

**EVALUACION DE VARIETADES DE MAIZ (Zea mays L.)
Y DE SUS CRUZAMIENTOS DIALELICOS POSIBLES.**

TESIS

**Presentada al Programa de Estudios para Graduados
Universidad Nacional
Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)**

Por

ANA MELBA RUBIO BARRAGAN
" "
como requisito parcial para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

**Bogotá, Colombia
Febrero, 1970**

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA DE INVESTIGACION

No. 31214 -
Valor $\$ 2.900 =$
Fecha 27-VIII-83
Fec. *afirmativa*
Librería *ICPA* Comp.

TESIS APROBADA POR:

COMITE CONSEJERO

Manuel Torregroza, I.A., Ph.D.

Guillermo Riveros, I.A., Ph.D.

Santiago Fonseca, I.A., Ph.D.

A mis padres y hermanos

iii

3 1 2 1 4 4

AGRADECIMIENTOS

Muy sinceros al Presidente de Tesis, Manuel Torregroza C.
I.A., Ph.D. y al Instituto Colombiano Agropecuario ICA.

TABLA DE CONTENIDO

		Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	REVISION DE LA LITERATURA	3
2.1	Heterosis en Cruzamientos Varietales de Maíz.	3
2.2	Variancias en Cruzamientos Dialélicos.	8
2.3	Correlaciones Lineales Simples.	14
3.	MATERIALES Y METODOS	16
3.1	Material Utilizado.	16
3.1.1	Variedades no mejoradas.	16
3.1.2	Variedades sintéticas .	19
3.2	Aumento del Material.	20
3.3	Procedimientos para la Obtención de los Cruzamientos Varietales.	20
3.4	Diseño Experimental y Tamaño de las Parcelas.	21
3.5	Caracteres Observados.	22
3.6	Análisis Estadístico.	22
3.6.1	Expresión de heterosis.	23
3.6.2	Análisis de variancia y partición no ortogonal de la suma de cuadrados de los tratamientos.	23
3.6.3	Coefficientes de variación (C.V.).	31
3.6.4	Correlaciones lineales simples.	31

	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSION	32
4.1 Heterosis en los Cruzamientos Dialélicos.	32
4.2 Rendimiento de las Doce Variedades de Maíz y sus Cruzamientos Varietales.	35
4.3 Cuadrados Medios, Promedios y Coeficientes de Variación.	38
4.4 Efecto (v_j) de Cada una de las Doce Variedades Parentales.	43
4.4.1 Valores grandes y positivos.	43
4.4.2 Valores pequeños y positivos.	43
4.4.3 Valores negativos.	43
4.5 Parámetros de Heterosis (h_{jj}) de los Cruzamientos Dialélicos.	45
4.6 Heterosis Promedia (\bar{h}).	48
4.7 Heterosis Varietal (h_j).	49
4.7.1 Valores positivos y medianos.	49
4.7.2 Valores positivos y cercanos a cero.	49
4.7.3 Valores negativos y medianos.	49
4.7.4 Valores negativos y grandes.	49
4.8 Heterosis Específica (s_{jj}).	51
4.9 Coeficientes de Correlación.	54
5. CONCLUSIONES	58

	Página
6. RESUMEN	62
7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	65
8. APENDICE	72

INDICE DE ILUSTRACIONES

		Página
TABLA 1.	Forma general de una tabla de cruzamientos dialélicos usada para el análisis, cuando se incluyen las variedades parentales y los respectivos cruzamientos.	24
TABLA 2.	Forma de análisis de variancia que incluye n padres y todos los cruzamientos posibles.	25
TABLA 3.	Forma general de la tabla dialélica de heterosis (h_{jj} 's).	26
TABLA 4.	Valores de heterosis (en por ciento), expresados en tres formas diferentes, del comportamiento de doce variedades de maíz en cruzamientos dialélicos. Datos combinados de cuatro ambientes, obtenidos del rendimiento en kg/parcela de 18,40 m ² , al 15 por ciento de humedad.	33
TABLA 5.	Rendimientos totales, kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruzamientos posibles (no diagonales). Datos combinados de 16 replicaciones (cuatro replicaciones por ambiente).	36
TABLA 6.	Cuadrados medios de los cuatro ensayos de rendimiento en kg/parcela de 18,40 m ² , al 15 por ciento de humedad, de doce variedades y sus cruzamientos posibles.	39
TABLA 7.	Análisis combinado de variancia del rendimiento en grano, expresado en kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad, de doce variedades y sus cruzamientos posibles. Datos de 16 replicaciones (cuatro replicaciones por ambiente).	42

	Página
TABLA 8. Efecto (v_j) de cada una de las variedades estudiadas. Resultados correspondientes al rendimiento en kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad. Datos combinados de cuatro ambientes (cuatro repeticiones por ambiente).	44
TABLA 9. Valores estimados de heterosis ($h_{jj'}$) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica. Datos combinados de cuatro ambientes.	46
TABLA 10. Heterosis varietal (h_j) del rendimiento de las doce variedades parentales y sus respectivos cruzamientos. Datos combinados de cuatro ambientes.	50
TABLA 11. Heterosis específica ($s_{jj'}$) de los 66 cruzamientos varietales resultantes de combinar doce variedades de maíz. Datos combinados de 16 repeticiones. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m ² .	52
TABLA 12. Coeficientes de correlación lineal simple basados en 66 pares de datos parciales y combinados de cuatro ambientes.	55

INDICE ILUSTRACIONES DEL APENDICE

	Página
TABLA 13. Rendimiento, kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruzamientos posibles (no diagonal) en el ambiente I. Datos de cuatro repeticiones.	73
TABLA 14. Rendimiento, kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruzamientos posibles (no diagonal) en el ambiente II. Datos de cuatro repeticiones.	74
TABLA 15. Rendimiento, kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruzamientos posibles (no diagonal) en el ambiente III. Datos de cuatro repeticiones.	75
TABLA 16. Rendimiento, kg/parcela de 18,40 m ² al 15 por ciento de humedad de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruzamientos posibles (no diagonal) en el ambiente IV. Datos de cuatro repeticiones.	76
TABLA 17. Efecto (v_j) de cada variedad estudiada. Datos correspondientes a rendimiento, kg/parcela de 18,40 m ² , al 15 por ciento de humedad de cada uno de los cuatro ambientes.	77
TABLA 18. Valores estimados de heterosis ($h_{jj'}$) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ²) al 15 por ciento de humedad de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica, en el ambiente I.	78

TABLA 19.	Valores estimados de heterosis (h_{jj}') del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ²) al 15 por ciento de humedad de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica, en el ambiente II.	79
TABLA 20.	Valores estimados de heterosis (h_{jj}') del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ²) al 15 por ciento de humedad de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica, en el ambiente III.	80
TABLA 21.	Valores estimados de heterosis (h_{jj}') del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ²) al 15 por ciento de humedad de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica, en el ambiente IV.	81
TABLA 22.	Heterosis varietal (h_j) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m ²) al 15 por ciento de humedad de las doce variedades y sus respectivos cruzamientos. Datos de cada uno de los cuatro ambientes.	82
TABLA 23.	Heterosis específica (s_{jj}') obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialélica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicaciones del ambiente I. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m ² .	83
TABLA 24.	Heterosis específica (s_{jj}') obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialélica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicaciones del ambiente II. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m ² .	84

TABLA 25.	Heterosis específica (s _{jj} ' ¹) obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialélica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicaciones del ambiente III. Valores expresados en kg/ parcela de 18,40 m ² .	85
TABLA 26.	Heterosis específica (s _{jj} ' ¹) obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialélica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicaciones del ambiente IV. Valores expresados en kg/ parcela de 18,40 m ² .	86

1. INTRODUCCION

Como resultado de la gran diversidad genética existente entre las variedades de maíz de la América Latina, la generación F_1 del cruzamiento entre tales materiales, ha mostrado efectos de heterosis en rendimiento en grado variable.

A pesar de la voluminosa información acumulada hasta el presente, se desconoce exactamente el origen genético de la heterosis; sin embargo, se presume que genes con dominancia parcial o completa son mucho más importantes en la expresión de tal fenómeno biológico que aquellos genes que actúan en forma sobredominante. Se ha encontrado también que en ciertos cruzamientos de líneas endocriadas de maíz, los efectos epistáticos han contribuido a la manifestación del vigor híbrido observado en la F_1 de dichas combinaciones.

Debido a la gran importancia de la heterosis en el mejoramiento de las plantas alógamas, se considera de interés en el presente trabajo aplicar un método nuevo para evaluar las variedades parentales y sus cruzamientos y así determinar sistemas de mejoramiento más adecuados a seguir con este material.

En el presente estudio se cruzaron en forma dialélica diez variedades no mejoradas y dos variedades sintéticas de maíz de cli-

ma frío y se evaluaron por su capacidad de rendimiento y la de sus cruzamientos posibles.

Los efectos genéticos de las variedades parentales y los cruzamientos dialélicos se estimaron de acuerdo al método simplificado presentado por Gardner (7), quien propuso fórmulas abreviadas para calcular los parámetros genéticos y las sumas de cuadrados necesarias en el análisis, mediante el uso de una calculadora de escritorio. Además, se determinó el por ciento de heterosis en base al promedio de los padres, al padre más rendidor y al padre constante y las correlaciones lineales simples entre el rendimiento y el por ciento de humedad en la cosecha de las variedades parentales y sus generaciones híbridas.

El material en estudio se sembró en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá", durante dos años; en la Estación Agropecuaria Experimental "Surbatá" y la Estación Agropecuaria Experimental "Obonuco" por un año. Para efectos de este trabajo, los cuatro experimentos se consideraron como representativos de cuatro ambientes al azar.

2. REVISION DE LA LITERATURA

2.1 Heterosis en Cruzamientos Varietales de Maíz.

La primera publicación sobre cruzamientos varietales en maíz se atribuye a Beal (1), quien encontró que al cruzar una variedad blanca dentada con una amarilla de la misma textura, la generación F_1 rindió 53 por ciento más que el promedio de sus progenitores. Como consecuencia de este resultado, se inició una serie de estudios sobre el comportamiento agronómico de híbridos varietales, cuyos datos publicados hasta 1920, resumió Richey (25) así: de un total de 244 estudios revisados, el 82,4 por ciento de los cruzamientos fueron superiores al rendimiento promedio de los padres y el 55,7 por ciento superaron al padre más rendidor. Richey indicó además la necesidad de la diversidad genética entre los progenitores para obtener el máximo de heterosis en cruzamientos varietales.

* Griffee (10) anotó que el mejoramiento de maíz por cruzamientos varietales era un sistema adecuado para incrementar los rendimientos. Un estudio de Hayes y Olson (15) analiza el criterio de la necesidad de la diversidad genética en la textura del endosperma para obtener las mejores respuestas heteróticas. En este caso se utilizó una variedad de tipo dentado, como padre común,

combinada con variedades de diversa textura endospermica, obteniéndose 110,4 por ciento de heterosis en los cruzamientos con las variedades dentadas, 115,7 por ciento con las variedades cristalinas y 132,5 por ciento con las variedades harinosas. //

En algunos trabajos, en los cuales no existía la diversidad genética en el tipo de endosperma de las variedades usadas, se han obtenido respuestas tan grandes o mayores a las obtenidas cuando se hicieron cruzamientos varietales con tipos de endosperma genéticamente diferentes. Paterniani y Lonquist (24) registraron porcentajes altos de heterosis de estudios hechos mediante el cruzamiento con variedades provenientes de doce razas de maíz de México, Brasil y Argentina; los ensayos de rendimiento se realizaron en tres localidades diferentes del Estado de Sao Pablo, Brasil. La respuesta heterótica de los cruzamientos interraciales fué de 133 por ciento relacionada al promedio de los padres y la respuesta relativa al padre más rendidor fué de 114 por ciento, en promedio. Los cruzamientos entre maíces dentados, mostraron el mayor rendimiento al ser comparados con los rendimientos promedios de otros cruzamientos, tales como, dentados por harinosos, harinosos por harinosos y finos por finos; estos últimos alcanzaron los menores rendimientos.

Torregroza y Varela (33) presentaron datos de cruzamientos de doce variedades pertenecientes a tres razas diferentes de Colombia, Ecuador y Perú; los autores encontraron niveles de heterosis comparables a muchos de los obtenidos en cruzamientos entre maíces de diferente textura endospermica.

En un estudio, sobre los rendimientos de seis variedades de maíz de libre polinización del Estado de Carolina del Norte, de adaptación local y posiblemente emparentadas, Robinson et al (27) mostraron valores de heterosis de aproximadamente 120 por ciento relacionados al promedio de los padres y 111,5 por ciento con relación al padre más rendidor. Estos trabajos se realizaron durante dos años en tres localidades y la comparación de los rendimientos se hizo en un diseño de bloques completos al azar con cinco replicaciones.

T. van Shaik et al (34) compararon quince variedades de maíz surafricanos y sus cruzamientos posibles en ensayos repetidos en cinco regiones de Suráfrica. La heterosis del rendimiento de los cruzamientos varietales, como resultado de la comparación de la F_1 con el promedio de los progenitores, varió de 65 a 196 por ciento.

// Al estudiar la heterosis de la F_1 en cruzamientos entre

diez variedades latinoamericanas de maíz de clima frío, Torregroza (32) encontró que las progenies híbridas sobrepasaron en un 117 por ciento el promedio de los padres, mientras que en relación a la variedad más rendidora su valor promedio fué inferior a 100 por ciento. //

En Nebraska, Lonquist y Gardner (19) utilizaron diez variedades de maíz de libre polinización y dos variedades sintéticas, las cuales fueron cruzadas en forma dialélica; ellos encontraron que la generación híbrida F₁ fue superior en 108,5 por ciento al compararla con el promedio de los padres y en 102,8 por ciento relativa al padre más rendidor.

En un estudio de seis variedades de maíz de libre polinización, escogidas de tres regiones geográficas distintas y sus cruzamientos posibles, Moll et al (21) observaron que el promedio de los cruzamientos intervarietales para los materiales de una misma región fue de 104 por ciento, con respecto al promedio de los padres; mientras que los promedios de los cruzamientos de diferentes regiones alcanzaron 124 por ciento para la misma comparación.

Sarria (29) al estudiar 91 cruzamientos provenientes de cruzar dialélicamente catorce variedades de maíz del Caribe, Centro y Sur América, encontró que la heterosis promedia en relación

al promedio de los progenitores fue de 126,6 por ciento y 111,4 por ciento al padre más rendidor; anotó además que la diversidad genética existente entre el grupo de los padres usados era la causa principal de los efectos heteróticos obtenidos.

Hallauer y Eberhart (13) obtuvieron valores de heterosis promedia observada en relación al padre constante, al promedio de sus padres y al padre más rendidor de 112, 111 y 106 por ciento, respectivamente, al estudiar los rendimientos de nueve variedades sintéticas de maíz y sus cruzamientos posibles, en la primera fase de un programa de pruebas, en tres localidades durante dos años. En la segunda fase del mismo programa se tomaron cuatro variedades seleccionadas de las primeras pruebas y cinco no probadas, las cuales se cruzaron en series dialélicas y se evaluaron en tres localidades durante dos años, Hallauer y Sears (14). Los resultados indicaron que el promedio de heterosis para todos los cruzamientos fué de 109,8 por ciento en relación al promedio de los padres y de 104,2 por ciento en relación al padre más rendidor.

En un grupo de diez variedades precoces de textura fina, cruzados en forma dialélica, Forrest y Hallauer (4) al evaluar por rendimiento, observaron un por ciento de heterosis de 143 en relación al padre más rendidor, 172 en relación al promedio de los

padres y 171 por ciento de heterosis promedia varietal (promedio de los padres versus promedio de los cruzamientos). La cantidad de heterosis observada en los cruzamientos les indicó que las variedades utilizadas eran genéticamente diversas.

2.2 Variaciones en Cruzamientos Dialélicos.

Debido a la importancia que representa para los mejoradores la información sobre la naturaleza de la acción génica en las poblaciones y así entender mejor el fenómeno de heterosis y, por consiguiente, tomar decisiones con respecto al método más indicado en mejoramiento de maíz, muchos investigadores han propuesto sistemas que permitan una mejor utilización de la información experimental que se obtiene de las medias observadas en cruzamientos dialélicos. Gardner y Lonquist (9) anotan que aún cuando muchas preguntas permanecen sin contestar, en los últimos años se ha logrado un mayor progreso en la comprensión de la herencia del rendimiento y otras características en el maíz. Los autores hacen énfasis en la necesidad de mejorar las técnicas experimentales aplicadas en genética cuantitativa, a fin de establecer adecuadamente la importancia de los diversos tipos de acción de los genes en la herencia del rendimiento de las variedades de maíz de polinización libre y sus cruzamientos.

El modelo propuesto por Sprague y Tatum (30) y ampliamente utilizado por muchos investigadores, sugiere los términos de habilidad combinatoria general para designar el comportamiento promedio de una línea de maíz en sus combinaciones híbridas y el de la habilidad combinatoria específica para determinar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones especiales son relativamente mejores o peores que lo esperado en términos del comportamiento de las líneas incluidas. A la variancia de la habilidad combinatoria general se le atribuye la parte aditiva y a la de habilidad combinatoria específica la parte genética no aditiva, debida a desviaciones de dominancia, epistasis y de otros tipos de interacciones.

En base al rendimiento de líneas endocriadas de maíz, Rojas y Sprague (28) hicieron estimativos de las variancias de la habilidad combinatoria general, específica y sus interacciones con años y localidades, en experimentos efectuados en varias localidades por un período de tres años. Los mayores valores que obtuvieron fueron para los efectos específicos y para las interacciones de los efectos generales con los años más que con las localidades. El menor nivel de la variancia de la habilidad combinatoria general y de las variancias de sus interacciones con los años y con las localidades probablemente se debieron al hecho de haberse seleccionado previamente las líneas incluidas en los cruzamientos simples.

Matzinger et al (20) evaluaron los cruzamientos dialélicos de diez líneas endocriadas de maíz tomadas al azar y obtenidas de la misma variedad sintética de maíz utilizada por Rojas y Sprague (28). Los experimentos se efectuaron durante tres años en tres localidades, habiéndose determinado la relativa importancia de los efectos generales y específicos y de sus interacciones con años y localidades. Los autores obtuvieron variancias estadísticamente significativas al nivel del uno por ciento de probabilidad para la interacción de la habilidad combinatoria general por años y la de la habilidad combinatoria general por años por localidades; y al nivel del cinco por ciento de probabilidad para la interacción de la habilidad combinatoria específica por localidades.

Jinks (17) agrupó y analizó datos en cruzamientos dialélicos de diferentes especies, entre ellas maíz, publicados por otros investigadores. Con el método utilizado pudo discriminar entre la heterosis que ocurre de la interacción entre alelos en un locus y la que ocurre entre genes no alélicos. Sus conclusiones se pueden resumir así: donde quiera que haya sobredominancia se espera interacción no alélica y la habilidad combinatoria específica está asociada a la presencia de la interacción no alélica; mientras que la habilidad combinatoria general es el resultado de un tipo de dominancia relativamente simple.

Griffing (12) consideró los cruzamientos dialélicos de líneas homocigotas, obtenidas de una población apareada al azar y presentó los parámetros genéticos en términos de efectos de aditividad, dominancia y epistasis para un número arbitrario de loci con alelos arbitrarios. Sugirió el término de dialélico modificado para designar la tabla de cruzamientos posibles cuando no se incluyen los progenitores. Las variancias de la habilidad combinatoria general y específica se dieron en términos de las variancias de tipo aditivo, la primera y de dominancia y epistasis, la segunda.

En un examen detallado sobre el concepto de la habilidad combinatoria en relación con los sistemas de cruzamientos dialélicos, Griffing (11) presentó ocho fórmulas diferentes de análisis de acuerdo al material que se compara, ya sean sólo las F_1 , o que se incluyan los padres o los recíprocos o ambos y según el tipo de muestreo, fijo o al azar.

Las referencias anteriores sobre modelos estadísticos fueron aplicados en líneas endocriadas (28,30) o líneas S_1 (20). Posteriormente se aplicaron los mismos principios matemáticos para evaluar variedades y no líneas y sus respectivos cruzamientos dialélicos.

Lonnquist y Gardner (19) al estudiar doce variedades de

maíz y sus 66 cruzamientos posibles, encontraron que los efectos genéticos del tipo aditivo fueron más importantes que los no aditivos. Por su parte, Torregroza y Varela (33) evaluaron las variancias debidas a cruzamientos dialélicos de diez y doce variedades de maíz de Sudamérica, deduciendo que los efectos aditivos fueron también los más importantes y que las colecciones Ecuador 410, Ecuador 466, Harinoso Mosquera y Cundinamarca 365 representaban excelentes fuentes de germoplasma para programas de selecciones recurrentes, principalmente por habilidad combinatoria general y recurrente recíproca. En el estudio llevado a cabo por Sarria (29), en catorce variedades de maíz y sus cruzamientos se observó que los posibles valores de la habilidad combinatoria específica fueron superiores a los de la habilidad combinatoria general.

En los últimos años, los investigadores dedicados al estudio de la genética cuantitativa en poblaciones heterocigóticas y heterogéneas de maíz han ideado un modelo estadístico, el cual trata de explicar en términos de la acción de los genes, la heterosis resultante de cruzar variedades de maíz de polinización libre. Gardner (6) propuso una serie de ecuaciones matemáticas simplificadas, las cuales expresan los parámetros de mayor importancia que resultan del análisis estadístico de las medias de las poblaciones en estudio; así como también sugirió el modelo estadístico más adecua-

do que explica, en función de la acción de los genes, la heterosis resultante del cruzamiento dialélico de variedades de maíz. Posteriormente, Gardner y Eberhart (8) ampliaron las bases teóricas de dicho modelo estadístico, al considerar que las poblaciones estudiadas tenían frecuencias genéticas arbitrarias en todos los loci y asumir herencia de tipo diploide, con dos alelos por locus y carencia de acción interalélica entre genes. Cuando en el diseño experimental correspondiente, se incluyen las variedades parentales y sus combinaciones posibles, el análisis de la variancia es muy similar al Método 2, Modelo 1 de Griffing (11), con excepción que en este último caso no se subdividen estadísticamente los efectos debidos a la heterosis.

Recientemente Gardner (7) registró algunas fórmulas abreviadas, las cuales pueden utilizarse para calcular valores estimados de parámetros genéticos y obtener las sumas de cuadrados necesarias en el análisis, mediante el uso de una calculadora de escritorio.

Hallauer y Eberhart (13) al hacer aplicación del modelo presentado por Gardner y Eberhart (8) encontraron que en la partición no ortogonal de la suma de cuadrados de la heterosis, el 73 por ciento se atribuyó a la heterosis promedia y el 11 por ciento

a la heterosis varietal.

2.3 Correlaciones Lineales Simples.

Del estudio de correlaciones de algunos caracteres agronómicos de la generación F_1 y sus progenitores, se han publicado resultados que muestran el grado de tal asociación.

Nilsson-Leissner (22) observó correlaciones positivas entre el rendimiento en líneas autofecundadas de maíz y el rendimiento de su descendencia por cruzamientos simples.

Jenkins (16) encontró correlaciones positivas y significativas estadísticamente entre el rendimiento de los cruzamientos simples con el rendimiento de los progenitores.

O'Kelly y Hull (23) registraron 15 coeficientes de correlaciones positivas y cuatro negativos entre el rendimiento de los padres y sus progenies.

Paterniani y Lonquist (24) observaron que los rendimientos de la F_1 de cruzamientos varietales estaban estrechamente asociados a los rendimientos de las variedades parentales. El valor absoluto de la correlación entre el rendimiento promedio de la F_1 versus el de los padres fué de + 0,677; valor significativo al nivel del uno por ciento de probabilidad, desde el punto de vista estadís-

tico.

Los coeficientes de correlación registrados por Hallauer y Eberhart (13) indicaron que entre la predicción y el rendimiento observado de nueve variedades sintéticas el valor fue positivo y estadísticamente significativo al nivel del uno por ciento de probabilidad ($r = + 0,92$); así como lo fue también la correlación entre los rendimientos observados y los esperados ($r = + 0,74$) de los cruzamientos resultantes de cruzar en forma dialéctica tales variedades.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Material Utilizado.

En 1960 se seleccionaron doce variedades de libre polinización pertenecientes a la colección de maíz del Programa Nacional de Maíz y Sorgo del Instituto Colombiano Agropecuario ICA y mantenida en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Tibaitatá". Las variedades han formado parte de los estudios previos que sobre cruzamientos varietales inició el Programa desde 1955. Las variedades seleccionadas se pueden dividir en dos grandes grupos: 3.1.1. Variedades no mejoradas y 3.1.2. Variedades sintéticas.

3.1.1 Variedades no mejoradas.

De las diez variedades no mejoradas utilizadas en el presente estudio, cinco pertenecen a la raza Sabanero: Antioquia 333a, Boyacá 371, Boyacá 423, Cundinamarca 365 (26) y Harinoso Mosquera (33). La raza Sabanero ha sido reconocida como la más ampliamente cultivada en las tierras altas de Colombia (33). De acuerdo a la descripción de Roberts et al (26) las plantas son de altura corta a mediana, período vegetativo muy variable, aún dentro de una sola colección; no presenta macollas; bajo número de hojas, las cuales son anchas, cortas y con índice de venación bajo; la coloración de las hojas es muy fuerte; las vainas son pubescentes; muy resistentes a la razas de Royas del maíz, algo resistentes a

las razas de *Helminthosporium* de la Sabana de Bogotá; número de nudos cromosómicos muy bajo, 1,5 en promedio. Las mazorcas son de longitud mediana, gruesas y de forma cónica; las hileras son irregulares, en promedio 12. Los granos son anchos y gruesos, de longitud media, bien redondeados y sin depresión. El endosperma es harinoso o duro, blanco o amarillo, con aleurona y pericarpio coloreados. Esta raza se adapta a grandes elevaciones, 2.000 a 2.800 metros de altitud.

La variedad Ecuador 466 pertenece al complejo racial Mishca-Chillo, descrita por Timothy et al (31) así: las plantas son bajas, de color rojizo y moderadamente pilosas; las mazorcas son cónicas con 8 a 12 hileras de granos amarillos; las hileras son irregulares en la base de casi todas las mazorcas con alguna tendencia a las hileras en espiral y las bases son grandes. Los granos son grandes, usualmente puntudos y semipuntudos. Especímenes de esta raza se han encontrado entre 2.100 a 2.800 metros de altitud.

La variedad Ecuador 410 correspondiente a la raza Chillo, también descrita por Timothy et al (31) posee hojas anchas y cortas, en relación con su anchura; las vainas de las hojas tienen intenso color rojizo y con pubescencia escasa y blanca. Los tallos son gruesos y con dos mazorcas pesadas, la superior encima del

punto medio del tallo y, en general, la planta presenta apariencia de gran vigor. Las espigas centrales largas y abiertas, con ramificaciones desde horizontales a ligeramente arqueadas. Las mazorcas, por lo general, son cónicas, tienen entre 10 a 16 hileras de granos bastante rectas; los granos son muy grandes, puntudos, de endosperma amarillo y harinoso; la zona de adaptación de los especímenes típicos corresponde en la mayoría de los casos a los 2.500 metros de altitud.

Las variedades Ecuador 559 y Ecuador 609, con introgressión de Cuzco, pertenecen a la raza Morochón (31), cuyas características más sobresalientes pueden resumirse así: hay fuerte afinidad con la raza Sabanero Ecuatoriano por caracteres de planta y mazorca, pero es más grande en ambos aspectos; las plantas son vigorosas de mediana altura; aproximadamente un 15 por ciento de las plantas tienen macollas; la coloración de las plantas es fuerte y poseen algo de pubescencia suave. Las espigas son bien exsertas con muchas ramificaciones y entre ellas varias secundarias y terciarias. Las mazorcas son de tamaño mediano y cilíndricas, comúnmente con puntas desprovistas de semillas; poseen entre 8 a 12 hileras de granos bien definidos en la base y las hileras son más o menos rectas. Los granos son blancos de tipo duro, bastante anchos y largos. La altitud media de los especímenes típicos es de

2.800 metros.

De acuerdo a la descripción que hacen Welhausen y Roberts (35), Rocamex V-7 es una variedad que se originó de un cruzamiento natural entre los Cilíndricos Dentados de los trópicos y los Cónicos de tierra fría de la Mesa Central de México. Las características de Rocamex V-7, en adición a un alto rendimiento, son las siguientes: las plantas son altas y el crecimiento es muy vigoroso; es intermedia en su hábito de macollamiento; las mazorcas están colocadas generalmente en la parte alta de las cañas. Las variedades nativas con dos mazorcas o más, comúnmente rinden más que las que poseen una sola; tiene una alta proporción de plantas con dos mazorcas. Aunque las mazorcas son variables en tamaño, en promedio son grandes y pesadas; el número de hileras es variable, pero la mayoría de ellas poseen de 16 a 18; son de forma cónica, en general. En muchas mazorcas las hileras son rectas y en otras tienden a torcerse hacia la punta. Los granos son largos y angostos; la coloración es blanca con una ligera intensidad de amarillo algunas veces. En México se adapta a la Mesa Central cuya elevación varía de 2.000 a 2.400 metros; en Colombia se comporta bien en la Sabana de Bogotá y las zonas altas de Boyacá y Nariño.

3.1.2 Variedades sintéticas.

Las variedades sintéticas, Harinoso Mosquera I Sin₁ y Ro-

camex V-7 I Sin₁, se obtuvieron del primer ciclo de selección recurrente recíproca, al mezclar las mejores líneas, 18 para la primera y 10 para la segunda, de las variedades no mejoradas Harinoso Mosquera y Rocamex V-7. De acuerdo al sistema propuesto por Comstock et al (3) las selecciones se hicieron en base a los resultados de los ensayos comparativos de rendimiento, en donde se probaron los cruzamientos línea x variedad de tales variedades.

3.2 Aumento del Material.

La semilla de las variedades incluídas en el estudio se aumentó artificialmente por medio de cruzamientos fraternos controlados. A fin de mantener el material con su mismo fenotipo, ni en las polinizaciones ni en la cosecha se practicó selección artificial alguna. Cada parcela experimental consistía de 4 surcos de 10 metros de largo, con una población aproximada de 100 plantas. Las polinizaciones se efectuaron de planta a planta en la mayoría de ellas. En la cosecha, alrededor de 50 mazorcas de cada parcela se desgranaron en común y las semillas así originadas se utilizaron para sacar las muestras de la siguiente siembra.

3.3 Procedimientos para la Obtención de los Cruzamientos Varietales.

Los 66 cruzamientos dialélicos se obtuvieron al hacer las

combinaciones entre las doce variedades escogidas por su comportamiento agronómico. Para cada cruzamiento se disponía aproximadamente de 100 plantas, de las cuales alrededor del 50 por ciento se utilizó en las polinizaciones efectuadas de planta a planta entre dos variedades parentales. En la cosecha se cogieron conjuntamente todas las mazorcas de un cruzamiento determinado y su recíproco, pues se asumió que no existía efecto materno alguno en las combinaciones varietales efectuadas. En general, de cada cruzamiento se cosecharon 50 mazorcas, cuya semilla se utilizó en los ensayos de rendimiento analizados en este estudio.

3.4 Diseño Experimental y Tamaño de las Parcelas.

Las generaciones F_1 de los cruzamientos y las doce variedades parentales se sembraron en un diseño de bloques completos al azar de 78 tratamientos, con cuatro replicaciones.

En este estudio, se entiende por ambiente la localización general de un experimento durante un período de tiempo determinado. En base a este concepto, los cuatro ensayos de rendimiento se establecieron en los siguientes ambientes diferentes: ambiente I, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, en 1961; ambiente II, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, en 1962; ambiente III, Estación Agropecuaria Experimen-

tal Surbatá, 1961 y ambiente IV, Estación Agropecuaria Experimental Obonuco, en 1961 a 1962.

Cada parcela la constituían dos surcos de 10 metros de longitud y 0,92 metros entre surcos (parcelas de 18,40 metros cuadrados de área) con 20 sitios por parcela. En cada sitio se sembraron cinco semillas y en el raleo sólo se dejaron tres plantas por sitio. El entresaque se hizo cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 60 centímetros.

3.5 Caracteres Observados.

Para encontrar el porcentaje de humedad de los granos en el momento de la cosecha, de cada parcela se tomaron al azar 12 mazorcas y de cada una se desgranaron dos hileras. De la muestra obtenida se pesaron 100 gramos, los que sirvieron para obtener el porcentaje de humedad en un aparato Steinlite, modelo G.

El rendimiento se basó en el peso, en kilogramos por parcela, de todas las mazorcas cosechadas en cada parcela. El peso fue corregido para las plantas perdidas y se ajustó al 15 por ciento de humedad en el grano.

3.6 Análisis Estadístico.

Con el objeto de sistematizar la manipulación de los datos

observados y obtener la mejor interpretación posible de los resultados se siguieron modelos matemáticos, así:

3.6.1 La heterosis se ha expresado como una relación en por ciento entre el rendimiento de la generación F_1 y el promedio de sus progenitores o el del padre más rendidor o el de una de las variedades utilizadas, como padre constante.

3.6.2 Análisis de variancia y partición no ortogonal de la suma de cuadrados de los tratamientos.

Para estimar los efectos genéticos de los cruzamientos dialélicos posibles de las doce variedades parentales, se utilizó el modelo propuesto por Gardner y Eberhart (8). El modelo se basa en la teoría genética estadística aplicable a los cruzamientos varietales, presentado por Gardner (6), quien propuso fórmulas abreviadas que pueden usarse para estimar los parámetros genéticos y obtener las sumas de cuadrados necesarias en el análisis, mediante el uso de una calculadora de escritorio (7).

El procedimiento indicado para el análisis del rendimiento en grano se basó en el modelo que se ilustra a continuación en forma de tablas, numeradas como Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

De acuerdo al modelo estadístico, el rendimiento promedio

TABLA 1. Forma general de una tabla de cruzamientos dialélicos usada para el análisis, cuando se incluyen las variedades parentales y los respectivos cruzamientos.

Padres (j)	1	2	...	j'	...	n	Total híbrida	Total híbrido	Promedio híbrido
							Y_j	Y_h	\bar{Y}_h
1	Y_{11}	Y_{12}	...	$Y_{1j'}$	...	Y_{1n}	Y_1	$Y_1 - Y_{11}$	\bar{Y}_1
2	Y_{21}^*	Y_{22}	...	$Y_{2j'}$	...	Y_{2n}	Y_2	$Y_2 - Y_{22}$	\bar{Y}_2
.	.								
.	.								
.	.								
j	Y_{j1}	Y_{j2}	...	$Y_{jj'}$	...	Y_{jn}	Y_j	$Y_j - Y_{jj}$	\bar{Y}_j
.	.								
.	.								
.	.								
n	Y_{n1}	Y_{n2}	...	$Y_{nj'}$	...	Y_{nn}	Y_n	$Y_n - Y_{nn}$	\bar{Y}_n

* $Y_{21} = Y_{12}$, etc.

TABLA 2. Forma de análisis de variancia que incluyen padres y todos los cruzamientos posibles.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios
Poblaciones	$\sum n(n+1)/2 - 1$	S_t	M_t
Variedades (v_j)	$n - 1$	S_v	M_v
Heterosis (h_{jj})	$n(n-1)/2$	S_h	M_h
Heterosis promedia (\bar{h})	1	$S_{\bar{h}}$	$M_{\bar{h}}$
Heterosis varietal (h_j)	$n - 1$	S_{vh}	M_{vh}
Heterosis específica (s_{jj})	$n(n-3)/2$	S_s	M_s

TABLA 3. Forma general de la tabla dialélica de valores de heterosis (h_{jj} , s).

Padres (j)	1	2	...	j'	...	n	Total hileras h_j .
1	-	h_{12}	...	$h_{1j'}$	...	h_{1n}	h_1 .
2	h_{21}^*	-	...	$h_{2j'}$	...	h_{2n}	h_2 .
.
.
.
j	h_{j1}	h_{j2}	...	$h_{jj'}$	...	h_{jn}	h_j .
.
.
.
n	h_{n1}	h_{n2}	...	$h_{nj'}$	...	-	h_n

* $h_{21} = h_{12}$

de cualquier población parental o híbrida se puede simbolizar por la fórmula:

$$Y_{jj'} = u_v + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + \theta h_{jj'}$$

Donde:

u_v es el promedio de las variedades parentales,
 v_j es el efecto varietal de la variedad j y
 $h_{jj'}$ es el efecto de la heterosis, cuando la variedad j se cruza con la variedad j' . Esto ocurre sólo en cruzamientos.

El efecto de heterosis se puede dividir además como sigue:

$$h_{jj'} = \bar{h} + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Donde:

\bar{h} es la heterosis promedia,
 h_j es la heterosis varietal a la que contribuye la variedad j .
 $s_{jj'}$ es la heterosis específica, debida a cruzamientos de las variedades j y j' .

Cuando $j = j'$, corresponde a un padre y $\theta = 0$. Cuando $j \neq j'$, indica un cruzamiento y $\theta = 1$. Con n padres, es necesario estimar el promedio varietal (u_v), los efectos varietales (v_j 's) y

los $n(n-1)/2$ efectos de heterosis ($h_{jj'}$ s); separar los efectos de heterosis varietal (h_j 's) y los $n(n-1)/2$ efectos de heterosis específica ($s_{jj'}$ s).

Los padres y los cruzamientos se arreglan en una tabla dialéctica en la cual se establece $Y_{j'j} = Y_{jj'}$, como se indica en la Tabla 1.

$Y_{jj'} =$ promedio de un padre cuando $j = j'$ y de un cruzamiento cuando $j \neq j'$.

$Y_v = \sum_{j=1}^n Y_{jj} =$ total de todas las variedades parentales (término de la diagonal).

$Y_H = \sum_{j < j'} Y_{jj'} =$ total de todos los cruzamientos o híbridos (valores por encima de la diagonal).

$Y_{..} = \sum_{j \leq j'} Y_{jj'} = Y_v + Y_H =$ total de todas las poblaciones.

$Y_{j.} = \sum_{j=1}^n Y_{jj'} =$ total de una hilera para una variedad (una variedad + sus cruzamientos).

$Y_{h.} = \sum_{j \neq j'} Y_{jj'} = Y_{j.} - Y_{jj} =$ total de todos los cruzamientos por variedad h.

$\bar{Y}_h.$ = $Y_h. / (n-1)$ = promedio de todos los cruzamientos por variedad h.

Fórmulas para estimar las constantes:

$$\begin{aligned} \hat{u}_v &= \text{promedio de todos los padres} = Y_v/n = \bar{Y}_v \\ \hat{v}_j &= \text{efecto de la variedad } j = Y_{jj} - \bar{Y}_v \\ \hat{h}_{jj'} &= \text{efecto de heterosis} = Y_{jj'} - \frac{1}{2} (Y_{jj} - Y_{j'j'}) \\ &= \bar{h} + h_j + h_{j'} + s_{jj'} \end{aligned}$$

$h_{jj'}$ se puede subdividir en:

$$\begin{aligned} \bar{h} &= \text{heterosis promedia} = \text{promedio de todos los híbridos} - \text{promedio de todos los padres.} \\ &= \frac{2}{n(n-1)} \sum_{j < j'} Y_{jj'} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{jj} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_v \\ h_j &= \text{heterosis varietal} = \frac{(n-1)}{(n-2)} (\bar{Y}_h. - \bar{Y}_H) - \frac{1}{2} (Y_{jj} - \bar{Y}_v) \\ s_{jj'} &= \text{heterosis específica} = Y_{jj'} + \frac{n}{n-2} \bar{Y}_H - \frac{(n-1)}{(n-2)} (\bar{Y}_h. + Y_{h'.}) \end{aligned}$$

Las sumas de cuadrados apropiadas se obtienen como sigue:

Factor de corrección:

$$C = \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{j \leq j'} Y_{jj'} \right)^2$$

Suma de cuadrados total corregida por el promedio.

$$S_t = \sum_{j \leq j'} Y_{jj'}^2 - C$$

Suma de cuadrados de variedades (v_j) ajustada por u .

$$S_v = \frac{1}{n+2} \left[\sum_{j=1}^n (Y_j + Y_{jj})^2 - \frac{4}{n} Y^2 \right]$$

Suma de cuadrados de heterosis ($h_{jj'}$) ajustada por u y las v_j 's.

$$S_h = \sum_{j \leq j'} Y_{jj'}^2 - \frac{1}{n+2} \sum_{j=1}^n (Y_j + Y_{jj})^2 + \frac{2}{(n+1)(n+2)} \left(\sum_{j \leq j'} Y_{jj'} \right)^2$$

La suma de cuadrados de heterosis ($h_{jj'}$) se puede subdividir:

$$S_h = S_h^- + S_{vh} + S_s$$

Suma de cuadrados de heterosis promedio (\bar{h}) ajustada por u y las v_j 's.

$$\begin{aligned} S_h^- &= \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n Y_{jj} \right)^2 + \frac{2}{n(n-1)} \left(\sum_{j < j'} Y_{jj'} \right)^2 - \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{j \leq j'} Y_{jj'} \right)^2 \\ &= \frac{Y_v^2}{n} + \frac{2Y_H^2}{n(n-1)} + \frac{2Y_{..}^2}{n(n+1)} \end{aligned}$$

Suma de cuadrados de heterosis varietal (h_j) ajustada por u , v_j 's y \bar{h} .

$$S_{vh} = \frac{1}{n-2} \sum_{h=1}^n Y_h^2 - \frac{4}{n(n-2)} Y_H^2 + \sum_{j=1}^n Y_{jj}^2 - \frac{1}{n}$$

$$\sum_{j=1}^n (Y_{jj})^2 - S_v$$

Suma de cuadrados de la heterosis específica (s_{jj}) ajustada por u , v_j 's, \bar{h} y h_j 's.

$$S_s = S_h - S_{\bar{h}} - S_{vh}$$

3.6.3 Coeficientes de variación (C.V.).

Se calcularon los coeficientes de variación para todos los análisis de los ambientes y de los datos combinados, de acuerdo a la fórmula:

$$C.V. = \frac{s}{u} 100$$

s = desviación estándar

u = promedio de la población

3.6.4 Correlaciones lineales simples.

Se efectuaron correlaciones lineales simples para averiguar el grado de asociación entre:

rendimiento de las variedades parentales y el rendimiento de la F_1 ; por ciento de humedad de los padres y por ciento de humedad de la F_1 ; rendimiento de los padres y por ciento de humedad de los padres y rendimiento de la F_1 y por ciento de humedad de la F_1 .

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Heterosis en los Cruzamientos Dialélicos.

La Tabla 4 contiene los valores estimados de heterosis expresados como la relación en por ciento entre los rendimientos de la generación F_1 con el padre más rendidor, con el promedio de los padres y con una de las variedades, usada como padre constante. Los valores de dicha generación corresponden al promedio del cruzamiento de una variedad, usada como padre constante, con las once restantes. Tanto los datos de las combinaciones varietales como de las variedades parentales provienen de los resultados combinados de los cuatro ambientes, en donde se realizó este estudio.

La heterosis promedia con relación al padre más rendidor fué de 117,84 por ciento, habiendo estos valores fluctuado entre 103,43 y 130,16 por ciento. Relativo al promedio de los padres, la heterosis varió entre 115,69 y 138,42, con un promedio de 126,81 por ciento. Respecto al padre constante, el valor de heterosis promedio observada fué de 128,10 por ciento, con una variación entre 103,43 y 145,26 por ciento.

Estos datos sobre heterosis son comparables a los obtenidos por Torregroza y Varela (33) en variedades suramericanas de maíz de clima frío, así como también a los publicados por Robinson et al (27) en Carolina del Norte, resultante del cruzamiento dialélico de

TABLA 4. Valores de heterosis (en por ciento), expresados en tres formas diferentes, del comportamiento de doce variedades de maíz en cruzamientos dialélicos. Datos combinados de cuatro ambientes, obtenidos del rendimiento en kg/parcela de 18,40 m², al 15 por ciento de humedad.

No. Genealogía	Promedio F ₁ , expresado en por ciento, en función de:		
	Padre más rendidor	Promedio padres	Padre constante
1. Rocamex V-7	122,38	129,57	124,65
2. Rocamex V-7 I Sin ₁	130,16	138,42	131,87
3. Harinoso Mosquera	113,31	120,96	114,56
4. Harinoso Mosquera I Sin ₁	103,43	115,69	103,43
5. Boyacá 371	114,53	121,03	119,89
6. Boyacá 423	117,82	129,49	143,53
7. Ecuador 466	117,02	123,84	119,34
8. Ecuador 410	128,47	137,89	145,26
9. Cundinamarca 365	116,60	124,17	127,84
10. Antioquia 333a	115,96	127,23	140,61
11. Ecuador 559	117,41	124,05	121,48
12. Ecuador 609	116,99	129,38	144,71
PROMEDIO	117,84	126,81	128,10

seis variedades de maíz y superiores a los obtenidos con variedades de Nebraska, representativas de la zona central de la faja maicera (19) y a los publicados por Hallauer y Eberhart (13), quienes usaron variedades sintéticas de maíz en Iowa. Sin embargo, al comparar tales resultados con los obtenidos por Paterniani y Lonquist (24) del estudio de doce razas de maíz de Latinoamérica, se observa que son semejantes en relación al promedio de los padres, pero mayores con relación al padre más rendidor. Igualmente, se puede hacer la misma observación al hacer la comparación con los resultados obtenidos por Sarria (29), quien utilizó catorce variedades de maíz procedentes del Caribe, Centro y Sur América y obtuvo respuesta heterótica de 126,6 por ciento en relación al promedio de los padres y de 111,4 por ciento comparado con el padre de mayor rendimiento.

Los resultados de heterosis obtenidos en este estudio, confirman la gran variabilidad genética existente en las poblaciones americanas de maíz (18). Los cruzamientos con la variedad sintética Harinoso Mosquera I Sin₁ produjeron el menor porcentaje de heterosis; en cambio los provenientes de la combinación con la variedad mejorada Rocamex V-7 I Sin₁ y la no mejorada Ecuador 410 dieron los mayores porcentajes de heterosis.

4.2 Rendimiento de las Doce Variedades de Maíz y sus Cruzamientos Varietales.

Los rendimientos totales, expresados en kilogramos por parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad, de los datos combinados de 16 replicaciones (cuatro replicaciones por ambiente), se presentan en la Tabla 5. En dicha Tabla, los datos subrayados y colocados en posición diagonal corresponden a los rendimientos de las variedades parentales; mientras en las líneas horizontales aparecen los rendimientos de sus cruzamientos posibles. En la Tabla se incluyen además los valores Y_j que representan el total de las hileras, Y_h el total híbrido y \bar{Y}_h el promedio híbrido.

Los datos parciales para cada uno de los ambientes se presentan en el apéndice, en tablas semejantes a la Tabla 5. Al observar los datos promedios de las variedades parentales se encuentra el menor rendimiento para Ecuador 410 en el ambiente IV con un valor de 4,20 kg/parcela (2.283 kg/ha.) y el mayor de 11,25 kg/parcela (6.114 kg/ha.) para la variedad sintética Harinoso Mosquera I Sin₁ en el ambiente III. En relación a los rendimientos promedios de los cruzamientos, se obtuvo una variación de 6,12 kg/parcela (3.326 kg/ha.) para Harinoso Mosquera x Harinoso Mosquera I Sin₁ y Ecuador 410 x Ecuador 609 en el ambiente IV a 15,60 kg/parcela (8.478 kg/ha.) para Rocamex V-7 I Sin₁ x Harinoso Mosquera-

TABLA 5. Rendimientos totales, kg/parcela de 18, 40 m² al 15 por ciento de humedad, de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruza-
mientos posibles (no diagonales). Datos combinados de 16 replicaciones (cuatro replicaciones por ambiente).

Padres (j)	j'												Total Híbrido	Promedio Híbrido	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Y _j	Y _h	Y _h
1. Roc. V-7	<u>127,8</u>	148,4	173,1	169,9	144,4	150,5	166,4	167,6	155,5	149,8	166,3	160,5	1.880,2	1.752,4	159,309090
2. Roc. V-7 I Sin ₁		<u>130,2</u>	185,8	180,7	170,3	173,8	174,2	171,4	176,7	162,2	182,2	163,0	2.018,9	1.888,7	171,000000
3. Har. Mosq.			<u>131,7</u>	140,2	140,6	137,6	150,4	167,3	129,4	127,2	161,7	146,3	1.791,3	1.659,6	150,872727
4. Har. Mosq. I Sin ₁				<u>147,6</u>	138,6	141,4	172,5	159,3	141,5	139,2	149,7	146,3	1.826,9	1.679,3	152,663636
5. Boy. 371					<u>121,0</u>	139,2	146,6	170,6	128,5	129,1	143,5	144,4	1.716,8	1.595,8	145,072727
6. Boy. 423						<u>99,2</u>	143,6	148,8	131,4	119,2	155,8	124,9	1.665,4	1.566,2	142,381818
7. Ecu. 466							<u>127,4</u>	143,7	159,0	139,7	142,8	133,5	1.799,8	1.672,4	152,036363
8. Ecu. 410								<u>108,3</u>	166,7	164,9	140,1	130,1	1.838,8	1.730,5	157,318181
9. Cum. 365									<u>112,8</u>	131,3	131,0	135,3	1.699,1	1.586,3	144,209090
10. Ant. 333a										<u>99,7</u>	143,6	135,9	1.641,8	1.542,1	140,190909
11. Ecu. 559											<u>123,6</u>	135,0	1.775,3	1.651,7	150,154545
12. Ecu. 609												<u>97,7</u>	1.652,9	1.555,2	141,381818
T O T A L															21.307,2

ra y Rocamex V-7 I Sin₁ x Ecuador 410, en el ambiente III.

Al combinar los datos (Tabla 5), el rendimiento promedio más bajo correspondió a Ecuador 609 con 6,11 kg/parcela (3.320 kg/ha.) y el más alto a la variedad sintética Harinoso Mosquera I Sin₁ con 9,22 kg/parcela (5.011 kg/ha.). Al observar los rendimientos de los híbridos varietales, el mayor promedio fué de 11,61 kg/parcela (6.310 kg/ha) y correspondiente al cruzamiento entre Rocamex V-7 I Sin₁ y Harinoso Mosquera y el más bajo de 7,45 kg/parcela (4.049 kg/ha) a Boyacá 423 x Antioquia 333a. Los promedios híbridos calculados en base a una variedad parental constante (\bar{Y}_h) fluctuaron entre 140,19 y 171,70 para los cruzamientos en donde intervinieron Antioquia 333a y Rocamex V-7, respectivamente.

La gran variación en los rendimientos promedios de los cruzamientos (\bar{Y}_h) con respecto a la variedad utilizada como padre constante, están de acuerdo con la genealogía del material. En los rendimientos de las variedades parentales se observa considerable variación y en ellos cabe destacar la ventaja que muestran las dos variedades sintéticas utilizadas en este estudio, en comparación con las variedades que les dieron origen como con las otras utilizadas en los cruzamientos.

En general, al comparar los rendimientos de cada variedad,

usada como padre constante, con la capacidad de rendimiento promedio de sus once híbridos varietales (\bar{Y}_h), se observa que la mayor producción de los cruzamientos se obtuvo al cruzar dos variedades altamente rendidoras. Sin embargo, el rendimiento de los cruzamientos que incluyen la variedad más rendidora, Harinoso Mosquera I Sin₁, como uno de los progenitores, exhibió la menor capacidad de rendimiento en sus cruzamientos al registrar solamente una diferencia promedia de 0,32 kg/parcela, valor obtenido al comparar el rendimiento de su promedio híbrido (152,7) con el varietal (147,6). Las tres variedades menos rendidoras (Antioquia 333a, Boyacá 423 y Ecuador 609), produjeron cruzamientos cuyos rendimientos, en promedio, fueron superiores en 40 por ciento a tales variedades. Aparentemente, de las variedades incluídas en este estudio, éstas son las que contienen más endocría. Lonquist y Gardner (19) consideran que un alto grado de endocría en los progenitores, conduce a aumentos en los efectos heteróticos que se producen en el cruzamiento de variedades y Torregroza y Varela (33) analizan factores externos e internos que pueden favorecer la endocría en los maíces de clima frío.

4.3

Cuadrados Medios, Promedios y Coeficientes de Variación.

La Tabla 6 contiene los cuadrados medios del análisis de va-

TABLA 6. Cuadros medios de los cuatro ensayos de rendimiento en kg/parcela de 18,40 m², al 15 por ciento de humedad, de doce variedades y sus cruzamientos posibles.

Fuente de variación	Grados de libertad			
	I	II	III	IV
Replicaciones	3	2,126 *	2,941	5,730 **
Tratamientos	77	7,591 **	13,199 **	5,432 **
Variedades (vj)	11	13,744 **	43,104 **	10,743 **
Heterosis (h _{ij} '')	66	5,249 **	6,566 **	8,215 **
Heterosis promedio (\bar{h})	1	139,977 **	198,818 **	204,233 **
Heterosis varietal (h _j)	11	1,791	5,253 **	7,603 **
Heterosis específica (s _{jj} '')	54	3,459 **	3,273 **	4,710 **
Error	231	1,684	0,791	1,710
Promedio kg/parcela		8,867	8,780	11,327
Coefficiente de variación (%)		14,63	10,12	11,55
				12,21

* Nivel de significación al 5%

** Nivel de significación al 1%

riancia del rendimiento en kg/parcela al 15 por ciento de humedad de los datos parciales de las doce variedades parentales y sus 66 cruzamientos posibles, en cada uno de los ambientes estudiados. El análisis indicó diferencias estadísticas al nivel del uno por ciento de probabilidad para tratamientos (M_t), variedades (M_v), heterosis (M_h), heterosis promedia ($M_{\bar{h}}$), heterosis específica (M_s) y heterosis varietal (M_{vh}), con excepción para esta última en el ambiente I, en donde las diferencias no alcanzaron nivel de significancia alguno y aparentemente no existe una explicación satisfactoria para ello. Los rendimientos promedios de los experimentos para todos los tratamientos en los cuatro ambientes variaron de 7,46 kg/parcela (4.054 kg/ha) a 11,33 kg/parcela (6.156 kg/ha).

La prueba de Bartlett para homogeneidad de variancias indicó que los errores no fueron homogéneos para los cuatro ambientes; sin embargo, las conclusiones de este estudio se presentan en base a los datos combinados.

Para evaluar la variación relativa del rendimiento en los cuatro ambientes, se calcularon los coeficientes de variación cuya fluctuación fue de 10,12 por ciento para el ambiente II a 14,63 por ciento para el ambiente I.

En el análisis combinado de variancia de los cuatro ambientes

presentado en la Tabla 7, se puede observar que las diferencias estadísticas entre: ambientes, replicaciones en ambientes, tratamientos, variedades, heterosis, heterosis promedia, heterosis varietal, heterosis específica y las interacciones de primer orden, ambientes x tratamientos, ambientes x variedades, ambientes x heterosis y ambientes x heterosis específica fueron significativamente diferentes de cero, al nivel del uno por ciento de probabilidad. Las interacciones ambientes x heterosis promedia y ambientes x heterosis varietal alcanzaron niveles de significancia al cinco por ciento de probabilidad. Del total de la suma de cuadrados debida a heterosis (S_h), 54 por ciento se atribuye a la heterosis promedia ($S_{\bar{h}}$), 34 por ciento a la heterosis específica (S_s) y sólo un 12 por ciento a la heterosis varietal (S_{vh}). En el análisis de variancia de este estudio, los efectos genéticos no aditivos fueron los más importantes, debido al mayor porcentaje de heterosis promedia y específica, obtenidos en los cuadrados medios de la partición no ortogonal de la heterosis. La heterosis varietal también fue altamente significativa, pero la proporción de la suma de cuadrados fue relativamente baja. El rendimiento promedio en todos los tratamientos fue de 9,11 kg/parcela de 18,40 m² (4.951 kg/ha) y el coeficiente de variación de 12,29 por ciento.

TABLA 7. Análisis combinado de variancia del rendimiento en grano, expresado en kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad, de doce variedades y sus cruzamientos posibles. Datos de 16 replicaciones (cuatro replicaciones por ambiente).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma cuadrados	Cuadrados medios
Ambientes	3	2.435,459	811,820 **
Replicaciones en ambientes	12	78,824	6,569 **
Tratamientos	77	1.892,482	24,578 **
Variedades (vj)	11	713,388	64,853 **
Heterosis (h _{jj'})	66	1.179,094	17,865 **
Heterosis promedio (\bar{h})	1	637,353	637,353 **
Heterosis varietal (h _j)	11	136,608	12,419 **
Heterosis específica (s _{jj'})	54	405,133	7,502 **
Ambientes x tratamientos	231	692,981	3,000 **
Ambientes x variedades	33	249,986	7,575 **
Ambientes x heterosis	198	442,995	2,237 **
Ambientes x heterosis promedio	3	11,132	3,711 *
Ambientes x heterosis varietal	33	68,634	2,080 *
Ambientes x heterosis específica	162	363,229	2,242 **
Error	924	1.158,923	1,254
Total	1.247	6,258,670	
Promedio kg/parcela	9.108		
Coefficiente de variación (%)	12,29		

* Nivel de significación al 5%.

** Nivel de significación al 1%.

4.4 Efecto (\hat{v}_j) de Cada una de las Doce Variedades Parentales.

Los efectos varietales expresados en kg/parcela de 18,40 m² correspondientes al rendimiento, que se presentan en la Tabla 8, sirven para comparar la capacidad rendidora de cada una de las variedades utilizadas por sí mismas.

Por sus efectos estimados en los datos combinados, las variedades se dividieron arbitrariamente en tres grupos así:

4.4.1 Valores grandes y positivos.

Harinoso Mosquera I Sin₁, Harinoso Mosquera, Rocamex V-7 I Sin₁, Rocamex V-7 y Ecuador 466.

4.4.2 Valores pequeños y positivos.

Boyacá 371 y Ecuador 559.

4.4.3 Valores negativos.

Boyacá 423, Ecuador 410, Cundinamarca 365, Antioquia 333a y Ecuador 609.

Los efectos parciales observados en cada ambiente se presentan en la Tabla 17 del apéndice.

TABLA 8. Efecto (\hat{v}_j) de cada una de las variedades estudiadas. Resultados correspondientes al rendimiento en kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad. Datos combinados de cuatro ambientes (cuatro replicaciones por ambiente).

No.	Genealogía	\hat{v}_j
1.	Rocamex V-7	8,883334
2.	Rocamex V-7 I Sin ₁	11,283334
3.	Harinoso Mosquera	12,783334
4.	Harinoso Mosquera I Sin ₁	28,683334
5.	Boyacá 371	2,083334
6.	Boyacá 423	- 19,716666
7.	Ecuador 466	8,483334
8.	Ecuador 410	- 10,616666
9.	Cundinamarca 365	- 6,116666
10.	Antioquia 333a	--19,216666
11.	Ecuador 559	4,683334
12.	Ecuador 609	- 21,216666

Los efectos varietales de las doce variedades parentales utilizadas variaron de - 21,22 para Ecuador 609 a + 28,68 para Harinoso Mosquera I Sin₁ .

Puesto que la capacidad de rendimiento de las variedades concuerda con la magnitud y signo de los efectos v_j obtenidos, las cinco variedades clasificadas en el primer grupo, representan un valioso germoplasma, al cual podrían aplicarse métodos de selección masal, según el sistema que propusiera Gardner (5) o selección recurrente por habilidad combinatoria general y así mejorar su comportamiento agronómico. Los rendimientos relativamente altos de la variedad sintética Harinoso Mosquera I Sin₁ se deben probablemente a la mayor acumulación de factores favorables de rendimiento logrados a través de su formación por el método de selección recíproca.

4.5 Parámetros de Heterosis (h_{jj}) de los Cruzamientos Dialélicos.

Los estimativos de heterosis (h_{jj}), basados en el rendimiento de los datos combinados de los cuatro ambientes estudiados (Tabla 9), indican que los cruzamientos que mayores efectos heteróticos alcanzaron fueron: Ecuador 410 x Antioquia 333a, Rocamex V-7 I Sin₁ x Boyacá 423, Ecuador 410 x Cundinamarca 365, Boyacá 371 x

TABLA 9. Valores estimados de heterosis (h_{jj}) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruzamientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica. Datos combinados de cuatro ambientes.

Padres (j)	j'												Total hítera h_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Roc. V-7	--	19,40	43,35	32,20	20,00	37,00	38,80	49,55	35,20	36,05	40,60	47,75	399,90
2. Roc. V-7 I Shu ₁	--	--	54,85	41,80	44,70	59,10	45,40	52,15	55,20	47,25	55,30	49,05	524,20
3. Har. Mosq.	--	--	--	0,55	14,25	22,15	20,85	47,30	7,15	11,50	34,05	31,60	287,60
4. Har. Mosq. I Shu ₁	--	--	--	--	4,30	18,00	35,00	31,85	11,30	15,55	14,10	23,65	227,80
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	29,10	22,40	55,95	11,60	18,75	21,20	35,05	277,30
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	30,30	45,05	25,40	19,75	44,40	26,45	356,70
7. Ecu. 466	--	--	--	--	--	--	--	25,85	38,90	26,15	17,30	20,95	321,90
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	56,15	60,90	24,15	27,10	475,50
9. Cun. 365	--	--	--	--	--	--	--	--	--	25,05	12,80	30,05	308,80
10. Ant. 333a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	31,95	37,20	330,10
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	24,35	320,20
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	353,20
TOTAL													4.183,20
													2.091,60

$\sum h_{jj} = \frac{1}{2} (4.183,20) =$

Ecuador 410, Rocamex V-7 I Sin₁ x Ecuador 559, Rocamex V-7 I Sin₁ x Cundinamarca 365 y Rocamex V-7 I Sin₁ x Ecuador 410.

Los datos para cada uno de los ambientes se presentan en las tablas del apéndice y los grados superiores correspondieron a los cruzamientos: Rocamex V-7 I Sin₁ x Boyacá 423, en el ambiente I; Boyacá 371 x Ecuador 410 en el ambiente II; Rocamex V-7 I Sin₁ x Harinoso Mosquera en el ambiente III y Ecuador 410 x Antioquia 333a en el ambiente IV.

En esta investigación, los cruzamientos que mayor contribución aportaron al total de la heterosis ($h_{jj'}$) corresponden a los híbridos varietales en los cuales intervinieron las variedades Rocamex V-7 I Sin₁, Ecuador 410, Rocamex V-7, Boyacá 423 y Ecuador 609, como uno de los padres y cuyos rendimientos fueron de los más altos, no sólo en los datos combinados de las 16 repeticiones sino también en los datos parciales de cada ambiente.

Los valores estimados de heterosis ($h_{jj'}$), son parámetros provenientes de las diferencias en la frecuencia de los genes de las variedades j y j' y de los diversos grados de dominancia que se expresan cuando dos variedades j y j' se cruzan (8). A fin de suministrar una información más adecuada y útil, este parámetro $h_{jj'}$ se puede subdividir así:

$$h_{jj'} = \bar{h} + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Donde:

\bar{h} es la heterosis promedia

h_j es la heterosis varietal a la que contribuye la variedad j

$s_{jj'}$ es la heterosis específica, debida a cruzamientos de las variedades j y j' .

4.6 Heterosis Promedia (\bar{h}).

La heterosis promedia es una medida del comportamiento de los cruzamientos en relación al promedio de los dos progenitores. La información obtenida es análoga a la dada por la interacción cruzamientos x variedades, tal como la presentó Griffing (11) en su estudio.

Los resultados obtenidos de \bar{h} para los ambientes: I, II, III y IV y el análisis que incluyó los datos combinados fueron: 7,42; 8,85; 8,96; 6,46 y 7,92 kg/parcela (total de cuatro repeticiones), respectivamente. Los valores, relativamente altos, confirman de nuevo la diversidad genética existente en las variedades parentales estudiadas.

4.7 Heterosis Varietal (h_j).

Esta medida indica la contribución promedia de cada variedad en todos sus cruzamientos (h_j y h_j').

La Tabla 10 presenta la heterosis varietal (h_j), correspondiente a cada una de las doce variedades parentales, de los datos combinados de los cuatro ambientes. En base a los resultados obtenidos de heterosis varietal, las variedades se clasificaron arbitrariamente en cuatro grupos así:

4.7.1 Valores positivos y medianos.

Rocamex V-7 I Sin₁, Ecuador 410 y Rocamex V-7.

4.7.2 Valores positivos y cercanos a cero.

Boyacá 423 y Ecuador 609.

4.7.3 Valores negativos y medianos.

Ecuador 466, Cundinamarca 365, Antioquia 333a y Ecuador 559.

4.7.4 Valores negativos y grandes.

Harinoso Mosquera, Harinoso Mosquera I Sin₁ y Boyacá 371.

Es importante destacar que la variedad Rocamex V-7 I Sin₁

TABLA 10. Heterosis varietal (h_j) del rendimiento de las doce variedades parentales y sus respectivos cruzamientos. Datos combinados de cuatro ambientes.

No.	Genealogía	h_j
1.	Rocamex V-7	5,129999
2.	Rocamex V-7 I Sin ₁	17,560000
3.	Harinoso Mosquera	- 6,100000
4.	Harinoso Mosquera I Sin ₁	- 12,080000
5.	Boyacá 371	- 7,129999
6.	Boyacá 423	0,810001
7.	Ecuador 466	- 2,670000
8.	Ecuador 410	12,689999
9.	Cundinamarca 365	- 3,980000
10.	Antioquia 333a	- 1,849999
11.	Ecuador 559	- 2,840000
12.	Ecuador 609	0,460001

mostró consistentemente uno de los mayores valores de heterosis (h_j) en los cuatro ambientes estudiados (Tabla 22 del Apéndice), así como también Ecuador 410, aunque a niveles menores. Las variedades que mostraron la mayor heterosis varietal positiva fueron Rocamex V-7 I Sin₁, Ecuador 410 y Rocamex V-7, las que podrían servir como germoplasma en programas de selecciones recurrentes. Torregroza y Varela (33) recomendaron la variedad ecuatoriana, Ecuador 410, en un proyecto de selección recurrente por habilidad combinatoria general.

4.8 Heterosis Específica ($s_{jj'}$).

La heterosis específica ($s_{jj'}$) obtenida del cruzamiento entre las variedades j y j' , se presenta en la Tabla 11. Los datos corresponden a los efectos específicos de los 66 cruzamientos provenientes de combinar los doce progenitores. Los resultados indican que los mayores efectos específicos positivos se originaron en los siguientes híbridos varietales: Boyacá 371 x Ecuador 410, Ecuador 410 x Antioquia 333a, Boyacá 423 x Ecuador 559 y Ecuador 466 x Cundinamarca 365.

Rocamex V-7 I Sin₁ x Boyacá 423, en el ambiente I; Harinoso Mosquera I Sin₁ x Ecuador 466, en el ambiente II; Ecuador 410 x Antioquia 333a, en el ambiente III y Rocamex V-7 I Sin₁ x Ecuador

TABLA 11. Heterosis específica (s_{ij}) de los 66 cruzamientos varietales resultantes de combinar doce variedades de maíz. Datos combinados de 16 replicaciones. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m².

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Roc. V-7	--	-34,980909	12,629092	7,459092	- 9,690908	- 0,630908	4,649092	0,039092	2,359092	1,079092	6,619092	10,469092
2. Roc. V-7 I Sh ₁	--	11,699091	4,629091	4,629091	2,579091	9,039091	- 1,150909	- 9,790909	9,929091	- 0,150909	8,889091	- 0,660909
3. Har. Mosq.	--	--	--	-12,960909	- 4,210909	- 4,250909	- 2,070909	9,019092	- 14,460908	- 12,240909	11,299091	5,549091
4. Har. Mosq. I Sh ₁	--	--	--	--	- 8,180909	- 2,420909	18,059092	- 0,950908	- 4,330908	- 2,210909	- 2,670909	3,579091
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	3,729091	0,509091	18,699092	- 8,980908	- 3,960909	- 0,520909	10,029091
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	0,469091	- 0,140908	- 3,120908	- 10,900909	14,739091	- 6,510909
7. Ecu. 466	--	--	--	--	--	--	--	- 15,860908	13,859092	- 1,020909	- 8,880908	- 8,530909
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	15,749092	18,369091	- 17,390908	- 17,740908
9. Cun. 365	--	--	--	--	--	--	--	--	--	- 0,810908	- 12,070908	1,879092
10. Ant. 333a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4,949091	6,899091
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	- 4,960909
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

609 y Rocamex V-7 I Sin₁ x Cundinamarca 365, en el ambiente IV, fueron los cruzamientos que presentaron los mayores efectos específicos positivos, en los diferentes ambientes (Tablas 23 al 26 del Apeñdice).

Al considerar la posibilidad de explotar poblaciones heterocigotas de maíz por medio de cruzamientos que muestren grandes efectos heteróticos en sus combinaciones específicas, los híbridos varietales señalados como los mejores, en base al parámetro de heterosis específica (s_{jj}), podrían ser los más indicados en proyectos de selección recurrente recíproca y selección recurrente por habilidad combinatoria específica, que se fundamentan en los efectos no aditivos, de gran consideración en este trabajo.

Por razones de orden práctico los cruzamientos: Boyacá 371 x Ecuador 410 y Ecuador 410 x Antioquia 333a señalados como los mejores en los datos combinados, no deben recomendarse para uso comercial por la diferencia en la coloración del endosperma de las variedades parentales; en cambio los otros cruzamientos considerados podrían utilizarse comercialmente en programas de hibridación varietal; en especial si se tiene en cuenta el de mejor comportamiento para cada uno de los ambientes.

4.9 Coeficientes de Correlación.

Las correlaciones lineales simples se presentan en la Tabla 12. Las relaciones entre el rendimiento de las variedades parentales y el rendimiento de sus cruzamientos dialélicos indican que estas dos variables están asociadas positivamente a niveles de significancia estadística del cinco por ciento y el uno por ciento de probabilidad en tres ambientes y en los datos combinados.

El por ciento de humedad de los granos al cosechar de las variedades parentales y el por ciento de humedad de sus cruzamientos posibles presentaron coeficientes de correlación lineal simple positivos y altamente significativos, en todos los ambientes y en los datos combinados. Los valores absolutos variaron de $r = + 0,725$ en el ambiente III a $r = + 0,887$ en los datos combinados.

Entre el rendimiento y el por ciento de humedad al cosechar de las variedades parentales y el rendimiento y el por ciento de humedad de sus cruzamientos dialélicos, los valores de los coeficientes de correlación calculados fueron tan pequeños como para carecer de importancia agronómica.

Desde el punto de vista biológico, los coeficientes de correlación lineal simple entre el rendimiento de las variedades parentales y el rendimiento de los cruzamientos varietales posibles muestran

TABLA 12. Coeficientes de correlación lineal simple basados en 66 pares de datos parciales y combinados de los cuatro ambientes.

Comparaciones	A M B I E N T E S				Datos combinados
	I	II	III	IV	
Rendimientos					
Padres vs. F ₁	0,5905 **	0,2059	0,5134	0,2469 *	0,4621 **
Humedad					
Padres vs. F ₁	0,8522 **	0,7390 **	0,7246 **	0,8377 **	0,8868 **
Rendimiento vs. humedad					
Padres vs. padres	0,1318	0,0904	0,2975	- 0,4028 **	0,1096
F ₁ vs. F ₁	0,0521	0,0199	- 0,1219	- 0,0609	0,0233

* Nivel de significación al 5 %.

** Nivel de significación al 1 %.

que el rendimiento de las variedades son hasta cierto punto un buen índice para predecir los rendimientos de sus cruzamientos dialélicos. Lonnquist (18) encontró que las variedades de mejores rendimientos originaban los híbridos varietales más rendidores. Paterniani y Lonnquist (24) concluyeron que los rendimientos de las variedades parentales estuvieron estrechamente asociadas con los rendimientos de sus F_1 , siendo $r = + 0,67$. En este estudio, la correlación del rendimiento de los padres versus los rendimientos de la F_1 , en los datos combinados, fue de $r = + 0,461$, valor estadísticamente significativo al nivel de probabilidad del uno por ciento y menor en valor absoluto al presentado por Paterniani y Lonnquist (24).

Entre el por ciento de humedad de los granos al cosechar de las variedades parentales y el por ciento de humedad de los cruzamientos dialélicos, la asociación obtenida fue positiva y altamente significativa. Los valores correspondientes a estos coeficientes en los datos dan una relación estrecha, ya que los valores absolutos muestran una buena medida de la variabilidad. Como valor de predicción, este dato indica que, en general, las variedades parentales más tardías producen los cruzamientos más tardíos.

Los coeficientes de correlación lineal calculados entre el ren-

dimiento y el por ciento de humedad de los granos al cosechar en las variedades parentales y en los cruzamientos posibles dieron valores tan bajos como para no merecer importancia agronómica alguna.

5. CONCLUSIONES

5.1 Los 66 cruzamientos varietales excedieron el promedio de sus progenitores y 60 de ellos superaron al padre más rendidor; en términos de porcentaje, esto representa el 100 por ciento para el primer caso y el 90,9 por ciento para el segundo.

5.2 La respuesta heterótica de los cruzamientos estudiados, con relación al promedio de los padres, alcanzó 126,8 por ciento y con relación al padre más rendidor fué de 117,8 por ciento y con relación al padre constante, de 128,1 por ciento.

5.3 El cruzamiento de mayor rendimiento promedio fué Rocamex V-7 I Sin₁ x Harinoso Mosquera, para el cual los valores de heterosis en porcentaje relativo al promedio de los padres y al padre más rendidor fueron de 156,2 y 141,1 por ciento, respectivamente; sin embargo, los mayores efectos de heterosis específica se observaron en el cruzamiento Boyacá 371 x Ecuador 410.

5.4 Como era de esperarse, en general, los cruzamientos entre las variedades más relacionadas en origen, mostraron la respuesta heterótica más baja.

5.5 Del total de la suma de cuadrados debida a heterosis (S_h), el 54 por ciento correspondió a la heterosis promedia (S_h) y el 34 por ciento a la heterosis específica (S_s); parámetros estos

que corresponden a los efectos no aditivos, de acuerdo a lo sugerido por los autores del modelo utilizado en esta investigación.

5.6 En los análisis de variancia, las diferencias estadísticamente significativas en las interacciones de primer orden que incluyen el ambiente, indican el notable efecto de éste sobre los materiales estudiados y como consecuencia en los parámetros calculados.

5.7 La heterosis promedia (S_h) que corresponde a la variancia de la interacción cruzamientos x variedades y a la cual se le atribuye la mayor porción de la variancia de heterosis, puede dar idea de la gran variabilidad genética del material parental utilizado en este estudio.

5.8 Al comparar los rendimientos de las variedades sintéticas, Harinoso Mosquera I Sin₁ y Rocamex V-7 I Sin₁, con las no mejoradas que les dieron origen, se registró una buena ganancia en rendimiento como resultado de su formación por el método de selección recurrente recíproca.

5.9 La mayor capacidad de rendimiento de las doce variedades parentales se observó en Harinoso Mosquera I Sin₁, Harinoso Mosquera, Rocamex V-7 I Sin₁, Rocamex V-7 y Ecuador 410, cuyos valores de los efectos varietales fueron grandes y positivos.

5.10 Las variedades que exhibieron la mayor heterosis varietal (h_v) positiva fueron Rocamex V-7 I Sin₁, Ecuador 410 y Rocamex V-7, las cuales podrían utilizarse como germoplasma en proyectos de selecciones recurrentes.

5.11 Los cruzamientos: Boyacá 371 x Ecuador 410, Ecuador 410 x Antioquia 333a, Harinoso Mosquera I Sin₁ x Ecuador 466, Ecuador 410 x Cundinamarca 365, Boyacá 423 x Ecuador 559 y Ecuador 466 x Cundinamarca 365, representan un valioso germoplasma para usarse en proyectos de hibridación varietal y selección recurrente por habilidad combinatoria específica.

5.12 De los cruzamientos indicados como superiores por heterosis específica, es importante destacar el cruzamiento entre Harinoso Mosquera I Sin₁ x Ecuador 466, el cual superó en 8,4 por ciento el rendimiento de Cundinamarca 365 x Ecuador 466. Esta última combinación dió origen al primer híbrido varietal entregado a los agricultores de las tierras altas de Colombia, Diacol H. 501 (Torregroza y Varela 33). El cruzamiento arriba citado, representa un buen ejemplo de la ganancia que se puede obtener en hibridación varietal, cuando se mejora el comportamiento agronómico de los progenitores; en este caso Harinoso Mosquera I Sin₁ es en efecto el resultado de un ciclo de selección recurrente recíproca de la variedad Harinoso Mosquera.

5.13 Los coeficientes de correlación lineal simple entre el rendimiento de las variedades parentales y el rendimiento de sus híbridos mostraron que el rendimiento de los progenitores son un buen índice para predecir los rendimientos de la generación F_1 , lo cual confirma las observaciones anotadas por otros investigadores (18, 24).

5.14 El por ciento de humedad de los granos al cosechar de las variedades parentales y el de sus cruzamientos mostraron un grado de asociación altamente significativo y positivo, que como generalización indica que las variedades parentales tardías tienden a producir híbridos varietales tardíos.

6. RESUMEN

En el presente estudio se cruzaron en forma dialéctica diez variedades no mejoradas y dos variedades sintéticas de maíz de clima frío y se evaluaron por su capacidad rendidora y la de sus cruzamientos posibles. Las variedades y sus cruzamientos se sembraron en tres localidades diferentes; en una de ellas por dos años. Para efectos del estudio, los cuatro experimentos fueron considerados como representativos de cuatro ambientes al azar.

Para estimar los efectos de los cruzamientos dialécticos posibles, se utilizó el model estadístico propuesto por Gardner y Eberhart (8), basado en la teoría genética estadística que presenta Gardner (6), para tal clase de material.

En la partición no ortogonal de la suma de cuadrados, se obtuvo estimativos de heterosis promedia ($S_{\bar{h}}$), heterosis varietal (S_{vh}) y heterosis específica (S_S), estadísticamente significativos al nivel de probabilidad del uno por ciento en los ensayos parciales de rendimiento y en el análisis combinado. Del total de la suma de cuadrados debida a heterosis (S_h), el 54 por ciento se atribuye a la heterosis promedia, el 34 por ciento a la heterosis específica y sólo un 12 por ciento a la heterosis varietal.

El por ciento de heterosis observada en base al promedio de los padres, al padre más rendidor y al padre constante fue de:

126,8; 117,8 y 128,1 por ciento, respectivamente. Estos datos fueron muy cercanos a los obtenidos por Sarria (29) y Paterniani y Lonquist (24); comparables a los presentados por Torregroza y Varela (33) y Robinson et al (27) y mayores a los logrados por Lonquist y Gardner (19) y Hallauer y Eberhart (13).

El análisis de los datos correspondientes mostró además lo siguiente:

6.1 Las mejores variedades fueron Harinoso Mosquera I Sin₁, Harinoso Mosquera, Rocamex V-7 I Sin₁, Rocamex V-7 y Ecuador 466.

6.2 Los cruzamientos de mayor grado de heterosis h_{jj} correspondieron a Ecuador 410 x Antioquia 333a, Rocamex V-7 I Sin₁ x Boyacá 423 y Ecuador 410 x Cundinamarca 365.

6.3 Rocamex V-7 I Sin₁, Ecuador 410 y Rocamex V-7 presentaron los mayores valores de heterosis varietal (h_j).

6.4 En relación a heterosis específica (s_{jj}), los cruzamientos varietales Boyacá 371 x Ecuador 410, Ecuador 410 x Antioquia 333a y Harinoso Mosquera I Sin₁ x Ecuador 466 fueron los más sobresalientes y representan un valioso germoplasma para utilizarse en proyectos de hibridación varietal y selección recurrente.

por habilidad combinatoria específica.

6.5 Para determinar la asociación entre el rendimiento y la humedad de los granos en el momento de la cosecha de las variedades parentales y sus generaciones híbridas, se calcularon los coeficientes de correlación lineal simple. El mayor grado de asociación se obtuvo para rendimiento y humedad entre las variedades parentales y sus progenies.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. BEAL, W.J. 1878. ^{el mejoramiento de granos frutas y} The improvement of grains, fruits and ^{hortalizas)} vegetables. Ann. Rep. Michigan State Board Agric. (US). 17:449-454.
2. CASTRO, M.C., C.O. GARDNER and J.H. LONNQUIST. 1966. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. Crop. Sci. (US). 8:97-101.
3. COMSTOCK, R.E., H.F. ROBINSON and P.H. HARVEY. 1949. A procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. Agron. Jour. (US). 41:360-367.
4. FORREST, A.T. and A.R. HALLAUER. 1966. Analysis of a diallel set of early flint varieties of maize. Crop. Sci. (US). 8:581-584.
5. GARDNER, C.O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop. Sci. (US). 1:241-245.
6. _____ 1965. Teoría de genética estadística aplicable a las medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. Fitotecnia Latinoamericana (México). 2(1 y 2):11-22.

7. GARDNER, C.O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana (México)*. 4(2):1-12.
8. _____ and S.A. EBERHART. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics (US)*. 22:439-452.
9. _____ y J.H. LONNQUIST. 1966. Teoría genético-estadística y procedimientos útiles para el estudio de las variedades y cruzamientos inter-varietales de maíz. CIMMYT, México, D.F., México. 37 p. (Folleto de Inv. No. 2).
10. GRIFFEE, F. 1922. First generation corn varietal crosses. *Jour. Amer. Soc. Agron. (US)*. 14:18-27.
11. GRIFFING, B. 1956a. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. Jour. Biol. (Australia)*. 9:463-493.
12. _____. 1956b. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity (US)*. 10:31-50.

13. HALLAUER, A.R. and S.A. EBERHART. 1966. Evaluation of synthetic varieties of maize for yield. *Crop Sci.* (US). 6:423-427.
14. _____ and J.H. SEARS. 1968. Second phase in the evaluation of synthetic varieties of maize for yield. *Crop. Sci.* (US). 8:448-451.
15. HAYES, H.K. and P.J. OLSON. 1919. First generation crosses between standard Minnesota corn varieties. *Univ. of Minn. (Tech. Bull. 183)*.
16. JENKINS, M.T. 1929. Correlation studies with inbred and crossbred strains of maize. *Jour. Agron. Res.* (US). 59:677-721.
17. JINKS, J.L. 1955. A survey of the genetical basis of heterosis in a variety of diallel crosses. *Heredity* (US). 9:223-238.
18. LONNQUIST, J.H. 1965. Utilización de la heterosis obtenida en cruces intervarietales de maíz. *Fitotecnia Latinoamericana (México)*. 2(1 y 2):1-10.

19. LONNQUIST, J.H. and C.O. GARDNER. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implication in breeding procedures. *Crop. Sci. (US)*. 1:179-183.
20. MATZINGER, D.F., G.F. SPRAGUE and C.C. COCKERHAM. 1959. Diallel crosses of maize in experiments repeated over locations and years. *Agron. Jour. (US)*. 51:346-350.
21. MOLL, R.H., W.S. SALHUANA and H.F. ROBINSON. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop. Sci. (US)*. 2:197-198.
22. NILSSON-LEISSNER, G. 1927. Relation of selfed strains of corn to F₁ crosses between them. *Jour. Amer. Soc. Agron. (US)*. 19:440-454.
23. O'KELLY, J.F. and W.W. HULL. 1932. Parent-progeny correlations in corn. *Jour. Amer. Soc. Agron. (US)*. 24:861-878.
24. PATERNIANI, E. and J.H. LONNQUIST. 1963. Heterosis in inter-racial crosses of corn (*Zea mays* L.). *Crop. Sci. (US)*. 3:504-507.

25. RICHEY, F.D. 1922. The experimental basis for the present status of corn breeding. Jour. Amer. Soc. Agron. (US). 14:1-17.
26. ROBERTS, L.M., U.J. GRANT, R. RAMIREZ, W.H. HATHEWAY y D.L. SMITH, con la colaboración de P.C. MANGELSDORF. 1957. Razas de maíz en Colombia. División de Investigaciones Agropecuarias DIA, Bogotá. pp. 65-74 (Bol. Téc. No. 2).
27. ROBINSON, H.F., R.E. COMSTOCK, A. KHALIL and P.H. HARVEY. 1956. Dominance versus overdominance in heterosis: evidence from crosses between open-pollinated varieties of maize. Amer. Nat. (US). 90:127-131.
28. ROJAS, B.A. and G.F. SPRAGUE. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials: III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. Agron. Jour. (US). 44:462-466.
29. SARRIA, D. 1966. Heterosis, acción génica y correlaciones de catorce variedades de maíz en Colombia. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. E.N. A. Chapingo, México. 52 p. (Mimeografiada).

30. SPRAGUE, G.F. and L.A. TATUM. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. Jour. Amer. Soc. Agron. (US). 34:923-932.
31. TIMOTHY, D.H., W.H. HATHEWAY, M. TORREGROZA, D. SARRIA y D. VARELA. 1966. Razas de maíz en Ecuador. Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Bogotá. pp. 36-63 (Bol. Téc. No. 12).
32. TORREGROZA, M.C. 1959. Heterosis in populations derived from latin-american open-pollinated varieties of maize. M.S. thesis. Univ. of Nebraska, Lincoln, Nebr. 49 p. (mecanografiada).
33. _____ y D. VARELA. 1968. Cruzamientos varietales entre maíces de clima frío de Sudamérica. Agric. Trop. (Colombia). 24(12):849-871.
34. VAN SHAIK, T., T.P. BOGYO, F.J. DIJKHUIS, H.C. HUHNS, F.X. LAUBSCHER and B. STEAD. 1958. Performance of South African maize variety crosses. South. Afr. Jour. of Agron. Sci. (South Africa). 1:423-433.

35. WELHAUSEN, E.J. y L.M. ROBERTS. 1948. Rocamex V-7, una variedad sobresaliente de maíz para sembrarse de riego en la mesa central. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Oficina de Estudios Especiales, México, D.F., México. 21 p. (Foll. de div. No. 3).

8. APENDICE

TABLA 13. Rendimientos, Kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad, de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 68 cruza-
mientos posibles (no diagonal), en el ambiente I. Datos de cuatro repeticiones.

Padres (j)	j'												Total Híbrido	Promedio Híbrido		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			Y _j .	Y _h.	Y_{h}.
1. Roc. V-7	<u>36,7</u>	39,9	44,1	45,3	35,1	34,8	41,5	45,5	42,3	36,1	47,5	36,2	485,0	448,3	40,754545	
2. Roc. V-7 I Sin1		<u>31,2</u>	43,9	42,0	38,2	47,0	40,3	33,3	44,8	35,6	40,0	30,5	466,7	435,5	39,590909	
3. Har. Mosq.			<u>33,5</u>	36,5	32,3	32,5	37,1	41,6	32,7	30,7	36,2	35,6	436,7	403,2	36,654545	
4. Har. Mosq. I Sin1				<u>35,2</u>	35,4	35,9	42,2	35,0	35,9	38,6	38,9	34,6	455,5	420,3	38,209090	
5. Boy. 371					<u>27,9</u>	30,8	38,7	34,9	29,1	35,6	39,5	34,7	412,2	384,3	34,936363	
6. Boy. 423						<u>24,4</u>	39,2	31,8	34,9	27,2	39,1	29,1	406,7	382,3	34,754545	
7. Ecu. 466							<u>27,3</u>	36,1	41,3	31,8	34,6	32,6	442,7	415,4	37,763636	
8. Ecu. 410								<u>26,5</u>	38,5	39,3	29,5	32,6	424,6	398,1	36,190909	
9. Cua. 365									<u>33,6</u>	33,5	32,8	31,0	430,4	396,8	36,072727	
10. Ant. 338a										<u>22,6</u>	35,4	32,5	398,9	376,3	34,209090	
11. Ecu. 559											<u>30,8</u>	34,5	438,8	408,0	37,090909	
12. Ecu. 609												<u>20,5</u>	384,4	363,9	33,081818	
TOTAL															5.182,6	4.832,4

TABLA 14. Rendimientos, kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad, de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruza-
mientos posibles (no diagonal), en el ambiente II. Datos de cuatro replicaciones.

Padres (j)	j'												Total Híbrido		Promedio Híbrido	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Y _j	Y _h	Y _h	Y _h
1. Roc. V-7	27,2	35,9	40,9	34,6	30,7	37,1	39,8	36,6	32,1	31,9	32,5	39,9	419,2	392,0	35,636363	
2. Roc. V-7 I Sin1		28,7	41,6	45,1	42,2	40,4	38,7	37,7	43,2	39,8	46,6	39,3	479,2	450,5	40,954545	
3. Har. Mosq.			34,3	37,0	33,7	35,6	38,5	47,3	32,2	33,9	42,0	37,2	454,2	419,9	38,172727	
4. Har. Mosq. I Sin1				35,8	35,3	35,8	46,5	41,5	35,4	29,3	36,4	39,1	451,8	416,0	37,818181	
5. Boy. 371					27,1	31,4	33,1	48,2	33,0	29,4	37,0	36,6	415,7	388,6	35,327272	
6. Boy. 423						25,6	30,9	36,5	32,7	32,6	37,3	31,7	407,6	382,0	34,727272	
7. Ecu. 466							32,2	34,8	36,6	31,9	30,9	30,9	424,8	392,6	35,690909	
8. Ecu. 410								21,5	43,7	34,8	33,0	37,1	450,7	429,2	39,018181	
9. Cua. 365									23,4	31,7	32,3	36,7	413,0	389,6	35,418181	
10. Ant. 333a										24,0	34,2	31,8	385,3	361,3	32,845454	
11. Ecu. 559											26,2	35,8	424,2	398,0	36,181818	
12. Ecu. 609												25,6	421,7	396,1	36,009090	
T O T A L													5.147,4	4.815,8		

TABLE 15. Rendimientos, kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad, de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruza-
mientos posibles (no diagonal), en el ambiente III. Datos de cuatro replicaciones.

Padres (j)	j'												Total Híbrido	Promedio Híbrido			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			Y _j	Y _h	\bar{Y}_h
1. Roc. V-7	<u>38,3</u>	47,9	50,9	53,4	46,8	46,6	48,3	51,6	50,2	48,1	51,6	52,9	586,6	548,3	49,845454		
2. Roc. V-7 I Sin ₁	<u>41,1</u>	62,4	56,0	55,0	53,8	53,8	58,4	62,4	49,5	55,3	59,5	54,7	656,0	614,9	55,900000		
3. Har. Mosq.	<u>37,0</u>	42,2	43,3	40,3	47,0	48,8	48,8	39,5	36,8	48,6	43,2	540,0	503,0	45,727272			
4. Har. Mosq. I Sin ₁	<u>45,0</u>	41,8	40,3	52,6	52,1	42,3	41,1	44,1	44,0	554,9	509,9	46,354545					
5. Boy. 371	<u>37,7</u>	43,8	45,6	54,3	39,9	37,4	39,6	44,1	529,3	491,6	44,690909						
6. Boy. 423	<u>29,3</u>	44,4	52,6	37,2	32,7	47,8	37,9	506,7	477,4	43,400000							
7. Ecu. 466	<u>42,3</u>	43,0	48,4	45,2	46,7	44,4	566,3	534,0	47,636363								
8. Ecu. 410	<u>43,5</u>	50,6	55,6	49,7	35,9	600,1	556,6	50,600000									
9. Cand. 365	<u>34,6</u>	37,1	38,7	41,7	509,7	475,1	43,190909										
10. Art. 338a	<u>30,4</u>	45,1	42,5	507,3	476,9	43,354545											
11. Ecu. 559	<u>40,1</u>	36,1	547,6	507,5	48,136363												
12. Ecu. 609	<u>33,3</u>	510,7	477,4	43,400000													
TOTAL																6.615,2	6.162,6

TABLA 16. Rendimientos, kg/parcela de 16,40 m² al 15 por ciento de humedad, de las doce variedades parentales (posición diagonal) y sus 66 cruza-
mientos posibles (no diagonal), en el ambiente IV. Datos de cuatro replicaciones.

Padres (j)	j'												Total Híbrido Y _h .	Promedio Híbrido \bar{Y}_h .		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1. Roc. V-7	<u>25,6</u>	24,7	37,2	36,6	31,8	32,0	36,8	33,9	30,9	33,7	34,7	31,5	389,4	363,8	33,072727	
2. Roc. V-7 I Sin1	<u>29,2</u>	<u>37,9</u>	37,6	34,9	32,6	36,8	38,0	39,2	31,5	36,1	38,5	417,0	387,8	35,254645		
3. Har. Mosq.	<u>26,9</u>	24,5	31,3	29,2	27,8	29,6	25,0	25,8	34,9	30,3	360,4	333,5	333,5	30,318181		
4. Har. Mosq. I Sin1	<u>31,6</u>	<u>26,1</u>	29,4	31,2	30,7	27,9	30,2	30,3	28,6	364,7	333,1	333,1	333,1	30,281818		
5. Boy. 371	<u>28,3</u>	33,2	29,2	35,2	26,5	26,7	27,4	29,0	359,6	331,3	30,118181					
6. Boy. 423	<u>19,9</u>	29,1	27,9	26,6	26,7	31,6	26,2	344,4	324,5	29,500000						
7. Ecu. 466	<u>25,6</u>	29,8	30,6	25,6	366,0	340,4	30,945454									
8. Ecu. 410	<u>19,8</u>	33,9	35,2	27,9	24,5	363,4	346,6	31,509090								
9. Cua. 385	<u>21,2</u>	29,0	27,2	25,9	346,0	324,8	29,527272									
10. Aut. 333a	<u>22,7</u>	28,9	29,1	350,3	327,6	29,781818										
11. Ecu. 559	<u>28,5</u>	26,6	364,7	338,2	30,745454											
12. Ecu. 609	<u>18,3</u>	336,1	317,8	28,890909												
T O T A L															4.362,0	4.069,4

⁴
 TABLA 17. Efecto (Y) de cada variedad estudiada. Datos correspondientes a rendimiento, Kg/parcela de 18,40 m², al 15 por ciento de humedad de cada uno de los cuatro ambientes.

Variedades	A M B I E N T E S			
	I	II	III	IV
1. Rocamex V-7	7,516667	- 0,433333	0,583334	1,216667
2. Rocamex V-7 I Sin ₁	2,016667	1,066667	3,383334	4,816667
3. Harinoso Mosquera	4,316667	6,666667	- 0,716666	2,516667
4. Harinoso Mosquera I Sin ₁	6,016667	8,166667	7,283334	7,216667
5. Boyacá 371	- 1,283333	- 0,533333	- 0,016666	3,916667
6. Boyacá 423	- 4,783333	- 2,033333	- 8,416666	- 4,483333
7. Ecuador 466	- 1,883333	4,566667	4,583334	1,216667
8. Ecuador 410	- 2,683333	- 6,133333	5,783334	- 7,583333
9. Cundinamarca 365	4,416667	- 4,233333	- 3,116666	- 3,183333
10. Antioquia 333a	- 6,583333	- 3,633333	- 7,316666	- 1,683333
11. Ecuador 559	1,616667	- 1,433333	2,383334	2,116667
12. Ecuador 609	- 8,683333	- 2,033333	- 4,416666	- 6,083333

TABLE 18. Valores estimados de heterosis (h_j) del rendimiento (kg/parcela de 16,40 m² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruza-
mientos posibles al combinar doce variedades de maiz en forma dialélica, en el ambiente I.

Padres (f)	f'												Total hilera h_j
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Roc. V-7	--	5,95	9,00	9,35	2,80	4,25	9,70	13,90	7,15	6,45	13,75	7,60	89,90
2. Roc. V-7 I Sin ₁	--	--	11,55	8,80	8,65	19,20	11,05	4,45	12,40	8,70	9,00	4,65	104,40
3. Har. Mosaq.	--	--	--	2,15	1,60	3,55	6,70	11,60	0,85	2,65	4,05	8,60	60,60
4. Har. Mosaq. I Sin ₁	--	--	--	--	3,85	6,10	10,95	4,15	1,50	9,70	5,90	6,75	69,20
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	4,65	11,10	7,70	1,65	10,35	10,15	10,50	69,70
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	13,35	6,35	5,90	3,70	11,50	6,65	85,20
7. Ecn. 466	--	--	--	--	--	--	--	9,20	10,85	6,85	5,55	8,70	104,00
8. Ecn. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	8,45	14,75	0,85	9,10	90,50
9. Can. 365	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5,40	0,60	3,95	53,70
10. Ant. 333a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	8,70	10,95	88,20
11. Ecn. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	8,85	78,90
12. Ecn. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	86,30
TOTAL													$\sum h_{jj} = \frac{1}{2} (980,60) =$ 490,30

TABLA 19. Valores estimados de heterosis (h_{jj}) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruza-
mientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialéctica, en el ambiente II.

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total h _{jj}
1. Roc. V-7	--	7,95	10,15	3,10	3,55	10,70	10,10	12,25	6,80	6,30	5,80	13,50	90,20
2. Roc. V-7 I Sin ₁	--	10,10	12,85	14,30	13,25	8,25	12,60	17,15	13,45	19,15	12,15	141,20	
3. Har. Mosq.	--	--	1,95	3,00	5,65	5,25	19,40	3,35	4,75	11,75	7,25	82,60	
4. Har. Mosq. I Sin ₁	--	--	3,85	5,10	12,50	12,85	5,80	0,60	5,40	8,40	71,20		
5. Boy 371	--	--	5,05	3,45	21,90	7,75	3,85	10,35	10,25	87,30			
6. Boy. 423	--	2,00	12,95	8,20	7,80	11,40	6,10	88,20					
7. Ecu. 468	--	7,95	8,80	3,80	1,70	2,00	66,80						
8. Ecu. 410	--	--	21,25	12,05	9,15	13,55	155,90						
9. Cun. 365	--	--	8,00	7,50	12,20	106,80							
10. Ant. 338a	--	--	9,10	7,00	75,50								
11. Ecu. 558	--	--	9,90	101,20									
12. Ecu. 609	--	--	--	102,30									
TOTAL													1.168,20

$\sum h_{jj} = \frac{1}{2} (1.168,20) = 584,10$

TABLEA 20. Valores estimados de heterosis (h_{jj}) del rendimiento (kg/parcela de 18,40 m² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruza-
mientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialéfica, en el ambiente III.

Padres (j j)	j'												Total hilera h_j .
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Roc. V-7	--	8,20	13,25	11,75	8,80	12,80	8,00	10,70	13,75	13,75	12,40	17,10	130,50
2. Roc. V-7 I Sin1	--	--	23,35	12,95	15,60	18,60	16,70	20,10	11,65	19,55	18,90	17,50	183,10
3. Har. Mosq.	--	--	--	1,20	5,95	7,15	7,35	8,55	3,70	3,10	10,05	8,05	91,70
4. Har. Mosq. I Sin1	--	--	--	--	0,45	3,15	8,95	7,85	2,50	3,40	1,55	4,85	58,60
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	10,30	5,60	13,70	3,75	3,35	0,70	8,60	76,80
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	8,60	16,20	5,25	2,85	13,10	6,60	104,60
7. Ecu. 466	--	--	--	--	--	--	--	0,10	9,95	8,85	5,50	6,60	86,20
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	11,55	18,65	7,90	2,50	112,80
9. Cua. 365	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4,60	1,35	7,75	75,80
10. Ant. 383a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	9,85	10,65	98,60
11. Ecu. 569	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,60	80,70
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	84,60
TOTAL													1.184,00
													592,00

$$\sum h_{jj} = \frac{1}{2} (1.184,00) = 592,00$$

TABLE 21. Valores estimados de heterosis (h_{ij}') del rendimiento (kg/parcela de 16,40 m² al 15 por ciento de humedad) de los 66 cruza-
mientos posibles al combinar doce variedades de maíz en forma dialélica, en el ambiente IV.

Padres (j)	j'												Total hijera
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		h_{j}
1. Roc. V-7	--	-2,70	10,95	8,00	4,85	9,25	11,20	12,70	7,50	9,55	8,65	9,55	89,50
2. Roc. V-7 I Sin ₁	--	--	9,85	7,20	6,15	8,05	9,40	15,00	14,00	5,55	8,25	14,75	95,50
3. Har. Mosq.	--	--	--	4,75	3,70	5,80	1,55	7,75	0,95	1,00	8,20	7,70	52,70
4. Har. Mosq. I Sin ₁	--	--	--	--	3,85	3,65	2,60	6,50	1,50	3,05	1,25	3,65	28,80
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	9,10	2,25	12,65	1,75	1,20	0,00	5,70	43,50
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	6,35	9,55	6,05	5,40	8,40	7,10	78,70
7. Ecu. 468	--	--	--	--	--	--	--	8,60	9,30	6,65	4,55	3,65	66,10
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	14,90	15,45	6,25	6,95	116,30
9. Cum. 385	--	--	--	--	--	--	--	--	--	7,05	3,35	6,15	72,50
10. Aut. 383a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	4,30	8,60	67,80
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	6,20	59,40
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	80,00
TOTAL													850,80
													425,40
													Σ h _{jj'} = 1/2 (850,80) = 425,40

TABLA 22. *Heterosis varietal (h)* del rendimiento (Kg/parcela de 18,40 m²) al 15 por ciento de humedad de las doce variedades y sus respectivos cruzamientos. Datos de cada uno de los cuatro ambientes.

Variedades	I	A	M	B	I	E	N	T	E	S	IV
		II		III							
1. Rocamex V-7	0,801660	- 0,715007	3,183333	1,860001							
2. Rocamex V-7 I Sin1	2,271656	4,385000	8,443333	2,460000							
3. Harinoso Mosquera	- 2,108340	- 1,475000	- 0,696667	- 1,819999							
4. Harinoso Mosquera I Sin1	- 1,248335	- 2,615001	- 4,006666	- 4,209998							
5. Boyacá 371	- 1,198338	- 1,005001	- 2,186666	- 2,739999							
6. Boyacá 423	0,351660	- 0,915001	0,593334	0,780001							
7. Ecuador 466	2,211659	- 3,154999	- 1,246667	- 0,480000							
8. Ecuador 410	0,881656	5,854998	1,413333	4,539999							
9. Cundinamarca 365	- 2,798342	0,944999	- 2,286666	0,160000							
10. Antioquia 333a	0,651665	- 2,185000	- 0,006666	- 0,309999							
11. Ecuador 559	- 0,278344	0,385000	- 1,796667	- 1,149999							
12. Ecuador 609	0,461657	0,494999	- 1,406666	0,910001							

TABLA 23. Heterosis específica (s_j)¹ obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialéctica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicas del ambiente I. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m²

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Roc. V-7	--	-4,549091	2,880909	2,370910	- 4,229090	- 4,329091	- 0,939091	4,790909	1,720909	- 2,429090	5,800909	- 1,089091
2. Roc. V-7 I Sln ₁	--	--	3,960909	0,350910	0,150909	9,150909	- 0,859091	- 6,129091	5,500909	- 1,649090	- 0,419091	- 5,509091
3. Har. Mosq.	--	--	--	- 1,919090	- 2,519090	- 2,119091	- 0,829091	5,400909	- 3,369091	- 3,319090	- 0,989091	2,820909
4. Har. Mosq. I Sln ₁	--	--	--	--	- 1,129090	- 0,429090	2,560910	- 2,909090	- 1,879090	2,870910	0,000910	0,110910
5. Boy. 371	--	--	--	--	- 1,929090	--	2,660910	0,590909	- 5,079091	3,470910	4,200909	3,810909
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	3,360909	- 2,309091	0,920909	- 4,729090	4,000909	- 1,589091
7. Ecu. 466	--	--	--	--	--	--	--	- 1,319091	4,010909	- 3,439090	- 3,809091	- 1,399091
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	2,940909	5,790910	- 7,179091	0,330909
9. Cua. 365	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,120910	- 3,749091	- 1,139091
10. Ant. 383a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,900910	2,410910
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1,240909
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TABLA 24. Heterosis específica (*sjj*) obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialéctica doce variedades de maíz. Datos de cuatro repeticiones del ambiente II. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m².

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Roc. V-7	--	-4,570002	3,489997	- 2,420002	- 3,580002	3,479998	5,119997	- 1,740002	- 2,280002	0,349998	- 2,720003	4,869998
2. Roc. V-7 I Sin ₁	--	-1,660003	2,229998	2,069998	0,929998	- 1,629993	- 6,490002	2,969998	2,399998	5,529997	- 1,580002	
3. Har. Mosq.	--	- 2,810002	- 3,370002	- 0,810002	1,029997	6,169998	- 4,970002	- 0,440003	3,989997	- 0,620002		
4. Har. Mosq. I Sin ₁	--	- 1,380002	- 0,220002	9,419997	0,759998	- 1,380002	- 4,650002	- 1,220002	1,669998			
5. Boy. 371	--	- 1,880002	- 1,240003	8,199998	- 1,040002	- 1,810002	2,119997	1,909998				
6. Boy. 423	--	- 2,780003	- 0,840002	- 0,680002	2,049998	3,079997	- 2,330002					
7. Ecu. 468	--	- 3,600003	2,159997	0,289997	- 4,380003	- 4,190002						
8. Ecu. 410	--	- 5,600053	- 0,470002	- 5,940002	- 1,650002							
9. Cua. 385	--	- 0,389998	- 2,680002	1,909998								
10. Ant. 383a	--	- 2,049999	- 0,160000									
11. Ecu. 559	--	- 0,170000										
12. Ecu. 609	--											

TABLE 25. Heterosis específicas (*s_{ij}'*) obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialélica doce variedades de maíz. Datos de cuatro replicaciones del ambiente III. Valores expresados en kg/parcela de 19,40 m².

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Roc. V-7	--	-12,396364	1,793637	3,603637	- 1,166364	0,053636	- 2,906363	- 2,866364	3,863636	1,603637	2,043637	6,353636
2. Roc. V-7 I Sim1	--	--	6,633636	- 0,456364	0,373636	0,593635	1,273635	- 3,476364	2,143636	3,263636	1,493635	
3. Har. Mosq.	--	- 3,066363	- 0,196364	- 1,716364	0,323637	- 1,136364	- 2,286364	- 5,166363	3,573637	1,183636		
4. Har. Mosq. i Sim1	--	--	- 2,326364	- 2,406364	5,233637	1,473636	- 0,176364	- 1,556364	- 1,616363	1,293636		
5. Boy. 371	--	--	2,923636	0,063636	5,503636	- 0,746364	- 3,426364	- 4,286364	3,223636			
6. Boy. 425	--	--	0,283636	5,223637	- 2,026364	- 6,706364	5,333636	- 1,556365				
7. Ecu. 465	--	--	--	- 9,036364	4,513636	1,133637	- 0,426363	0,283636				
8. Ecu. 410	--	--	--	--	3,453636	8,273635	- 0,686364	- 11,476365				
9. Cun. 385	--	--	--	--	--	- 2,076364	- 3,536364	2,473636				
10. Ant. 333a	--	--	--	--	--	--	2,683637	3,093636				
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	- 6,366364				
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--				

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA DOCUMENTACION
PROCESOS TECNICO

TABLE 26. Heterosis específica (g_{ij}) obtenida en los 66 cruzamientos resultantes de combinar en forma dialéctica doce variedades de maíz. Datos de cuatro repeticiones del ambiente IV. Valores expresados en kg/parcela de 18,40 m².

Padres (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Roc. V-7	--	-13,465455	4,484546	3,904545	- 0,715454	0,164545	3,374545	- 0,145454	- 0,965453	1,554545	1,494545	0,334546
2. Roc. V-7 I Sin1	--	2,764546	--	2,504545	- 0,015454	- 1,635455	0,974546	1,554546	4,934546	- 3,045455	0,494546	4,934545
3. Har. Mosq.	--	--	--	5,165454	1,614546	0,394545	- 2,595454	- 1,415454	- 3,835454	- 3,315454	4,724546	2,164545
4. Har. Mosq. I Sin1	--	--	--	--	- 3,345454	0,634545	0,844545	- 0,275454	- 0,895455	1,124545	0,164545	0,504545
5. Boy. 371	--	--	--	--	--	4,614545	- 0,975454	4,404546	- 2,115454	- 2,195454	- 2,555454	1,084545
6. Boy. 423	--	--	--	--	--	--	- 0,395455	- 2,215455	- 1,335455	- 1,515455	2,324545	- 1,035455
7. Ecu. 468	--	--	--	--	--	--	--	- 1,905454	3,174546	0,994545	- 0,265454	- 3,225455
8. Ecu. 410	--	--	--	--	--	--	--	--	3,754546	4,774546	- 3,585454	- 4,945454
9. Can. 385	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,754545	- 2,105454	- 1,365455
10. Ant. 383a	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	- 0,685455	1,554545
11. Ecu. 559	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	- 0,005455
12. Ecu. 609	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--