este estudio. El resultado de la significancia de las anteriores fuentes de variación es que la interacción genotipo por medio ambiente también fue significativa a un nivel de probabilidad del 1%. Esto nos indica que los genotipos se comportan de manera diferente a través de las 22 localidades.

Con respecto al coeficiente de variación (Cuadro 10) podemos decir que este fue relativamente bajo 16.07%, dado el gran número de localidades manejadas, por lo que la información obtenida de las evaluaciones es confiable. El análisis combinado provee solo esta información y no establece la comparación entre variedades para estabilidad a través de las localidades. Siendo altamente significativa la interacción genotipo x ambiente se hizo necesario un análisis de varianza que permitiera estimar los coeficientes de regresión (β) y las desviaciones de regresión (S^2_d).

Para un estudio de análisis de estabilidad, los ambientes usados deben ser significativamente diferentes y representativos de las condiciones ambientales para el que fueron formados los genotipos; esto es, los índices ambientales deben tener un rango aceptable y buena distribución con respecto a este rango. Por otra parte, para ser más objetivos y justificar el análisis de estabilidad, se presenta en el Cuadro 11, las medias de rendimiento por localidad provenientes estas de cuatro repeticiones. Se observa que la media por localidad varía, lo que es un indicio que los genotipos se comportan diferentemente en cada ambiente, es decir hay interacción genotipo x ambiente. Por otra parte se incluyen los índices ambientales. Estos en un 45% son desfavorables (negativos) y el 55% restante está constituido por ambientes favorables (positivos). Esto indica que hubo una buena distribución de ambientes. Estando estos ambientes ubicados entre 0 y 1000 m.s.n.m. y en regiones donde se cultiva maíz, se considera que son representativos de las condiciones para las que fueron formados los materiales. La confiabilidad de cada una de las evaluaciones se midió por el coeficiente de variación. Estos valores se presentan en el Cuadro 11, donde se puede observar que el más bajo fue de 9.82% mientras que el mayor fue de 24.96%. Por lo tanto, se considera que la información obtenida para cada localidad es confiable.

Los resultados presentados en los Cuadros 10 y 11, indican que los requerimientos básicos para efectuar el análisis de estabilidad fueron cumplidos: 1) Significancia entre genotipos, 2) significancia entre ambientes.

CUADRO 10. ANALISIS DE VARIANZA PARA RENDIMIENTO DE 18 GENOTIPOS DE MAIZ EVALUADOS EN 22 LOCALIDADES.

F.V.	G.L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS
Ambientes	21	1389.9815	66.1896**
Rept./Amb.	66	123.1898	1.8665
Genotipos	17	59.3994	3.4941**
Genotipos x Amb.	357	215.4047	0.6034**
Error	1122	433.5764	0.3864
Total	1583	2221.5518	

CV = 16.07

** Significancia al 1% de probabilidad.

CUADRO 11. RENDIMIENTO PROMEDIO POR LOCALIDAD EN KILOGRAMOS POR PARCELA AL 15% DE HUMEDAD, INDICES AMBIENTALES Y COEFICIENTES DE VARIACION PARA 18 GENOTIPOS DE MAIZ EVALUADOS EN 22 LOCALIDADES DEL TROPICO DE GUATEMALA.

LOCALIDAD	RENDIMIENTO PROMEDIO KILOGRAMOS/PARCELA	INDICES AMBIENTALES	% C.V.
2	3.24	- 0.62	15.78
3	2.95	- 0.91	16.24
4	4.69	0.83	9.82
5	2.86	- 1.01	24.96
6	3.97	0.11	19.37
7	4.16	0.29	11.83
8	3.72	- 0.14	11.90
9	3.62	- 0.24	15.10
10	3.89	0.02	14.62
11	2.57	- 1.29	19.90
14	3.72	- 0.15	21.78
15	4.29	0.43	14.43
17	3.07	- 0.79	21.81
18	4.11	0.25	19.28
20	4.57	0.71	12.90
22	1.36	- 2.51	19.15
23	3.31	- 0.55	18.23
24	4.79	0.92	11.41
26	5.43	1.57	12.18
28	5.04	1.18	11.63
29	4.94	1.07	17.07
30	4.71	0.85	17.61

El análisis de estabilidad se presenta en el Cuadro 12. La significancia al 1% de la interacción entre variedad x ambiente lineal indica que los coeficientes de regresión son diferentes para cada genotipo. Las desviaciones ponderadas indican significancia al 1% de probabilidad, es decir que es necesario descomponer estas desviaciones para cada genotipo y así terminar cuál o cuáles materiales se desvían de la línea de regresión.

Los parámetros β_i y S^2_{di} para cada uno de los genotipos dan en el Cuadro 13. Estos fueron obtenidos de acuerdo al modelo descrito por Eberhart y Russell (1966). Además contiene las medias de rendimiento de cada uno de los genotipos a través de las 22 localidades. El Cuadro 13 contiene la significancia de los coeficientes de regresión y las desviaciones de regresión para probar la hipótesis de $\beta_i = 1$ y $S^2_{di} = 0$; en relación a las pruebas de hipótesis antes mencionadas, se determina que los 18 coeficientes de regresión no difieren significativamente de uno, por lo que según Carballo y Márquez (1971) responden tanto a ambientes favorables como desfavorables. Respecto a si las desviaciones de regresión difieren de cero, se encontró que solo tres de los genotipos, H-5, X-304A y el Criollo tienen sus desviaciones altamente significativas, lo que indica que son diferentes de cero, por lo que Carballo y Márquez (1971) las clasifican como variedades inconsistentes. Por el presente estudio y según la clasificación mencionada anteriormente, los genotipos "deseables" con media de rendimiento alta y que no interaccionan con el medio ambiente serían: B-15, TCA-24, TCB-11 y TCA-22 que presentan coeficientes de regresión y desviaciones de regresión estadísticamente igual a uno y cero, respectivamente.

Con el fin de examinar las asociaciones entre los posibles sistemas genéticos que controlan los aspectos fenotípicos, tales como la expresión media (μ'), sensibilidad lineal al ambiente (β) y sensibilidad no lineal a los cambios ambientales (S^2_d),

CUADRO 12. ANALISIS DE VARIANZA PARA ESTIMAR LOS PARAMETROS DE ESTABILIDAD DE 18 GENOTIPOS DE MAIZ, EVALUADOS EN 22 AMBIENTES.

F. V.	G. L.	S.C.	C.M.	Fc.
Total	395	417.112096		
Variedades	17	14.673296	0.8631 CM ₁	5.84**
Ambientes	378 21	402.438800		
V x A				
Amb. Lineal	1	1.0724		
V x A Lineal	17	348.1262	20.4780 CM ₂	138.36**
Desv. Pond.	360	53.2402	0.1479 CM ₃	1.53**
Var. 1	20	1.7154	0.0858	0.89
Var. 2	20	2.3854	0.1193	1.24
Var. 3	20	5.5964	0.2798	2.90**
Var. 4	20	2.9242	0.1462	1.52
Var. 5	20	2.6053	0.1303	1.35
Var. 6	20	1.3383	0.0669	0.69
Var. 7	20	1.3555	0.0678	0.70
Var. 8	20	2.4407	0.1220	1.27
Var. 9	20	1.8511	0.0926	0.62
Var. 10	20	1.8511	0.0926	0.96
Var. 11	20	2.2757	0.1138	1.18
Var. 12	20	2.3064	0.1153	1.20
Var. 13	20	1.4552	0.0728	0.76
Var. 14	20	4.7542	0.2377	2.47**
Var. 15	20	4.0767	0.2038	2.11**
Var. 16	20	1.8078	0.904	0.94
Var. 17	20	2.8748	0.1437	1.49
Var. 18	20	10.2766	0.5138	5.33**
error Conjunto	1122		0.09641	

CUADRO 13. MEDIA DE RENDIMIENTO (KG/PARCELA) Y PARAMETROS DE ESTABILIDAD, ESTIMADOS PARA 18 GENOTIPOS DE MAIZ EN 22 LOCALIDADES.

ENTRADA		μ	β_i		S_{di}^2	(1)
14	H-5	4.17	1.1563	\pm 0.1109	0.2038**	a
4	TCB-15	4.13	1.1152	\pm 0.1462	0.1462	a
10	TCA-24	4.09	1.0824	\pm 0.0692	0.0926	a b
2	TCB-11	4.05	1.0400	\pm 0.0786	0.1193	a b c
15	X 304-A	4.01	0.9714	\pm 0.1027	0.2038**	a b c
9	TCA-28	3.00	1.0029	\pm 0.0556	0.0598	a b c d
12	TCA-28	3.96	1.0245	\pm 0.0773	0.1153	a b c d e
5	TCB-17	3.95	0.9644	\pm 0.0821	0.1303	b c d e
7	TCB-21	3.93	1.0023	\pm 0.0593	0.0678	c d e
6	TCB-19	3.88	1.0181	\pm 0.0598	0.0669	c d e
13	ICTA-A ₂	3.81	0.9772	\pm 0.0614	0.0728	d e
11	TCA-26	3.80	0.9268	\pm 0.0768	0.1138	d e f
17	T-101	3.79	1.0414	\pm 0.0863	0.1437	e f
3	TCB-13	3.65	0.8415	\pm 0.1204	0.2798**	f
1	B ₁ B ₅	3.61	0.9995	\pm 0.0667	0.0858	f
8	B ₃	3.60	0.9240	\pm 0.0795	0.1220	
16	ACROSS-7423	3.55	0.9405	\pm 0.0684	0.0904	
18	Criollo	3.23	0.9727	\pm 0.1631	0.5138**	
	Media	3.84	1.0001		0.1479	
	Desv. Estan- dar	0.2425	0.0735		0.1093	
	Varianza	0.0588	0.0054		0.0119	

** Son diferentes de 0 al 1% de probabilidad.

Todos los β_i no son significativamente diferentes de 1.

(1) Medias seguidas de una misma letra son estadísticamente iguales.

se calcularon las correlaciones entre estos parámetros. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 14. Se encontró una asociación positiva y estrecha entre la expresión media y sensibilidad lineal, lo cual sugiere que los sistemas genéticos que controlan estas expresiones son comunes lo que causa problemas en la selección para estos caracteres si se quiere hacer independiente. Tanto en la correlación de la expresión media con la sensibilidad no lineal así como entre la sensibilidad lineal y no lineal no se encontró asociación ya que sus valores fueron mínimos y negativos; lo que sugiere la existencia de sistemas genéticos independientes.

CUADRO 14. COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS MEDIA, COEFICIENTE DE REGRESION Y DESVIACIONES DE REGRESION DE RENDIMIENTO.

	μ	β	S^2_d
μ		0.743 **	-0.217 N S
β			-0.124 N S

** Significancia al 1% de probabilidad.

NS No significativo al 5% de probabilidad.

El alto grado de asociación entre la media de rendimiento y coeficiente de regresión complica la selección como se mencionó anteriormente, porque al seleccionar para media de rendimiento altas, estaremos seleccionando coeficientes de regresión altos por lo que tendremos genotipos que responden únicamente a ambientes favorables. La no correlación entre los parámetros

μ , S^2_d y β , S^2_d nos permitirá hacer selección para uno de estos parámetros sin alterar el valor de otro. Dichos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Córdova (1975) y Chavez (1977).

En este estudio se utilizarán los tres parámetros antes mencionados, sin embargo, cualquiera de los métodos de selección estudiados son aplicables cuando se quiere mejorar características agronómicas. En este caso los parámetros de estabilidad proveen la información necesaria para aplicar los métodos de selección así como para determinar algunos efectos genéticos en relación a los parámetros en estudio. Para discutir acerca de cómo influye cada método de selección empezaremos por la media de rendimiento; esta información se basa en el Cuadro 13. Se seleccionó el 28% de los genotipos de rendimiento más alto siendo estos: H-5, TBC-15, TCA-24, TCB-11 y X-304A. Este grupo incluye dos testigos H-5 y X-304A y tres mestizos. Esta forma de selección es la predominante en los programas de mejoramiento debido a que no necesita de cálculos complicados para determinar las medias, además que económicamente es el parámetro de mayor importancia, pues de él dependen los ingresos. El problema que se puede presentar a la larga de seleccionar solo bajo este parámetro es que hay caracteres, en nuestro caso parámetros de estabilidad correlacionados que no necesariamente sean mejores entre más altos, como en el caso de una respuesta adecuada tanto a ambientes desfavorables como favorables que es medido por el coeficiente de regresión, el cual como se mencionó se encontró altamente asociado con la media de rendimiento (Cuadro 14). Debido a esto se tomaron en cuenta otros tipos de selección que se basan en la utilización de los tres parámetros.

La selección en Tandem que es un tipo de selección escalonada toma en cuenta únicamente los genotipos seleccionados en el nivel anterior. En nuestro caso se seleccionó primero por

la media de rendimiento, después al coeficiente de regresión y por último a las desviaciones de regresión. La información de esta selección se da en el Cuadro 15. Se observa que los genotipos seleccionados son: TCA-24, TCB-11 y TCA-22 que conforman en 17% de los genotipos evaluados. Para escoger los genotipos por su media de rendimiento se escogieron aquellos cuyo rendimiento fue igual o superior a 4 Kg/parcela. Los límites de selección para los coeficientes de regresión fueron de 0.95 a 1. Por último para seleccionar en base a las desviaciones de regresión se tomaron los límites de 0 a 0.12. Al comparar este tipo de selección con la basada únicamente en la media de rendimiento, se puede notar que solo los genotipos TCB-24 y TCB-11 fueron seleccionados en ambos métodos. Aparentemente se eliminaron los genotipos con mayor media, pero la prueba de rango múltiple indica que estadísticamente los genotipos escogidos bajo selección Tandem no son diferentes estadísticamente de los genotipos más rendidores H-5 y TCB-15 (Cuadro 13), pero sí tienen mejor coeficiente de regresión y desviaciones de regresión es decir son más estables.

El otro método de selección utilizado fue el de niveles independientes de descarte. La información acerca de los genotipos seleccionados bajo este método se presenta en el Cuadro 16. Los niveles estuvieron constituidos por los tres parámetros; la selección se hizo en cada nivel tomando en cuenta los 18 genotipos, a diferencia de la selección en Tandem en cada nivel solo considera al grupo seleccionado en base al nivel anterior. Para la media de rendimiento se seleccionaron aquellos genotipos cuya media era superior a 3.8 kilogramos por parcela. Para los coeficientes de regresión los límites fueron de 0.95 a 1.05 y por último los límites para seleccionar en base a las desviaciones de regresión fue de 0 a 0.095. Los genotipos que fueron seleccionados en los tres niveles son: TCA-22, TCB-21, TCB-19 e ICTA-A₂ que representan el 22% del total evaluado. - El único material que estadísticamente no difiere en los de ma

CUADRO 15. SELECCION TANDEM ENTRE 18 GENOTIPOS DE MAIZ EVALUADOS A TRAVES DE 22 LOCALIDADES

ENEALOGIA	μ	β	S_d^2	
H - 5	4.17*	1.16		
CB - 15	4.13*	1.12		
CA - 24	4.09*	1.08*	0,093*	(1)
CB - 11	4.05*	1.04*	0,119*	(1)
-304 A	4.01*	0,97*	2,04	
CA - 22	3.90*	1,00*	0.060*	(1)
CA - 28	3.96			
CB - 17	3.95			
CB - 21	3.93			
CB - 19	3.88			
CTA-A ₂	3.81			
CA - 26	3.80			
- 101	3.79			
CB - 13	3.65			
1 B ₅	3.61			
3	3.60			
CROSS - 7423	3.55			
riollo	3.23			

límites de Selección \geq 4.00 3.95 0-0,12

1) Genotipos seleccionados,

CUADRO 16. GENOTIPOS SELECCIONADOS POR EL METODO DE NIVELES INDEPENDIENTES DE DESCARTE EN BASE A LOS PARÁMETROS MEDIAS, COEFICIENTES DE REGRESION Y DESVIACIONES DE REGRESION

GENEALOGIA	μ	β	S_{di}^2
H - 5	4.17*	1.16	0.204
TCB-15	4.13*	1.12	0.146
TCA-24	4.09*	1.08	0.093*
TCB-11	4.05*	1.04*	0.119
X-304A	4.01*	0.97*	0.204
TCA-22	3.99*	1.00*	0.060*
TCA-28	3.96*	1.02*	0.115
TCB-17	3.95*	0.96*	0.130
TCB-21	3.93*	1.00*	0.068*
TCB-19	3.88*	1.02*	0.067*
ICTA-A ₂	3.81*	0.98*	0.073*
TCA-26	3.80	0.93	0.114
T-101	3.79	1.04*	0.144
TCB-13	3.65	0.84	0.280
B ₁ C ₅	3.61	1.00*	0.086*
B ₃	3.60	0.92	0.122
ACROSS-7423	3.55	0.94	0.090*
CRIOLLO	3.23	0.97*	0.514
Límites de Selección >	3.80	0.95 - 1.05	0 - 0.09

* Genotipos seleccionados en cada nivel independiente.

(1) Genotipos seleccionados en los tres niveles.

diferente en cuanto a seleccionar genotipos de medias de rendimiento alto, lo que a la larga perjudica económicamente al productor.

Los métodos descritos anteriormente, toman los valores de los tres parámetros en forma individual para hacer la selección pero hay otros métodos que engloban los tres parámetros en un solo valor, tal es el caso del método de distancia euclídeana y el de índices de selección.

En el caso de la distancia euclídeana, se basan en la distancia geométrica existente hacia un punto de referencia, se consideraron tres diferentes clases de variedad tipo. Los valores que conjuntan a los tres parámetros se dan en el Cuadro 17. Cuando la selección se basa en un arquetipo de $\mu = 4.0$, $\beta =$ y $S^2_d = 0$; los materiales seleccionados fueron: TCB-19, TCB-21, TCA-22, ICTA-A₂; estos genotipos fueron los mismos que se seleccionaron bajo el método de niveles independientes de descarte. Al considerar como variedad tipo al material de mayor rendimiento H-5 los genotipos seleccionados fueron: TCB-11, TCB-15, TCA-24 y TCA-28, siendo los cuatro materiales, según la prueba de rango múltiple, no diferentes entre sí en cuanto a rendimiento (Cuadro 13), coincidiendo con la selección hecha en base a la media de rendimiento. Tomando como punto de referencia el testigo X-304 A, que es el segundo testigo de mejor rendimiento, los genotipos seleccionados fueron: TCB-11, TCB-17, TCA-2 y TCA-28. Así como los genotipos seleccionados en los métodos anteriores dependen de los límites de selección, en este método dependen de la variedad tipo que se elija. Es de hacer notar que si se escoge una variedad tipo con ciertas características indeseables, los genotipos que se seleccionen pueden llevar estos defectos, por lo tanto, es preferible en ciertos casos hacer consideraciones en base a un arquetipo. Se observa también que al tomar como variedad tipo el material de mayor rendimiento en la evaluación, la selección será muy aproximada

CUADRO 17. DISTANCIAS EUCLIDEANAS (d_{it}) ENTRE 18 GENOTIPOS Y
3 DIFERENTES CLASES DE VARIEDAD TIPO.

IDENTIFICACION	$d_{it}^{(1)}$	$d_{ih-5}^{(2)}$	$d_{i X-304 A}^{(3)}$
B ₁ C ₅	1.7897	3.4374	2.9744
TCB - 11	1.2534	1.9614*	1.2459*
TCB - 13	3.6451	4.8053	2.3854
TCB - 15	2.1292	1.0202*	2.0960
TCB - 17	1.3032	2.9335	0.7097*
TCB - 19	0.8248	2.7217	1.4891
TCB - 21	0.6850	2.7903	1.3447
B ₃	1.9920	3.3636	1.8458
TCA - 22	0.5502*	2.7488	1.3860
TCA - 24	1.4534	1.6977*	1.8583
TCA - 26	1.6601	3.6555	1.3139*
TCA - 28	1.1186	2.2847*	1.0977*
ICTA-A ₂	1.0741*	3.2277	1.4341
H - 5	3.1215	0	2.6299
X-304 A	1.9048	2.6299	0
ACROSS - 7423	2.1870	4.1199	2.1672
T - 101	1.6721	2.3747	1.3998
CRIOLLO	5.6850	5.2580	4.2576

(1) Distancia con respecto a un arquetipo de $\mu = 4.0$, $\beta = 1$ y $S_{di}^2 = 0$.

(2) Distancia con respecto al testigo H-5.

(3) Distancia con respecto al testigo X-304 A.

* Genotipos seleccionados en cada uno de los casos.

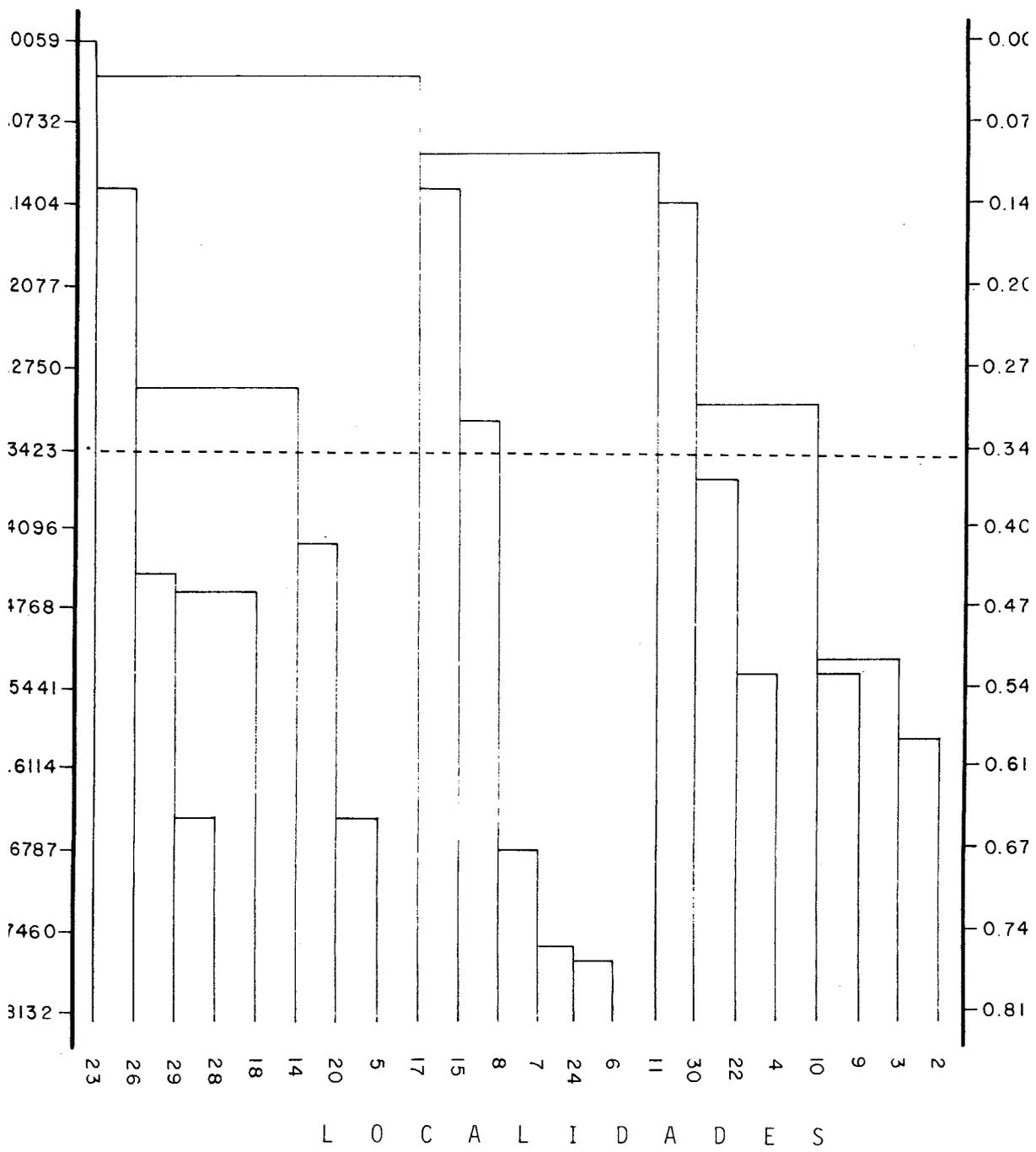
a la hecha por la media de rendimiento. En el Cuadro 1a. del apéndice se presentan los parámetros estandarizados.

Antes de discutir lo que se refiere a los índices de selección, es necesario hacer mención de la necesidad de agrupar los ambientes por similitud, esto como parte de la metodología para determinar la heredabilidad de los parámetros de estabilidad así como para determinar los valores de los índices de selección. Para esto se aplicaron las técnicas de taxonomía numérica con la metodología descrita en Materiales y Métodos. La matriz de coeficientes de correlación se muestra en el Cuadro 2a. del apéndice. El resultado final de aplicar esta técnica fue el dendrograma correspondiente al agrupamiento de ambientes por el método de "Conexión Simple" que se presenta en la Figura 1. Se encontró que con un nivel de similitud de 0.3423 se forman nueve grupos, cuya distribución se presenta en el Cuadro 18.

CUADRO 18. DISTRIBUCION DE AMBIENTES HOMOGENEOS SEGUN LAS --
TECNICAS DE CLASIFICACION DE TAXONOMIA NUMERICA.

GRUPO	COSTA DEL PACIFICO	REGION ORIENTAL	COSTA DEL ATLANTICO
1		23	
2		18, 26 y 28	29
3	5	14 y 20	
4		17	
5		15	
6	6, 7 y 8	24	
7	11		
8	4	22 y 30	
9	2, 3, 9 y 10		

FIGURA 1. DENDROGRAMA DE 22 AMBIENTES PARA MAIZ EN GUATEMALA OBTENIDO DE LOS EFECTOS DE INTERACCION GENOTIPO X AMBIENTE Y EL COEFICIENTE DE CORRELACION



En dicho Cuadro, se observa que dentro de cada grupo similar existen localidades de diferentes regiones, esto puede atribuirse a la existencia de micro-ambientes similares, aunque geográficamente pertenezcan a diferente región; se debe atender también, que la información que el dendrograma presenta es para un año en particular.

Además del coeficiente de correlación para determinar el dendrograma se usó la distancia euclideana, la cual se muestra en la Figura 2. Esta forma de agrupar determinó a un nivel de disimilitud de 1.0622 cuatro grupos de ambientes. Al determinarse los coeficientes de regresión se encontró que los coeficientes de determinación eran bajos en el 40% de los casos, lo que indica que las regresiones explican muy poco de lo que en realidad pasa con los valores observados; en el caso del dendrograma en base a las correlaciones los coeficientes de determinación fueron altos en un 86% de los casos.

Por lo anteriormente mencionado, se consideró que para este estudio el coeficiente de correlación es más adecuado, pues diferenció más los ambientes, a la vez que las regresiones obtenidas tienen un buen ajuste a los valores observados. El método de taxonomía numérica para agrupar ambientes proporciona al investigador una forma objetiva de obtener un panorama general de los ambientes en que efectúa las evaluaciones que de otra forma le sería difícil y podría decirse imposible tener.

Otra utilidad es que si el análisis de grupos se efectúa a través de varias localidades y años, dará al mejorador un criterio para reducir las evaluaciones en aquellas regiones cuyos ambientes fueron homogéneos.

Una vez hecha la agrupación de ambientes se calcularon las componentes de varianza para los tres parámetros μ , β y σ^2 , además de hacer una transformación de σ^2 . El resumen de

FIGURA 2. DENDROGRAMA DE 22 AMBIENTES PARA MAIZ EN GUATEMALA, EN BASE A LA DISTANCIA EUCLIDEANA.

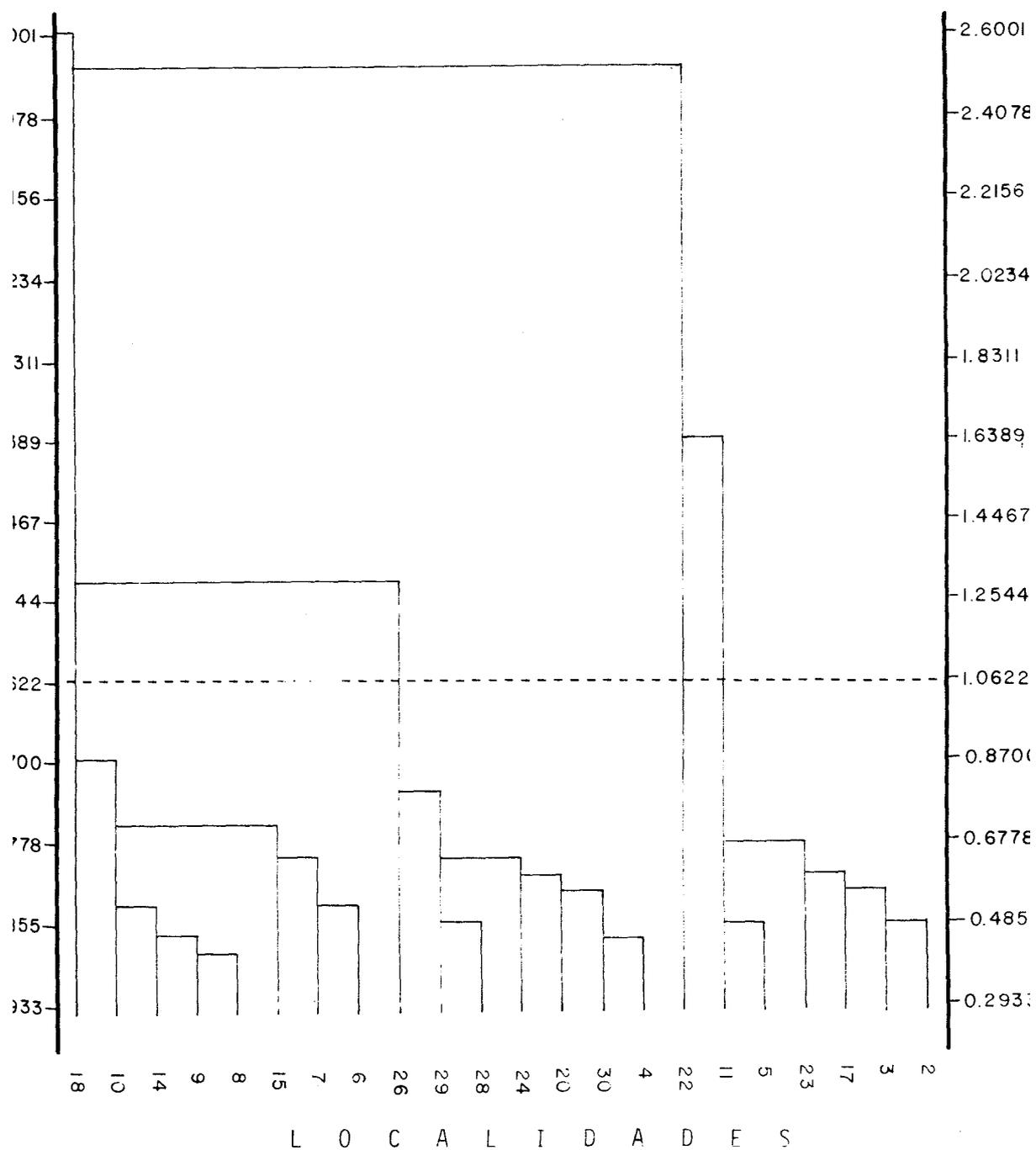
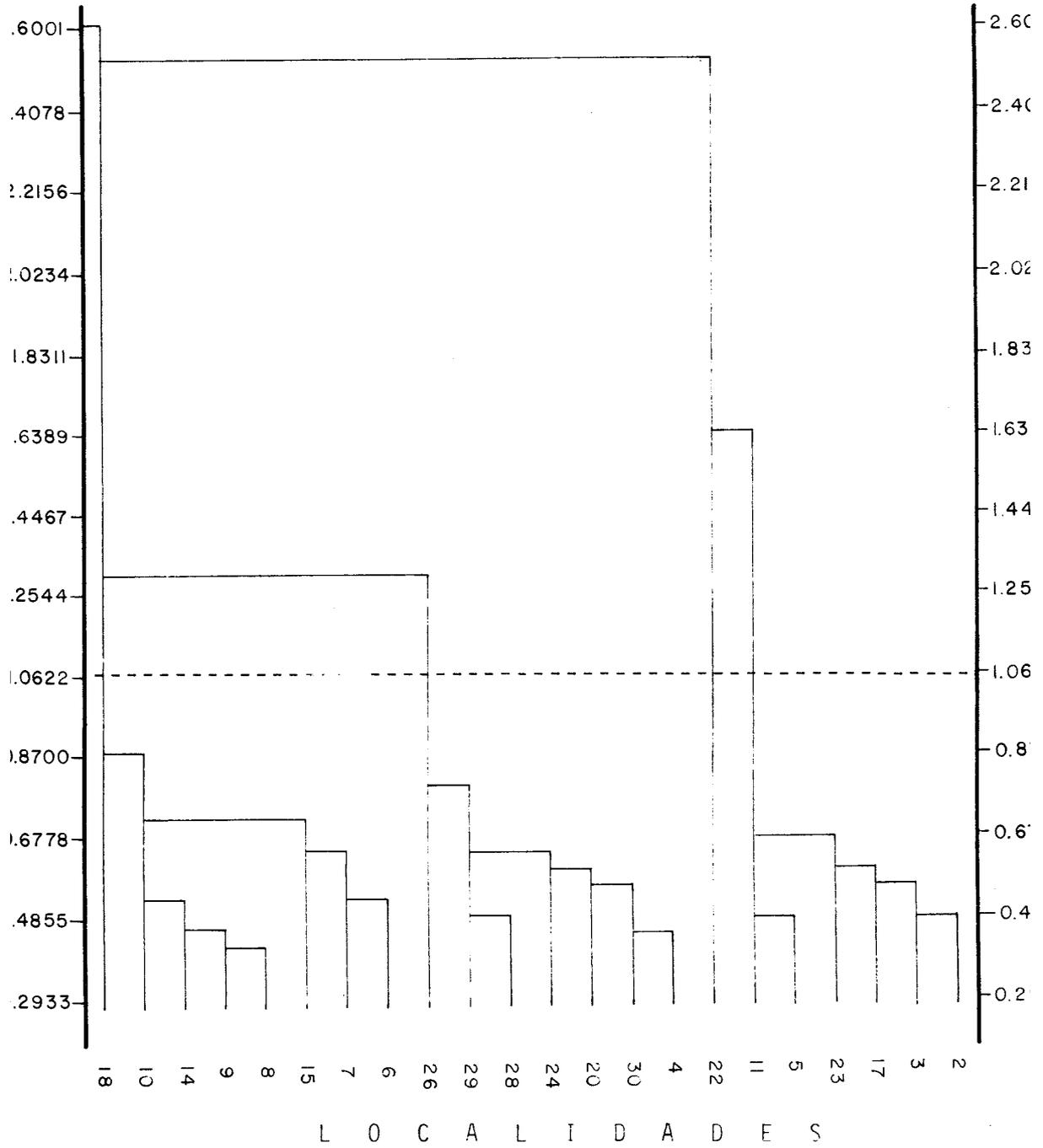


FIGURA 2. DENDROGRAMA DE 22 AMBIENTES PARA MAIZ EN GUA MALA, EN BASE A LA DISTANCIA EUCLIDEANA.



estas componentes se presentan en el Cuadro 19. Para las medias de rendimiento y las desviaciones de regresión se encontró significancia al 1% de probabilidad, lo que indica que los valores de estos dos parámetros son diferentes en cada uno de los 18 genotipos. El coeficiente de regresión per se y elevado al cuadrado no es significativo al 5% de probabilidad.

En cuanto a los componentes de varianza se observa que para la media de rendimiento la varianza genotípica (σ_g^2) es mayor que la varianza ambiental (σ_e^2); en contraste con esto se observa que tanto el coeficiente de regresión como en las desviaciones de regresión la varianza genética es menor que la varianza ambiental; esto causa que la heredabilidad para la media de rendimiento sea de 64.15%, la cual es mucho mayor que las heredabilidades del coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión, las cuales son de 2.48% y 31.47%, respectivamente. Todo esto nos indica que los parámetros β y S_d^2 están altamente influenciados por el medio ambiente, no siendo así para la media de rendimiento. En lo que respecta a la transformación de β a β^2 la heredabilidad se incrementa de 2.48% a 4.61% no variando su comportamiento con respecto a lo discutido anteriormente. Estos resultados indican que los parámetros β y S_d^2 son de baja heredabilidad estando de acuerdo con los obtenidos por Fatunla y Frey (1976) en rendimiento de avena, quienes concluyen que los coeficientes de regresión no son muy heredables. En contraste con esto se encuentra lo determinado por Finlay (1971) y Bucio *et al* (1969) quienes establecieron que los parámetros de estabilidad son heredables en plantas. Por otra parte, Eagles y Frey (1977) en avena y Langer (1978) haciendo un estudio para rendimiento en avena y trigo, determinaron que los parámetros de estabilidad no son heredables. Todo esto causa una controversia sobre este tema, por lo que se considera que los resultados particulares de esta investigación aportan evidencias sobre que los parámetros de estabilidad (β y S_d^2) están influenciados en un alto porcentaje por el medio ambiente, lo que como se ha visto, baja la heredabilidad

principalmente en lo que a coeficientes de regresión se refiere; si a esto agregamos que la heredabilidad está estimada en sentido amplio, es decir incluye los efectos de dominancia y - siendo la mayoría de los genotipos híbridos, dicha estimación estará sobrestimada, por lo que si la heredabilidad hubiera sido posible calcularla en sentido estrecho los valores serían - aún más bajos.

CUADRO 19. RESUMEN DE ANALISIS Y COMPONENTES DE VARIANZA PARA LOS PARAMETROS μ , β , β^2 y S_d^2

VARIABLES	C.M.	σ^2_e	σ^2_g	σ^2_f	h^2
μ	0.1858**	0.0228	0.0408	0.0636	64.15
β	0.1344NS	0.1221	0.0031	0.1252	2.48
β^2	0.5754NS	0.4823	0.0233	0.05056	5.61
S_d^2	0.1115**	0.0392	0.0180	0.0572	31.47

En el Cuadro 20 se resumen los componentes de covarianza que al igual que los componentes de varianza fueron utilizados para determinar los coeficientes de correlación múltiple y estimar el avance genético esperado.

CUADRO 20. RESUMEN DE LAS COMPONENTES DE COVARIANZA DE LOS -
PARAMETROS μ , β , β^2 y S^2_d

Covariables	Cov.e	Cov.g	Cov.f
μ β	0.0225	0.0155	0.0380
μ β^2	0.0443	0.0355	0.0798
μ S^2_d	- 0.0050	- 0.0124	- 0.0174
β S^2_d	- 0.0159	0.0001	- 0.0158
β^2 S^2_d	- 0.0347	0.0089	- 0.0258

Basándonos en la información que aportan los Cuadros 19 y 20 se determinaron las ecuaciones para estimar los valores de los índices de selección con las posibles combinaciones - entre los parámetros media, coeficiente de regresión y desviaciones de regresión; dando valor de uno a los componentes del vector de ponderación económico ($a_1 = a_2 = a_3 = 1$). Las -- ecuaciones se presentan en el Cuadro 21.

CUADRO 21. ECUACIONES PARA DETERMINAR LOS INDICES DE SELECCION ENTRE LAS COMBINACIONES DE LOS PARAMETROS μ , β , β^2 y S^2_d

INDICE	E C U A C I O N
$I_{\mu\beta}$	$0.9729 \mu_i - 0.1467 \beta_i$
$I_{\mu \beta^2}$	$3.0692 \mu_i - 0.1579 \beta^2_i$
$I_{\mu S^2_d}$	$0.5163 \mu_i + 0.2550 S^2_{di}$
$I_{\beta S^2_d}$	$0.0679 \beta_i + 0.3352 S^2_{di}$
$I_{\beta^2 S^2_d}$	$0.0897 \beta_i + 0.5108 S^2_{di}$
$I_{\mu \beta S^2_d}$	$0.8145 \mu_i - 0.0560 \beta^2_i + 0.3320 S^2_{di}$
$I_{\mu \beta^2 S^2_d}$	$1.2197 \mu_i - 0.0242 \beta^2_i + 0.6748 S^2_{di}$

Al aplicar estas ecuaciones a los parámetros de los 18 - genotipos se obtuvieron los valores numéricos de los índices. Estos se presentan en el Cuadro 22. La ordenación primaria que se les dió fue de acuerdo a las medias de rendimiento.

Para determinar que índice es el mejor, se calcularon - los coeficientes de correlación con los valores del Cuadro 22 y así determinar cual está mas correlacionado con la media de rendimiento. Además, se calculó el avance genético esperado (ΔGE) en rendimiento de grano por ciclo, para cada índice y la eficiencia relativa (ER) de su uso con respecto al ΔGE de un - índice simple basado únicamente en el caracter media de rendimiento. Todos estos resultados se anotan en los Cuadros 23 y 24. La intensidad de selección usada para calcular ΔGE fue de 5%.

CUADRO 22. PARAMETROS DE ESTABILIDAD E INDICES DE SELECCION PARA 18 GENOTIPOS EVALUADOS A TRAVES DE 16 AMBIENTES SELECCIONADOS AL AZAR.

GENEALOGIA	PARAMETROS DE ESTABILIDAD					INDICES DE SELECCION						
	μ	β	β^2	S_d^2	μ	β	$\mu - S_d^2$	$\beta - S_d^2$	$\mu - \beta - S_d^2$	$\mu - \beta^2$	$\beta^2 - S_d^2$	$\mu - \beta^2 - S_d^2$
M-5	4.3556	1.4408	2.1846	0.3414	4.0262	2.3359	0.2123	3.4803	13.0233	0.3703	5.9900	
TCB-15	4.3037	1.0450	1.1906	0.1626	4.0338	2.2635	0.1255	3.5008	13.0209	0.1899	5.3301	
TCA 24	4.2887	1.1631	1.3937	0.0692	4.0018	2.2319	0.1022	3.4510	12.9428	0.1604	5.2439	
X-304A	4.2106	0.7866	0.9868	0.1887	3.9811	2.2221	0.1167	3.4481	12.7674	0.1849	5.2391	
TCB-11	4.1794	1.1210	1.3342	0.1945	3.9017	2.2069	0.1406	3.4053	12.6717	0.2180	5.1952	
TCA-28	4.1712	1.0518	1.1744	0.1207	3.9039	2.1844	0.1119	3.3786	12.6168	0.1670	5.1506	
TCA-22	4.1419	0.8218	0.8509	0.0417	3.9091	2.1491	0.0698	3.3414	12.5780	0.0976	5.0594	
TCB-21	4.0856	1.1377	1.3430	0.0692	3.8080	2.1270	0.1004	3.2870	13.3275	0.1558	4.9974	
TCB-19	4.0694	0.9679	0.9869	0.0520	3.8171	2.1143	0.0832	3.2776	12.3340	0.1151	4.9747	
TCA-26	4.0294	0.7518	0.5797	0.0850	3.8099	2.1021	0.795	3.2681	12.2755	0.0954	4.9580	
ICTA-A2	3.9819	0.9349	0.8962	0.0887	3.7368	2.0785	0.0932	3.2204	12.0797	0.1257	4.8350	
TCB-17	3.9644	1.0382	1.0997	0.0421	3.7047	2.0576	0.0846	3.1848	11.9939	0.1201	4.8372	
T-101	3.9506	1.1742	1.4733	0.2230	3.6713	2.0966	0.1545	3.2260	11.8925	0.2461	4.9333	
B ₁ C ₅	3.7819	0.8939	0.8313	0.1314	3.5483	1.9861	0.1047	3.0739	11.4761	0.1417	4.6813	
ACROSS-7423	3.7731	0.9014	0.8631	0.1168	3.5386	1.9778	0.1003	3.0615	11.4441	0.1371	4.6600	

CUADRO 22. C O N T I N U A C I O N

GENEALOGIA	PARAMETROS DE ESTABILIDAD				INDICES DE SELECCION						
	μ	β	β^2	S_d^2	$\mu - \beta$	$\mu - S_d^2$	$\beta - S_d^2$	$\mu - \beta^2$	$\beta - S_d^2$	$\mu - \beta - S_d^2$	
TCB-13	3.7162	0.6926	0.5139	0.4905	3.5139	2.0438	0.2114	3.1509	11.3246	0.2966	4.8512
CRIOLLO	3.7050	.8456	0.9581	0.6728	3.4805	2.0845	0.2829	3.1937	11.2201	0.4296	4.9498
B ₃	3.7044	0.9890	1.0755	1.861	3.4589	1.9600	0.1295	3.0236	11.1997	0.1915	4.6178

De los cuadros 23 y 24 se pueden hacer algunas observaciones. Los índices de selección más correlacionados con la media de rendimiento son $\mu-\beta^2$ con coeficientes de correlación de 0.997 y $\mu-\beta$ con 0.993. En general la eficiencia relativa varía de 63.46% y 101.32% con respecto al índice basado solo en la media de rendimiento. Los avances genéticos se calcularon solo para los índices que más estrechamente guardaron relación con la media de rendimiento.

Los índices de selección basados en la combinación de dos parámetros dieron en general eficiencias relativas superiores a los índices contruidos con los tres parámetros; es decir a medida que se aumentaron parámetros, la eficiencia se redujo.

Se observa que el único índice que superó en eficiencia a la media de rendimiento fue el que combina la media y el coeficiente de regresión, aunque dicha ganancia es mínima 1.32%. Esta baja ganancia en eficiencia, podría deberse a que los coeficientes de regresión son similares para los 18 genotipos evaluados. Se pensó en aumentar la ganancia genética esperada aumentando la variación de este parámetro, por lo que se hizo transformación a β^2 . Al calcularse la ganancia genética esperada y la eficiencia relativa se encontró que éstas no varían con respecto a los obtenidos con el coeficiente de regresión per se, pues la eficiencia relativa fue de 1.11%. En base a las consideraciones anteriores se estima por lo tanto, que el mejor índice de selección es el que conjunta la media y coeficiente de regresión per se.

Por otra parte, si se analiza el procedimiento para obtener el índice que conjunta la media y el coeficiente de regresión, se podrá notar que requiere de cálculos muy complicados; además su heredabilidad es muy baja y su ganancia genética es y poco superior que la de la media per se. Esto hace que para un programa de mejoramiento en el cual se incluyan muchas calidades, sería preferible usar únicamente la media de ren-

dimiento la cual no necesita de cálculos complejos además de que este parámetro es de mayor heredabilidad que los parámetros de estabilidad β y S_d^2

La información de este estudio también aporta resultados que pueden ser útiles en el futuro, pues los índices de selección han sido usados en general para mejorar características agronómicas, siendo útil también para conjuntar en un solo valor parámetros que a criterio del genotecnista sean de importancia para la selección.

CUADRO 23. CORRELACION DE LOS INDICES DE SELECCION, AVANCE GENETICO ESPERADO Y EFICIENCIA -
RELATIVA PARA LAS COMBINACIONES POSIBLES DE TRES PARAMETROS (μ , β y S_d^2).

	μ	β	S_d^2	$\mu - \beta$	$\mu - S_d^2$	$\beta - S_d^2$	$\mu - \beta - S_d^2$	ΔGE	ER%
μ	1.000	0.553	-0.382	0.993	0.924	-0.263	0.946	0.3333	100
β		1.000	-0.150	0.454	0.536	0.071	0.499		
S_d			1.000	-0.390	0.001	0.975	-0.065		
$\mu - \beta$				1.000	0.913	-0.294	0.942	0.3377	101.32
$\mu - S_d^2$					1.000	0.119	0.996	0.2907	87.22
$\beta - S_d^2$						1.000	0.043		
$\mu - \beta - S_d^2$							1.000	0.2115	63.46

CUADRO 24. CORRELACION DE LOS INDICES DE SELECCION, AVANCE GENETICO ESPERADO Y EFICIENCIA RELATIVA PARA LAS CORRELACIONES POSIBLES DE TRES PARAMETROS (μ , β , y S_d)

	μ	β^2	S_d^2	$\mu \beta^2$	$\mu - S_d^2$	$\beta - S_d^2$	$\mu \beta^2 - S_d^2$	ΔGE	ER %
μ	1.000	0.583	-0.382	0.997	0.924	-0.139	0.898	0.3333	100
β^2		1.000	0.019	0.518	0.638	0.384	0.617		
S_d^2			1.000	-0.403	0.001	0.930	0.060		
$-\beta^2$				1.000	0.912	-0.182	0.886	0.3370	101.11
S_d^2					1.000	0.235	0.996	0.2907	87.22
S_d						1.000	0.282		
S_d							1.000	0.2805	84.16

V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los objetivos de este estudio fueron conocer el comportamiento de 18 genotipos de maíz a los cambios ambientales por medio de los parámetros media, coeficiente de regresión y desviaciones de regresión del rendimiento. Además determinar el mejor parámetro o combinación de estos que ayuden al mejorado a hacer una selección más adecuada. Se usó el modelo de Eberhart y Russell (1966) para determinar los parámetros de estabilidad β y S_d^2 . Los híbridos experimentales que se evaluaron en el presente estudio provienen de la cruce de las mejores familias de poblaciones en proceso de mejoramiento del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con probadores que en este caso fueron variedades e híbridos adaptados a la región tropical de Guatemala. Tanto las familias como los probadores fueron seleccionados por el programa de maíz del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas de Guatemala. La evaluación incluye 10 híbridos (mestizos) y 2 variedades experimentales, además de 6 testigos. Los 18 materiales fueron evaluados en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones por localidad a través de 22 ambientes durante 1977. Un genotipo estable fue definido como aquel que presenta media de rendimiento alta, coeficiente de regresión igual a uno y desviación de regresión cerca de cero.

El análisis de varianza para determinar los parámetros estabilidad en estudio, estableció que tanto los cuadrados medios de la interacción genotipo x ambiente lineal y los cuadrados medios de la desviación conjunta fueron altamente significativos, lo que es un indicativo de que ambos parámetros β y S_d^2 en los 18 genotipos difieren entre sí. La proporción de genotipos con desviaciones de regresión diferente de cero fué 16. Por lo tanto se puede afirmar que los 10 híbridos y 2 variedades experimentales son estables, pues ninguno de ellos está incluido en el porcentaje mencionado anteriormente. Los genotipos

que son producidos en el extranjero, además la variedad crilla.

En lo que se refiere a los métodos de selección se encontró que el de distancia euclídeana hacia el genotipo de mayor rendimiento y el índice de selección que conjunta la media y el coeficiente de regresión son los que más asociados están con la selección hecha en base a la media de rendimiento.

La división de ambientes homogéneos determinó la existencia de micro-ambientes similares, situados en diferentes regiones geográficas. Por consiguiente si el genotecnista evalúa a través de un gran número de ambientes, la taxonomía numérica es la herramienta más adecuada para obtener una visión general de la totalidad de localidades. También ayuda a los programas de mejoramiento para determinar en qué regiones disminuir o incrementar evaluaciones, de acuerdo a la similitud de los ambientes.

El comportamiento genético de los parámetros β y S^2_d indica que ambos son de baja heredabilidad, 2.48 y 31.47, respectivamente. Estando ambos valores muy influenciados por las condiciones ambientales, la media de rendimiento mostró una heredabilidad de 64.15% siendo su manifestación más de carácter genético que ambiental. El índice apropiado para hacer selección, fue el que conjuntó los parámetros media y coeficiente de regresión ya que tiene una eficiencia relativa de 1.32% que la ganancia genética en base solo a la media de rendimiento, aun así este valor es muy bajo.

Por lo tanto, se concluye que debido a la baja heredabilidad del coeficiente de regresión y las desviaciones de selección así como a la mínima ganancia genética del índice que

tro para hacer la selección en un programa de mejoramiento c
incluye muchos ambientes, es la media del rendimiento.

VI. A P E N D I C E S

CUADRO 1a. RENDIMIENTO PROMEDIO (KG/PARCELA) Y PARAMETROS DE ESTABILIDAD (μ , S_d), ESTANDARIZADOS PARA 18 GENOTIPOS DE MAIZ EVALUADOS A TRAVEZ DE 22 LOCALIDADES.

G E N E A L O G I A	μ	β	S_d^2
B ₁ C ₅	- 0.9485	- 0.0082	- 0.5682
TCB-11	0.9485	0.5429	- 0.2617
TCB-13	- 0.7835	- 2.1578	- 1.2068
TCB-15	1.1959	1.5660	- 0.0156
TCB-17	0.4536	- 0.4857	- 0.1610
TCB-19	0.1649	0.2449	- 0.7411
TCB-21	0.3711	0.0299	- 0.7328
B ₃	- 0.9897	- 0.0354	- 0.2370
TCB-22	0.6186	0.0381	- 0.8060
TCB-24	1.0309	1.1197	- 0.5059
TCB-26	- 0.1649	- 0.9973	- 0.3120
TCB-28	0.4948	0.3320	- 0.2983
ICTA-A ₂	- 0.1237	- 0.3116	- 0.6871
H-5	1.3608	2.1252	0.8216
X 304 A	0.6598	- 0.3905	0.5114
ACROSS 7423	- 1.1959	- 0.8109	- 0.5261
T-101	- 0.2062	0.5619	- 0.0384
CRIOLLO	- 2.5155	- 0.3728	3.3477
Arquetipo	0.6598	- 0.0014	- 1.3532

CUADRO 4 a . ANALISIS DE VARIANZA INDIVIDUAL PARA 18 G
POS EVALUADOS A TRAVEZ DE 22 AMBIENTE

LOCALIDAD	F.V.	G.L.	:C.M.	
2	Repeticiones	3	0.413473	
	Tratamientos	17	0.816350	3
	Error	51	0.261853	
3	Repeticiones	3	1.154235	
	Tratamientos	17	0.626022	2
	Error	51	0.230128	
4	Repeticiones	3	0.447899	
	Tratamientos	17	0.582417	2
	Error	51	0.212142	
5	Repeticiones	3	0.117263	
	Tratamientos	17	0.536132	0
	Error	51	0.508164	
6	Repeticiones	3	1.527704	
	Tratamientos	17	1.964396	3
	Error	51	0.592962	
7	Repeticiones	3	0.744724	
	Tratamientos	17	0.642757	2
	Error	51	0.246055	
8	Repeticiones	3	0.572398	
	Tratamientos	17	0.235803	1
	Error	51	0.196201	
9	Repeticiones	3	1.416802	
	Tratamientos	17	0.351760	1
	Error	51	0.299243	

CUADRO 4 a . C O N T I N U A C I O N

LOCALIDAD	F.V.	G.L.	C.M.	F
10	Repeticiones	3	0.404406	
	Tratamientos	17	0.723544	2.58**
	Error	51	0.280713	
11	Repeticiones	3	0.145998	
	Tratamientos	17	0.269904	1.06 N S
	Error	51	0.264847	
14	Repeticiones	3	7.149015	
	Tratamientos	17	0.482399	0.74 N S
	Error	51	0.655041	
15	Repeticiones	3	2.189700	
	Tratamientos	17	1.114312	2.91**
	Error	51	0.383419	
17	Repeticiones	3	5.753287	
	Tratamientos	17	0.606442	1.35 N S
	Error	51	0.448254	
18	Repeticiones	3	8.219143	
	Tratamientos	17	1.958915	3.03**
	Error	51	0.645615	
20	Repeticiones	3	0.617711	
	Tratamientos	17	0.656275	1.89*
	Error	51	0.347656	
22	Repeticiones	3	0.360988	
	Tratamientos	17	0.232525	3.43**
	Error	51	0.067804	

CUADRO 4 a . C O N T I N U A C I O N

LOCALIDAD	F.V.	G.L.	C.M.	F
23	Repeticiones	3	1,088901	0,83
	Tratamientos	17	0,303373	
	Error	51	0,364088	
24	Repeticiones	3	0,659156	2,91
	Tratamientos	17	0,869733	
	Error	51	0,298824	
26	Repeticiones	3	2,436601	1,44
	Tratamientos	17	0,629635	
	Error	51	0,537773	
28	Repeticiones	3	2,985714	2,06
	Tratamientos	17	0,710401	
	Error	51	0,344082	
29	Repeticiones	3	0,862969	2,16
	Tratamientos	17	1,532141	
	Error	51	0,709911	
30	Repeticiones	3	0,962457	0,87
	Tratamientos	17	0,601300	
	Error	51	0,689050	

* Significancia al 5% de probabilidad.

** Significancia al 1% de probabilidad.

NS No significativo al 5% de probabilidad.

CUADRO 5 a . REPETICIONES PARA EL ANALISIS DE RENDIMIENTO, BASADO EN 16 AMBIENTES ALEATORIOS.

GENEALOGIA	I	II	III	IV	\bar{X}
B ₁ C ₅	3.0850	4.0425	3.9675	4.0325	3.7819
TCB-11	3.6950	4.5475	4.3150	4.1600	4.1794
TCB-13	3.3100	3.8600	3.7225	3.9625	3.7162
TCB-15	3.8300	4.6425	4.6225	4.1200	4.3037
TCB-17	3.5650	4.3425	3.8700	4.0800	3.9644
TCB-19	3.7025	4.5625	4.0000	4.0125	4.0694
TCB-21	3.7300	4.4150	4.0750	4.1225	4.0856
B ₃	3.3175	3.9975	3.6525	3.8500	3.7044
TCA-22	3.7850	4.4225	4.3625	3.9975	4.1419
TCA-24	3.7100	4.7400	4.3950	4.3100	4.2887
TCA-26	3.5275	4.3300	4.1225	4.1375	4.0294
TCA-28	3.9600	4.3100	4.3150	4.1000	4.1712
ICTA-A ₂	3.2875	4.4750	4.0300	4.1350	3.9819
H-5	3.9975	4.6150	4.5600	4.2500	4.3556
X-304 A	3.5600	4.6525	4.2475	4.3825	4.2106
ACROSS 7423	3.3525	3.9650	3.9325	3.8425	3.7731
T-101	3.4225	4.0875	4.0175	4.2750	3.9506
CRIOLLO	3.0100	4.0825	3.7300	3.9975	3.7050

CUADRO 6 a . REPETICIONES PARA EL ANALISIS DE COEFICIENTES DE REGRESION, BASADOS EN
16 AMBIENTES ALEATORIOS .

GENEALOGIA	I	II	III	IV	$\bar{\beta}$
B ₁ C ₅	0.6131	1.1134	0.9335	0.9154	0.8939
TCB-11	1.2445	0.9683	1.5046	0.7664	1.1210
TCB-13	1.0013	0.6145	0.5108	0.6439	0.6926
TCB 15	0.8117	0.8858	1.5856	0.8970	1.0450
TCB-17	1.1778	1.1411	0.7984	1.0354	1.0382
TCB-19	1.3097	0.8347	0.7157	1.0116	0.9679
TCB-21	1.4818	1.0689	0.8703	1.1297	1.1377
B ₃	1.3860	0.9883	0.5142	1.0676	0.9890
TCA-22	1.2507	0.1276	0.9364	0.9227	0.8218
TCA-24	1.1909	0.8373	1.3713	1.2590	1.1631
TCA-26	0.5558	0.8770	0.7607	0.8137	0.7518
TCA-28	1.2917	1.2416	0.6288	1.0450	1.0518
ICTA-A ₂	0.7440	0.9741	1.1510	0.8704	0.9349
H-5	1.5679	0.9578	1.8654	1.3722	1.4408
X-304 A	0.0201	1.5194	0.6863	0.9205	0.7866
ACROSS-7423	1.0998	1.1181	0.5719	0.8158	0.9014
T-101	1.0213	1.1314	1.6807	0.8633	1.1742
CRIOLLO	0.2617	0.6066	0.9140	1.6001	0.8456

CUADRO 7 a . REPETICIONES PARA EL ANALISIS DE LAS DESVIACIONES DE REGRESION,
BASADA EN 16 AMBIENTES ALEATORIOS

GENEALOGIA	I	II	III	IV	\bar{S}_d^2
B ₁ C ₅	0,2275	0,1036	0,0677	0,1268	0,1314
TCB-11	0,1840	0,0338	0,2768	0,2755	0,1925
TCB-13	1,2991	0,1311	0,4720	0,0598	0,4905
TCB-15	0,5008	0,0328	0,1015	0,0155	0,1626
TCB-17	0,0673	0,0083	0,0273	0,0954	0,0496
TCB-19	0,1532	0,0410	0,0098	0,0042	0,0520
TCB-21	0,0737	0,0954	0,0517	0,0559	0,0692
B ₃	0,4490	0,1084	0,1178	0,0693	0,1861
TCA-22	0,0287	0,0814	0,0022	0,0545	0,0417
TCA-24	0,2035	0,0384	0,0085	0,0262	0,0692
TCA-26	0,0134	0,1162	0,0216	0,1888	0,0850
TCA-28	0,0209	0,2263	0,1281	0,1074	0,1207
ICTA-A ₂	0,0972	0,1101	0,0244	0,1231	0,0887
H-5	0,8498	0,2810	0,1323	0,1025	0,3414
X-304 A	0,5400	0,1760	0,0360	0,0029	0,1887
ACROSS 7423	0,1231	0,0530	0,0474	0,2437	0,1168
T-101	0,4617	0,2003	0,1154	0,1146	0,2230
CRIOLLO	1,4247	0,6683	0,3800	0,2184	0,6728

CUADRO 8 a . REPETICIONES PARA EL ANALISIS DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION
AL CUADRADO BASADO EN 16 AMBIENTES ALEATORIOS.

GENEALOGIA	I	II	III	IV	$\bar{\beta}^2$
B ₁ C ₅	0.3759	1.2397	0.8714	0.8380	0.8313
TCB-11	1.5480	0.9376	2.2638	0.5784	1.3342
TCB-13	1.0026	0.3776	0.2609	0.4146	0.5139
TCB-15	0.6289	0.7846	2.5141	0.8046	1.1906
TCB-17	1.3872	1.3021	0.6374	1.0721	1.0997
TCB-19	1.7153	0.6967	0.5122	1.0233	0.9869
	2.1957	1.1425	0.7574	1.2762	1.3430
	1.9210	0.9767	0.2644	1.1398	1.0755
TCA-2	1.5643	0.0163	0.8768	0.9461	0.8509
TCA-2	1.4182	0.6911	1.8805	1.5851	1.3937
TCA-2	0.3089	0.7691	0.5787	0.6621	0.5797
	1.6685	1.5416	0.3954	1.0920	1.1744
	0.5535	0.9489	1.3248	0.7576	0.8962
	0.4583	0.9174	3.4797	1.8829	2.1846
	0.0004	2.3086	0.4710	0.8473	0.9868
	1.2096	1.2501	0.3271	0.6655	0.8631
	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000

CUADRO 9 a . ANALISIS DE VARIANZA PARA LA MEDIA, COEFICIENTE DE REGRESION Y DESVIACIONES DE REGRESION DEL DIMIENTO, EN BASE A 16 AMBIENTES ALEATORIO

	F.V.	G.L.	C.M.	F
μ	Repeticiones	3	2,03300	
	Tratamientos	17	0.18580	8.14
	Error	51	0.02281	
β	Repeticiones	3	0.01417	
	Tratamientos	17	0.13443	1.10
	Error	51	0.12205	
β^2	Repeticiones	3	0.1686	
	Tratamientos	17	0.5754	1.19
	Error	51	0.4823	
S_d^2	Repeticiones	3	0.29158	
	Tratamientos	17	0.11154	2.84
	Error	51	0.03924	

** Significancia al 1% de probabilidad.

NS No significativo al 5% de probabilidad.

CUADRO 10 a. ANALISIS DE COVARIANZA PARA LAS COMBINACIONES
 SIBLES ENTRE μ , β , β^2 Y S_d^2 EN BASE A 16 AMBI
 ALEATORIOS

COVARIANZA	F.V.	G.L.	S.P.	F
$\mu - \beta$	Repeticiones	3	- 0,3296	- 0,
	Tratamientos	17	1,4339	0.
	Error	51	1,1491	0.
$\mu - \beta^2$	Repeticiones	3	- 1,2878	- 0,
	Tratamientos	17	3,1631	0,
	Error	51	2,2576	0.
$\mu - S_d^2$	Repeticiones	3	- 2,10338	- 0,
	Tratamientos	17	- 0,92922	- 0.
	Error	51	- 0,25495	- 0.
$\beta - S_d^2$	Repeticiones	3	0,0492	0,
	Tratamientos	17	- 0,2611	- 0.
	Error	51	- 0,8091	- 0.
$\beta^2 - S_d^2$	Repeticiones	3	0,3233	0.
	Tratamientos	17	0,0126	0.
	Error	51	- 1,7708	- 0,

CUADRO 11 a . RENDIMIENTO Y CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DE 18 GENOTIPOS EVALUADOS EN 22 LOCALIDADES DEL TRIPICO DE GUATEMALA

GENEALOGIA	RENDIMIENTO Kg/Ha.	% CRIOLLOS	% H-5	DIAS A FLOR FEMENINA.	ALTURA (cm) PLANTA	MAZORCA	% ACAME TOTAL
H-5	4212	129	100	56	236	138	16.00
TCB-15	4172	128	99	54	213	109	6.80
TCA-24	4131	127	98	54	210	107	7.64
TCB-11	4091	125	97	54	206	109	8.35
X-304 A	4051	124	96	56	217	126	13.00
TCA-22	4030	123	96	54	208	107	4.26
TCA-28	4000	122	95	54	214	115	10.49
TCB-17	3990	122	95	56	200	109	5.15
TCB-21	3970	122	94	55	203	110	5.81
TCB-19	3919	120	93	55	200	111	7.00
ICTA A ₂	3848	118	91	54	205	118	12.00
TCA-26	3838	118	91	57	209	116	9.81
T-101	3828	117	91	55	220	124	9.36
TCB-13	3687	113	88	54	205	109	6.41
B ₁ C ₅	3646	112	87	56	191	103	5.52
R.	3636	111	86	56	202	102	5.12

VII. B I B L I O G R A F I A

- ABOU EL FITTOUH, H.A., J.O. RAWLINGS and P.A. HILLER. 1964. Classification of environment to control genotype-environment interactions with an application to wheat. *Crop. Sci.* 9: 135-140.
- ALLARD, R.W. and A.D. BRADSHAW. 1964. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop. Sci.* 4: 503-507.
- BETANZOS, M.E. 1970. Dos aspectos en el estudio de la interacción genético ambiental. Tesis MC. Colegio de Graduados, ENA, Chapingo, México.
- BILLINGS, W.D. 1968. Las plantas y el ecosistema. Seriedadamentos de botánica. Herrero Hnos. Sucesores, México. p.p. 7-47.
- BRAUER H., O. 1969. Fitogenética aplicada. Edit. Limusley, S.A. México, p.p. 254-263.
- BUCIO A., L. 1966. Environmental and genotype-environmental components of variability. I. Inbred lines. *Heredity* 21: 387-397.
- BUCIO A., L., J.M. PERKINS and J.L. JINKS. 1969. Environmental and genotype-environmental components of variability. V. Segregating generations. *Heredity* 24: 115-127.
- CAMPBELL, L.G. and H.N. LAFEVER. 1980. Effects of location and years upon relative yields in the soft red wheat region. *Crop. Sci.* 20: 23-28.

- CARBALLO, C. y F. MARQUEZ S. 1971. Comparación de variedades de maíz de el bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5: 129-146.
- CERVANTES S., T. 1976. Efectos genéticos de interacción tipo-ambiente en la clasificación de razas mexicanas de maíz. Tesis D.C. Colegio de postgraduados, E Chapingo, México.
- CHAVEZ D., J. 1977. Estabilidad de rendimiento de grano avena (Avena sativa L.) en diferentes agrupamientos ambientales. Tesis M.C. Colegio de postgraduados, Chapingo, México.
- CORDOVA, H.S. 1975. Efecto del número de líneas endogámicas sobre el rendimiento y estabilidad de las variedades sintéticas derivadas en maíz (Zea mays L.). Tesis Colegio de postgraduados, ENA, Chapingo, México.
- EAGLES. H.A. and K.J. FREY. 1977. Repeatability of the stability-variance parameter in oats. *Crop. Sci.* 17: 253-256.
- EBERHART, S.A. 1969. Yield stability of single-cross genotypes. Proc. of the twenty fourth annual corn and sorghum Res. Conf. 22-34.
- EBERHART, S.A. and W.A. RUSELL. 1966. Stability parameter comparing varieties. *Crop. Sci.* 6: 36-40.
- FALCONER, D.S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Edit. C.E.C.S.A. México. p.p. 228-238.
- FATUNLA, T. and K.J. FREY. 1976. Repeatability of regression stability indexes for grain yield of oats (Avena . . .
... .. *Euphytica* 25: 21-29

- FINALY, K.W. and G.N. WILKINSON. 1963. The analysis of variation in a plant breeding programme. Australian Agr. Res. 14: 742-754.
- FINALY, K.W. 1971. Breeding for yield in barley. Int. Genet. Symp. Proc. 2: 338 - 345.
- FRIPP, Y.J. and C.E. CATEN. 1973. Genotype-environmental interactions in Schizopyllum commune. III. The relationship between mean expression and sensitivity change in environment. Heredity. 30: 341-349.
- GOMES e GAMA E.E. 1978. Stability analysis of single-cross hybrids of maize (Zea mays L.) produced from selected unselected inbred lines. Thesis Ph.D. Iowa State University, Ames, Iowa.
- HANSON, W.D. 1970. Relative and comparative genotypic stability parameters. Theor. Appl. Genet. 40: 266-231
- JARDINE, N. and R. SIBSON. 1971. Mathematical taxonomy. Wiley, New York, U.S.A.
- JOWETT, D. 1972. Yield stability parameters for sorghum East Africa. Crop. Sci. 12: 314-317.
- LANGER, I. 1978. Regression and structural relation response parameters and their applicability in plant breeding programmes. XIV International Congress of Genetics. Moscú.
- MARQUEZ S., F. 1970. El problema de la interacción genotipo ambiental en genotecnia vegetal. Colegio de postgrados, ENA, Chapingo, México.

- MARQUEZ S., F. 1973. Relationship between genotype-environmental interaction and stability parameters. (Sci. 13: 577-579.
- MARQUEZ S., F. 1976. Obtención de un índice socio agrario de adaptabilidad para la selección de variedades de plantas cultivadas. VII Reunión de Maiceros de la Andina. Guayaquil, Ecuador.
- MARTINEZ, W.O., M.C. TORREGROSA y B.R. MARTINEZ. 1970. Estabilidad fenotípica de poblaciones heterocigotas de clima frío. Fitotecnia Latinoamericana, 7: 71-84.
- PLAISTED, R.L. 1960. A shorter method for evaluating ability of selections to yield consistently over seasons. American Potato Journal. 37: 166-172.
- RAM, J., O.P. JAIN and B.R. MURTY. 1970. Stability of performance of some varieties and hybrids derivatives under high yielding varieties programme. In Jour. of genetics and plant breeding. 30: 187-
- SANCHEZ G., J. 1977. Efecto de niveles de divergencia genética y factores ambientales en la expresión fenotípica de variedades sintéticas de maíz. Tesis M.C. de postgraduados, ENA, Chapingo, México.
- SNEATH, H.A. and R.R. SOKAL. 1973. Numerical taxonomy San Francisco, U.S.A.
- SNEDECOR, F.W. and W.G. COCHRAN. 1978. Métodos estadísticos Quinta edición. Editorial C.E.C.S.A. México. p.p. 175-217.

- SOLIS R., R. 1974. Algoritmos, estrategias y modelos para todos de agrupación. Tesis M.C. Colegio de postgraduados, ENA, Chapingo, México.
- SPRAGUE, G.F. and W.T. FEDERER. 1951 . A comparison of variance components in corn yield trials. II. Error year-variety, location-variety and variety and variety components. Agron. Jour. 43: 535-541.
- STEEL, R.G. and J.T. TORRIE. 1960. Principles and procedures of statistics. Mc Graw-Hill books company, Inc. New York, U.S.A. p.p. 161-180.
- WATKIN, W. 1965. Principios de genética y mejora de las plantas. Primera edición. Ed. Acriba, Zaragoza, España. p.p. 312-392.
- WILSIE, C.P. 1962. Crop adaptation and distribution. Ed. W.H. FREEMAN and Co. San Francisco and London. p.p. 133-313.