



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION VEGETAL

TRABAJO DE TESIS

DETERMINACION DE APTITUD COMBINATORIA
DE OCHO LINEAS DE MAIZ (*Zea mays* L.)
DERIVADAS DE LA POBLACION 76 C₂
(Tropical Intermedia Blanco Cristalino)

AUTOR: *Br. Daisy Ortega Plath*

ASESORES: *Ing. MSc Róger Urbina Algabas*
Ing. MSc Alberto Espinoza Salinas
Dr. Denis Salazar

Managua, Nicaragua
Noviembre del 2001

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
PENSAMIENTO.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
III. HIPOTESIS.....	3
IV. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1 Aptitud Combinatoria General y Específica.....	4
4.2 Análisis Dialélico.....	6
4.3 Heterosis.....	8
4.4 Predicciones de Híbridos.....	8
V. MATERIALES Y METODOS.....	10
5.1 Ubicación del Area de Estudio.....	10
5.2 Material Genética.....	10
5.3 Siembra y Tamaño de Parcela.....	12
5.3.1 Fertilización.....	12
5.3.2 Control de malezas.....	12
5.3.3 Control de plagas.....	12
5.4 Variables Medidas.....	13
5.5 Diseño Experimental.....	14
5.5.1 Diseño de los tratamientos.....	14
5.5.2 Análisis de varianza por localidad.....	15
5.5.3 Análisis de varianza combinado.....	15
5.5.4 Análisis dialélico por localidad.....	16
5.5.5 Análisis dialélico combinado.....	17
5.5.6 Efectos de aptitud combinatoria general (S_i) y específica (S_{ij}).....	19

5.5.7 Determinación de heterosis.....	19
5.5.8 Predicción de híbridos	20
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	21
6.1 Análisis de Varianza Generales	21
6.2 Estimación de los Efectos de Aptitud Combinatoria General (S_i).....	24
6.3 Estimación de los Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (S_{ij})	26
6.4 Análisis Dialélico.....	30
6.5 Determinación de Heterosis.....	32
6.6 Predicciones de Híbridos Dobles.....	35
VII. CONCLUSIONES	37
VIII. RECOMENDACIONES	38
IX. LITERATURA CITADA.....	39
X. ANEXOS	41

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía.

A mis padres Dr. Roberto Ortega y Dra. Daisy Plath quienes han sido ejemplos como personas profesionales quienes me encaminaron por los senderos del trabajo, el respeto y la superación.

A mis hermanos Francisco, Alejandro, Roberto, Salvador, Ena, Alfonso y Dora.

A mis sobrinos con amor.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. MSc Róger Urbina, mi asesor de tesis por su apoyo en la realización del presente trabajo.

Al Ing. MSc Alberto Espinoza, asesor y amigo, quien con su apoyo fue posible la culminación de esta tesis.

Al Dr. Agrónomo Denis Salazar mi asesor de tesis por parte de la Universidad Nacional Agraria.

Al Sr. Marcos Mendoza Barbas por su valiosa colaboración en el trabajo de campo y toma de datos.

Al Ing. Chang Ming Cheng de la Misión Técnica Agrícola de la República de China, Taiwan por sus sabios consejos durante el desarrollo del presente trabajo y su permanencia en los experimentos de campo.

A mis amigos y trabajadores de campo del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).

PENSAMIENTO

Lo más importante no es trabajar sino producir y disfrutar el fruto de nuestro trabajo.

Róger Patrón Luján

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal, Managua, Nicaragua. Primera–Postrera. 2000.....	10
2. Genealogía y características agronómicas de 8 líneas de maíz derivadas de la Población 76 C ₂ . Managua. 2000.....	11
3. Análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.....	15
4. Análisis de varianza combinado para el diseño de bloques completos al azar.....	16
5. Análisis de varianza para el diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983).....	17
6. Análisis de varianza de una serie de experimentos dialélicos parciales, sin efectos maternos. Diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983).....	18
7. Análisis de varianza por localidad para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	21
8. Análisis de varianza combinado para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	22
9. Rendimiento de grano promedio (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	23
10. Estimación de los efectos de ACG (S _i) promedios por localidad de las 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	25

11. Análisis combinado de los efectos de ACG (S_i) de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ y promedios (t/ha) de las 28 cruzas simples en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	26
12. Rendimiento promedio (t/ha) y estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica ACE (S_{ij}) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	27
13. Análisis combinado de los efectos de aptitud combinatoria específica ACE (S_{ij}) para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	29
14. Análisis dialélico por localidad a través del diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983) en arreglos de bloques completo al azar para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	30
15. Análisis dialélico combinado para variable rendimiento de grano de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	32
16. Heterosis estimada de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en Santa Rosa, Nicaragua. Primera, 2000.....	33
17. Heterosis estimada de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Primera, 2000.....	34
18. Heterosis estimada de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Postrera. 2000.....	34
19. Análisis combinado de Heterosis estimada de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	35
20. Híbridos dobles predichos superiores con base a la evaluación de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Características agronómicas de 28 cruzas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ . Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera - Postrera, 2000.....	42
2. Estadísticos promedios de rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en Santa Rosa, Nicaragua. Primera, 2000.....	43
3. Estadísticos promedios de rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Primera, 2000.....	44
4. Estadísticos promedios de rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Postrera, 2000.....	45
5. Efectos de ACG (S _i) de 8 líneas de maíz de la Población 76 C ₂ y ACE (S _{ij}) de 28 cruzas dialélicas. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.....	46

RESUMEN

En las épocas de primera y postrera de 2000 en terrenos de las estaciones experimentales Santa Rosa y San Cristóbal del Centro Nacional de Investigación Agropecuaria (CNIA) pertenecientes al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), se evaluaron 28 cruzas dialélicas, derivadas de 8 líneas promisorias de maíz (*Zea mays* L.) de la Población 76 C₂. Los objetivos fueron: (1) Determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica, (2) Identificar las mejores cruzas simples y (3) Determinar la heterosis de las cruzas simples en estudio.

Se establecieron tres ensayos uniformes, dos en la época de primera y uno en postrera, el diseño experimental fue un Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones. El análisis de las cruzas dialélicas fue a través del diseño IV de Griffing (1956) (Martínez, 1983), en el cual se ensaya $P(P-1)/2$ combinaciones, donde P se refiere al número de progenitores involucrados en los cruzamientos.

El análisis dialélico combinado, la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), presentaron diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$) para cada tratamiento, en cada localidad y a través de localidades, lo que indica que algunas líneas al combinarse dieron como resultado cruzas con un comportamiento superior o similar al esperado a la ACG de sus padres.

Las líneas LN-1, LN-5, LN-7 y LN-9 presentaron los efectos positivos de ACG (0.17, 0.06, 0.07 y 0.13 t/ha). Asimismo, las cruzas simples (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-11), (LN-7 x LN-15) y (LN-13 x LN-13) obtuvieron estimaciones de ACE positivas (0.69, 0.63, 0.76 y 0.08 t/ha) y con porcentajes de heterosis de 202.7, 172.0, 184.2 y 156.1% respectivamente, lo que es un buen indicador para el aprovechamiento de los efectos genéticos no aditivos principalmente genes de acción de dominancia que son aprovechados en la heterosis.

I. INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.) en Nicaragua, representa para las familias nicaragüenses el grano más importante para su alimentación, ya que representa del 17 al 24% de la ingesta de calorías y proteínas. Actualmente se siembran unas 332,077 hectáreas, esta situación ha permitido que la producción de maíz sea mayor a la que se obtiene con arroz (*Oriza sativa* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench].

Sin embargo, el rendimiento promedio nacional es bajo (1.5 t/ha). Esta baja producción se debe a que el cultivo se desarrolla en una gran diversidad de ambientes y es afectada por factores bióticos y abióticos que han probado ser las causas de la mayoría de estos bajos rendimientos.

Entre los principales factores que afectan la producción del cultivo de maíz se destacan: (1) El achaparramiento, que es una enfermedad devastadora (afecta las zonas del Pacífico y Central Norte de Nicaragua), alcanzando niveles críticos de incidencia sobre la producción, (2) Pudrición de mazorca, que afecta principalmente en las zonas húmedas (donde se siembran aproximadamente 65,342 hectáreas) causando pérdidas de grano hasta en un 30%, (3) Precipitaciones escasas e irregulares, (4) Uso de variedades criollas, (5) Manejo agronómico deficiente y 6) Falta de crédito. Esta problemática requiere de estrategias de trabajo a corto y mediano plazo; siendo una de ellas la generación de variedades mejoradas e híbridos con estabilidad de rendimiento de grano, buenas características agronómicas y tolerantes a los diferentes estreses.

En este sentido el Programa Nacional de Maíz del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha venido realizando estudios de mejoramiento genético del cultivo tendientes a dar respuesta a esta problemática. Por ello, en las épocas de primera y postrera del 2000 se evaluó el comportamiento de 28 cruza simples a través del esquema de cruza dialélicas. Las cruza dialélicas son consideradas una herramienta fundamental para estimar el comportamiento de líneas y cruza lo que permite caracterizar la variabilidad genética existente en las poblaciones.

Con esta información se puede identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior, con base al promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento y que sean de utilidad para el desarrollo y formación de híbridos, utilizando eficientemente la heterosis como una alternativa para incrementar el rendimiento y mejores características agronómicas que permitan hacer este cultivo más rentable y productivo.

II. OBJETIVOS

1. Determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica con base al rendimiento de grano de 28 cruzas simples.
2. Identificar las mejores cruzas simples con base al rendimiento de grano.
3. Determinar la heterosis de las 28 cruzas simples con base al rendimiento de grano.

III. HIPOTESIS

Ha: Las cruzas simples evaluadas presentan diferente aptitud combinatoria general y específica con base al rendimiento de grano.

Ha: Las cruzas simples evaluadas presentan diferentes rendimientos y características agronómicas.

Ha: Las cruzas simples evaluadas presentan valores diferentes porcentajes de heterosis.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Aptitud Combinatoria General y Específica

En los programas de mejoramiento genético en maíz (*Zea mays* L.) generalmente se identifican líneas con alta Aptitud Combinatoria General (ACG), las que posteriormente son probadas por su Aptitud Combinatoria Específica (ACE) en cruzamientos entre ellas o cruzamientos con una línea probadora élite. Sin embargo, frecuentemente muchas de esas líneas, aún cuando presentan alta ACG y ACE, poseen muchas características que todavía no se encuentran con niveles deseados (Ortiz y Mendoza, 1998).

En la generación de híbridos de maíz la selección de progenitores es un factor muy importante para la obtención de híbridos de alto rendimiento de grano y características agronómicas adecuadas. La prueba de ACG se determina cruzando los progenitores con un probador, resultando con ello las cruza probadoras que se les ha denominado mestizos (Márquez, 1988).

Asimismo, se indica que la prueba de ACG se puede realizar con plantas seleccionadas originales (S_0) o con la primera generación (S_1) debido a que las líneas puras adquieren su individualidad como progenitores al principio del proceso de autofecundación, pues su ACG permanece bastante estable en los primeros ciclos de selección (Allard, 1980).

Uno de los principales inconvenientes que se tienen en las pruebas de ACG es la identificación del mejor probador. Sin embargo, se señala que el mejor probador depende del esquema de mejoramiento que se quiera realizar para lo cual se requiere una descripción detallada de los probadores de ACG en donde se establece que el probador mas seguro es la variedad original (Márquez, 1988).

Sprague y Tatum (1942) desarrollaron los conceptos de ACG y ACE, donde ACG es el comportamiento promedio de un genotipo en combinaciones híbridas o en series de cruza y ACE es la desviación de determinadas cruza con respecto al comportamiento promedio de los

genotipos que intervienen en el cruzamiento. Así, en términos estadísticos ACG es el efecto principal y ACE es la interacción.

Chávez (1995), indica que la ACG estima el patrimonio genético de cada línea, es decir, la cuantía de los efectos de genes aditivos. Se evalúa mediante el uso de un probador de amplia variabilidad genética. Sin embargo, la ACE estima la cuantía de los efectos de genes de acción no aditiva, principalmente de genes de acción de dominancia, epistasis e interacciones; esta medida es particular para combinaciones entre pares de líneas.

González *et al.* (1998), evaluaron 8 líneas de maíz en un esquema dialélico incompleto encontrando que las cruza simples (203x208) y (208x218) con 7.46 y 7.12 t/ha fueron las que presentaron mayores rendimientos, lo cual se aplica en parte debido a los mayores valores positivos de ACG y ACE, lo que destaca la importancia de los efectos genéticos aditivos y de dominancia presente en los progenitores y de ambas cruza.

Vallejo *et al.* (1998), evaluaron 45 cruza y 15 líneas elites donde la endogamia de las líneas variaron de S_4 a S_7 . Ellos concluyeron que H-358 fue el probador idóneo teniendo el mayor valor de ACG (0.8 t/ha), sin embargo, su rendimiento estuvo asociado con un mayor número de días a floración femenina, altura de planta y altura de mazorca; en cambio la línea ST-30-1-3-1-1 sobresalió por su buena ACG (2.7 t/ha), además los valores de ACG fueron negativos para el número de días a floración (-0.8) y ACG positiva para altura de planta (7.87 cm) y altura de mazorca (8.13 cm).

Por su parte Molina y Lobato (1998) evaluaron 9 líneas y 36 cruza simples determinando que la correlación del rendimiento y la heterosis fue con h_1 de 0.60 y h_2 con 0.96, aunque ambos valores son significativos, el segundo corresponde a una correlación casi perfecta, señalando que en la mayoría de los casos las cruza con mayor rendimiento fueron también las de mayor heterosis h_2 , asegura que una línea de alta ACG produce híbridos de alta heterosis h_2 .

Quemé *et al.* (1991) generaron líneas S_3 con 0.87 y 0.98% de endogamia, con las que se formaron cruzas dialélicas; concluyendo que el 77% de las cruzas simples en S_3 expresaron efectos positivos de ACE.

Castellanos *et al.* (1992) evaluaron líneas y cruzas donde las líneas 1409, 1404, 1402 y 1411 presentaron estimaciones positivas de ACG (0.13, 0.43, 0.17 y 0.06 t/ha), en cambio las cruzas (1406x1409), (1401x1405), (1403x1409), (1406x1412) y (1401x1404) presentaron las estimaciones más altas de ACE (0.82, 0.64, 0.54, 0.51 y 0.47 t/ha), lo que permitió identificar cruzas entre líneas genéticamente diferentes que expresaron valores heteróticos considerables que pueden aprovecharse en la hibridación.

Larios *et al.* (1990), evaluaron 21 líneas con alto grado de endogamia (S_6) y 7 probadores (S_3), concluyendo que 10 líneas sobresalieron por su buen rendimiento de grano los que oscilaron entre 6.28 y 7.14 t/ha con ACG de 0.08 a 0.94 t/ha. Asimismo indicaron que existió alta significancia entre probadores lográndose la identificación de los probadores (43-68-1-1-3xGB13) y (43-462-3-2x43-68-1-1-3) con rendimientos de grano de 6.74 a 6.27 t/ha.

4.2 Análisis Dialélicos

Las cruzas dialélicas se emplean para estimar los componentes genéticos de la variación entre los rendimientos de las propias cruzas, así como su capacidad productiva.

Griffing (1956), citado por Martínez (1983) empleó la expresión de cruzas dialélicas para describir un procedimiento para elegir un conjunto de P de líneas progenitoras donde se realizan cruzas entre las propias líneas. Por ello, señala 4 métodos de análisis para cruzas dialélicas dependiendo si se ensayan o no las autofecundaciones o las cruzas recíprocas de las F_1 . Estos métodos son los siguientes: 1) Comprende ensayos de autofecundaciones que consiste en un grupo de cruzas F_1 y las cruzas recíprocas de las F_1 , para un total de P^2 combinaciones, 2) Comprende ensayos de las autofecundaciones con un grupo de cruzas F_1 , sin incluir las cruzas recíprocas, para un total de $P(P+1)/2$ combinaciones, 3) Ensayos con un grupo de F_1 y sus

recíprocas, sin incluir las autofecundaciones, para un total de $P(P-1)$ diferentes combinaciones y 4) Ensayos con solamente un grupo de cruza F_1 , sin incluir las cruza recíprocas, ni las autofecundaciones, para un total de $P(P-1)/2$ combinaciones.

En Nicaragua se realizó un estudio de 21 cruzamientos dialélicos efectuados a través de 7 líneas previamente seleccionadas con el propósito de conocer los efectos de aptitud combinatoria general y específica, y cuantificar la disminución del rendimiento de grano de maíz por causa de la enfermedad conocida como achaparramiento (*Spiroplasma kunkelii*) (CSS). Por lo que se concluye que los rendimientos disminuyeron drásticamente por la incidencia de la enfermedad; también se determinó que las cruza difieren entre sí en su comportamiento y los efectos genéticos no aditivos (ACE) fue significativo en la variable rendimiento de grano, por lo que se considera más importante que los aditivos (ACG), (Urbina, 1986).

Cockerham (1963), citado por Oyervides (1979) indicó que los componentes de varianza de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Específica (ACE), están directamente relacionados con los efectos genéticos aditivos y de dominancia, respectivamente.

Quemé (1982), concluyó que las evaluaciones a través de las localidades influyen en la expresión de Aptitud Combinatoria General (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) por lo que los materiales en estudio no se comportan de igual forma en todas las localidades.

Rojas y Sprague (1962), citado por Dardón (1980) señalan que al comparar la Aptitud Combinatoria General (ACG) con la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) en variedades de maíz determinaron que las variedades mejoradas para rendimiento de grano la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) tuvo mayor importancia que la Aptitud Combinatoria General (ACG).

Córdova (1990) señala que las diferencias entre ambientes pueden cambiar con frecuencia la magnitud en el comportamiento del genotipo a través de diferentes ambientes.

4.3 Heterosis

La heterosis o vigor híbrido, es el aumento del vigor de un híbrido con respecto a sus progenitores. Los efectos de heterosis sirven como indicadores de la diversidad genética, el cual puede escoger aquellos progenitores que tengan una media alta de comportamiento, gran variabilidad genética y mayores ganancias.

Shull (1914), citado por Robles (1986) explicó la heterosis desde el punto de vista fisiológica el cual tiene un estímulo sobre las actividades del organismo como la expresión de una mayor actividad metabólica y al aumento en la reproducción celular. Los mecanismos genéticos se resumen en tres teorías; a) Teoría de la sobredominancia o heterocigosis, b) Teoría de la dominancia y c) Teoría intralélica e interalélica con aditividad.

Rivera (1977), citado por Oyervides (1979) estudió el efecto de la divergencia genética en la heterosis de cruzas intervarietales de maíz y encontró que la varianza aditiva disminuye y la no aditiva aumenta, cuando aumenta la divergencia genética de los progenitores. La heterosis, cuando se cruzan las líneas endogámicas (la progenie) muestra un incremento de los caracteres que sufrieron previamente una reducción por la endogamia; es decir, la aptitud perdida por la endogamia tiende a ser restaurada en el cruzamiento entre las líneas progenitoras.

Nelson y Scott (1973), citados por Urbina (1986), al estudiar la herencia de la resistencia del achaparramiento del maíz a través de 45 cruzas dialélicas, concluyeron que los efectos genéticos aditivos parecen ser mucho más importantes que la acción génica en la herencia de la resistencia.

4.4 Predicciones de Híbridos

En la predicción de híbridos dobles las evaluaciones para rendimiento de las cruzas simples son una fase obligada que se debe realizar en el campo, en varias localidades y años, pues este es el único medio para determinar su valor. Jenkins (1934), citado por Chávez (1995) señala 4

métodos para la predicción del rendimiento de cruzas dobles, con base en el comportamiento de cruzas simples.

Los cuatro métodos son los siguientes: 1) Se toma como valor de predicción de rendimiento, el promedio de todas las cruzas simples posibles que se pueden formar entre las 4 líneas que intervienen en la craza doble, 2) Se toma como valor de predicción de la craza doble, el promedio de rendimiento de las cuatro cruzas simples no parentales, es decir, aquellas que no intervienen como progenitores de la craza doble, 3) El rendimiento se predice con el promedio de las medias de todas las cruzas simples formadas con cada una de las cuatro líneas parentales de la craza doble, es decir, que se toman las medias de todas las cruzas de cada línea obtenida en el dialélico y 4) Se predice el rendimiento con el promedio de la producción de los cuatro mestizos formados con las cuatro líneas progenitoras de la craza doble.

Otsuka (1972), citado por Chávez (1995) predice los rendimientos de cruzas simples, triples y dobles, por medio de los efectos de ACG y ACE de las líneas y cruzas implicadas.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Ubicación del Area de Estudio

Este estudio se realizó durante las épocas de primera (mayo-octubre) y postrera (septiembre-diciembre) de 2000, en terrenos de los campos experimentales Santa Rosa y San Cristóbal del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) en el departamento de Managua, Nicaragua. En el Cuadro 1 se resumen las características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades donde se establecieron los ensayos de evaluación.

Cuadro 1. Características edafoclimáticas y ubicación geográfica de las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal, Managua, Nicaragua. Primera – Postrera. 2000.

Características Generales	Localidades	
	Santa Rosa	San Cristóbal
Textura	Franco arcilloso	Franco arenoso
pH	6.8	6.3
Serie	Sabanagrande	Sabanagrande
Pendiente %	1.5	1.5
Precipitación media anual mm	600 - 800	500 - 800
Temperatura media anual °C	32	32
Altitud msnm	54	56
Longitud Norte	12°67'	12°08'
Longitud Oeste	86°11'	86°10'

Fuente: (INETER, 2000)

5.2 Material Genético

El material genético utilizado fueron 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz (*Zea mays* L.) derivadas de la Población 76 TIWF (Tropical Intermedia Blanca Cristalina), del segundo ciclo de mejoramiento genético. La generación de las líneas se realizó de la siguiente manera: En 1993 se evaluaron 600 líneas S₁ de maíz de la Población 76 (TIWF) en la localidad de Santa Rosa y de ésta evaluación se seleccionaron 225 líneas S₂ las que fueron evaluadas nuevamente en Santa Rosa y San Cristóbal bajo incidencia natural del achaparramiento del maíz

(*Spiroplasma kunkelii*) (CSS). Con base en los resultados obtenidos se identificó la mejor fracción de la población compuesta por 40 líneas S₂ donde las líneas de la fracción seleccionada se recombinaron en el siguiente ciclo de mejoramiento. De las 40 líneas, se seleccionaron las 10 mejores, con las cuales se formó una variedad sintética. Evaluaciones *per se* de las 10 líneas en diferentes ambientes permitió seleccionar 8 y los 2 restantes se eliminaron por presentar susceptibilidad a tizón foliar por maydis (*Helminthosporium maydis*).

La serie dialéctica se obtuvo a través de las combinaciones posibles de las 8 líneas; y el número de cruza simples totales se calculó con la fórmula

$$CS = n(n-1)/2 \quad (1)$$

CS : Cruzas simples
n : Número de línea

Cuadro 2. Genealogía y características agronómicas de 8 líneas de maíz derivadas de la Población 76 C₂. Managua, 2000.

Genealogía	Características agronómicas						t/ha
	DFM	DFF	API	AlMz	% PI Ach	% Mz Ach	
LN-1	57	58	164	89	27	0	2.3
LN-3	54	54	162	92	18	12	2.5
LN-5	55	55	159	91	22	6	2.1
LN-7	56	56	149	80	28	6	2.3
LN-9	55	55	167	88	34	7	2.4
LN-11	55	56	153	76	23	0	2.8
LN-13	56	58	170	80	34	4	2.5
LN-15	56	58	154	80	38	6	2.6

Fuente: Programa Nacional de Maíz (INTA)

DFM : Días a flor masculina
DFF : Días a flor femenina
API : Altura de planta (cm)
AlMz : Altura de mazorca (cm)
% PI Ach : Porcentaje de plantas achaparradas
% Mz Ach : Porcentaje de mazorca achaparradas
t/ha : Rendimiento de grano al 15% de humedad

5.3 Siembra y Tamaño de Parcela

La siembra se realizó manualmente cuando el suelo presentó buena humedad a una profundidad de 2.5 cm, se depositaron 3 semillas por golpe y a los 15 días después de la siembra se realizó un raleo dejando 2 plantas útiles por golpe. Cada tratamiento estuvo conformado por 2 hileras de 5 m de longitud con separación de 0.50 y 0.81 m entre plantas e hileras, respectivamente, obteniéndose un total de 22 plantas por surco y 44 plantas por tratamiento. El área de la parcela útil fue de 8.91 m².

5.3.1 Fertilización

La fertilización se realizó adicionando directamente al suelo la fórmula completa 10-30-10 (13 kg N/ha, 39 kg P₂O₅/ha, 13 kg K₂O/ha) al momento de la siembra el que se mezcló con Terbufós (Counter 10% G[®]) en dosis de 16 kg/ha. De los 35 a 40 días pre-antesis se realizó una fertilización nitrogenada con urea 46% en dosis de 60 kg/ha, con el objetivo de favorecer el crecimiento, desarrollo de planta y llenado de grano.

5.3.2 Control de malezas

El control de malas hierbas se realizó inicialmente con los herbicidas Pendimethalin (Prowl) + 2,4,D, Anina (1.5+1.5 L/ha) en pre-emergencia, la limpieza de calles se efectuó mecánicamente con azadón.

5.3.3 Control de plagas

El control de plagas del follaje específicamente gusano cogollero [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] se controló con Lorsban 5% EC (Clorpirifos 48 EC[®]) con dosis de 1.0 L/ha y MTD (Rmidofós 60 SL[®]) con dosis de 1.5 L/ha.

5.4 Variables Medidas

Para la determinación del comportamiento de las cruza simples se evaluaron las siguientes variables agronómicas.

1. **Días a floración femenina y masculina (DFF y DFM):** Medida en días desde la siembra hasta que el 50% de las panojas están liberando polen y el 50% de las plantas tienen estigmas receptivos.
2. **Altura de planta (AlPl):** Medida en centímetros desde la superficie del suelo al inicio de la hoja bandera, tomado a los 30 días después de la antésis.
3. **Altura de mazorca (AlMz):** Medida en centímetros desde la superficie del suelo al inicio del nudo de inserción de la mazorca principal, tomado a los 30 días después de antésis.
4. **Acame de raíz y tallo (AcRa y AcTa):** Acame de tallo en número de plantas cuyos tallos presentan inclinación de 30° a partir de la perpendicular abajo de la mazorca, y acame de raíz cuando las plantas presentan inclinación de 30° a partir de la perpendicular en la base de la planta en el inicio de la zona radicular.
5. **Enfermedades:** Plantas achaparradas, conteo del número total de plantas con síntomas de achaparramiento en la parcela útil.
6. **Planta cosechadas (PlCo):** Conteo del número total de plantas por parcela útil antes de la cosecha.
7. **Mazorcas cosechadas (MzCo):** Número total de mazorcas por parcela después de la cosecha.
8. **Peso de campo (PeCa):** Peso total de mazorcas de la parcela útil expresado en kilogramos por parcela útil.

9. Humedad de grano: Se determinó con el probador de humedad Dickey – John tomando una muestra representativa de cada parcela útil.
10. Rendimiento por parcela: Se determinó a través del peso total de todas las mazorcas cosechadas por parcela útil, expresado en kg/ha y uniformizado al 15% de humedad, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Kg/ha} = (\text{PeCa} \times \text{Kd}) \times (100 - \text{Hc}) / 85 \times (10000 / \text{AU}) \quad (2)$$

Donde;

- PeCa = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en kg/ha.
Kd = Constante de desgrane para ajustar el rendimiento en grano igual a 0.8.
AU = Area de parcela útil.
Hc = Humedad de campo o de cosecha.
85 = Humedad deseada al 15 %.

5.5 Diseño Experimental

Los tratamientos se arreglaron en un diseño Bloques Completos al Azar, con 4 repeticiones, para los tres ensayos. Con variable rendimiento de grano se realizó análisis combinado utilizando un diseño Bloques Completos al Azar, las estimaciones de los valores de ACG y ACE se obtuvieron mediante el diseño IV de Griffing (1956), (Martínez, 1983).

5.5.1 Diseño de los tratamientos

Se utilizó el diseño IV de Griffing (1956), (Martínez, 1983) el cual ensaya un grupo de F_1 , pero no incluye, las cruza recíprocas, ni las autofecundaciones, para un total de $P(P-1)/2$ combinaciones, donde P se refiere al número de líneas progenitoras evaluadas.

5.5.2 Análisis de varianza por localidad

El modelo estadístico para el diseño bloque completo al azar:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde;

- $i = 1, 2, 3, \dots, t$ número de tratamientos (Cruzas Simples)
- $j = 1, 2, 3, \dots, r$ número de repeticiones
- Y_{ij} = Efecto de la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.
- μ = Media general
- T_i = Efecto de la i -ésimo tratamiento (cruzas simples)
- B_j = Efecto de la j -ésima repeticiones
- E_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

El Cuadro 3 indica el análisis de varianza, fuente de variación, cuadrados medios, valor de F calculado y una descripción algebraica del diseño en mención.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el diseño de bloques completos al azar.

FC	GL	SC	CM	FC
Tratamientos	$t-1$	$\sum Y^2_{i.}/r - Y^2_{..}/rt$	$SCTrat/t-1$	$CMTrat/r/CME$
Repeticiones	$r-1$	$\sum Y^2_{.j}/t - Y^2_{..}/rt$	$SCRep/r-1$	$CMRep/CME$
Error	$(r-1)(t-1)$	Por diferencia	SCE/gle	
Total	$rt-1$	$\sum \sum Y^2_{ij} - Y^2_{..}/rt$		

Fuente: Martínez, 1988

5.5.3 Análisis de varianza combinado

Se realizó un análisis combinado de los 3 experimentos con base a los totales de cada tratamiento, mediante el diseño de bloque completo al azar para una serie de experimentos repetidos.

El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j(k) + L_k + (LT)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde;

$i = 1, 2, \dots, t$ (Cruzas simples) Tratamientos

$j = 1, 2, \dots, r$ Repeticiones

$k = 1, 2, \dots, l$ Localidades

$Y_{ijk} =$ Valor observado del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición en la k -ésima localidad.

$\mu =$ Media general

$T_j =$ Efecto del j -ésimo tratamiento (cruzas simples)

$B_j(k) =$ Efecto de la k -ésima localidad

$(LT)_{ik} =$ Interacción del i -ésimo tratamiento con la k -ésima localidad.

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

Cuadro 4. Análisis de varianza combinado, para el diseño de bloques completos al azar.

FV	GL	SC	CM	FC
Localidades	$l-1$	$\sum Y^2_{..k}/rt - Y^2_{...}/rt$	SCLoc/GLLoc	CML/CMLxT
Rep x Loc	$(r-1)l$	$\sum \sum Y^2_{ijk}/t - Y^2_{..k}/rt$		
Tratamientos	$(t-1)$	$\sum Y^2_{i..}/rl - Y^2_{...}/rt$	SCTrat/GLTrat	CMT/CMLxT
Loc x Trat	$(l-1)(t-1)$	$\sum \sum Y^2_{ij.}/t - Y^2_{..k}/rt - SCL - SCT$	SCLocxTrat/GLTrat	CMlxT/CME
Error	$l(r-1)(t-1)$	Por diferencia	SCE/GLE	
Total	$trl-1$	$\sum \sum \sum Y^2_{ijk} - Y^2_{...}/rt$		

Fuente: Martínez, 1988

5.5.4 Análisis dialéctico por localidad

El análisis dialéctico se realizó para determinar la aptitud combinatoria de las líneas evaluadas y la importancia de los componentes de varianza para la variable rendimiento de grano. El análisis se realizó para cada experimento y posteriormente el análisis combinado de los 3 ensayos en estudio.

El método utilizado fue el diseño IV de Griffing (1956), (Martínez, 1983) el modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + e_{ijk}$$

Donde;

$$i, j = 1, 2, \dots, P, \text{ progenitores}$$

$$k = 1, 2, \dots, r, \text{ repeticiones}$$

$$Y_{ijk} = \text{Valor fenotípico observado de la craza con progenitores } i \text{ y } j \text{ en bloque } k$$

$$\mu = \text{Efecto común a todas las observaciones}$$

$$g_i = \text{Efecto de aptitud combinatoria general del progenitor } (i)$$

$$g_j = \text{Efecto de aptitud combinatoria específica de la cruza } (i, j)$$

$$e_{ijk} = \text{Efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación } (i, j, k)$$

Cuadro 5. Análisis de varianza para el diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983).

F V	GL	SC	FC
Repeticiones	r-1	$\Sigma 2Y^2_{..k}/p(p-1) - 2Y^2_{...}/rp(p-1)$	
Cruzas	P(P-1)/2-1	$\Sigma \Sigma Y^2_{ij} / r - 2Y^2_{...} / rp(p-1)$	
ACG	P-1	$\Sigma X^2_i / rp(p-1) - 4Y^2_{...} / rp(p-1)$	$\sigma_e^2 + r\sigma_s^2 + r(p-2)\sigma_g^2$
ACE	P(P-3)/2	SC(Cruzas)-SC(ACG)	$\sigma_e^2 + r\sigma_s^2$
Error	Por diferencia	Por diferencia	σ_e^2
Total	RP(P-1)/2-1	$\Sigma \Sigma \Sigma Y^2_{ijk} - 2Y^2_{...} / rp(2q+p-1)$	

5.5.5 Análisis dialélico combinado

El modelo estadístico para este análisis fue el propuesto por Griffing, (1956), el método es el siguiente:

$$Y_{ijrl} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + PI + (gP)_i l + (gP)_j l + (SP)_{ij} + (E_{ijr,l})$$

Donde;

- i, j = 1, 2, ..., P, progenitores
 l = 1, 2, ..., l, localidad
 r = 1, 2, ..., r, repeticiones
 Y_{ijl} = Valor fenotípico observado de la craza con progenitores i y j en la r -ésima repetición en la l -ésima localidad
 μ = Efecto común de todas las observaciones
 g_i = Efecto de la ACG del i -ésimo progenitor
 g_j = Efecto de la ACG del j -ésimo progenitor
 S_{ij} = Efecto de la ACE del i -ésimo progenitor con el j -ésimo progenitor
 Pr = Efecto de la localidad l
 $(gP)_{il}$ = Interacción entre el efecto i de la ACG y la localidad l
 $(gP)_{jl}$ = Interacción entre el efecto j de la ACG y la localidad l
 $(SP)_{ijl}$ = Interacción entre el efecto (ij) de la ACE y la localidad l
 E_{ijl} = Error

Cuadro 6. Análisis de varianza de una serie de experimentos dialélicos parciales, sin efectos maternos. Diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983).

FV	GL	SC	CM	FC
Localidades	$l-1$	SC(L)		
Loc x Rep	$l(r-1)$	SC(Rep x Loc)		
Cruzas	$P(P-1)/2-1$	SC(Cruzas)	CM(Cruza)	
ACG	$P-1$	SC(ACG)	CM(ACG)	$\sigma_e^2 + r\sigma_s^2 + r(p-2)\sigma_g^2$
ACE	$(P(P-1)/2-1)-(P-1)$	SC(ACE)	CM(ACE)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sp}^2 + lr\sigma_s^2$
Cruzas x Loc	$(P(P-1)/2-1)(l(r-1))$	SC(CxLoc)	CM(CxL)	
ACG x Loc	$(P-1)(l-1)$	SC(ACGxLoc)	CM(ACGxL)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sp}^2 + rs(p-2)/p-1(\sigma_{sp}^2)$
ACE x Loc	$(P(P-1)/2-1)-(P-1)(l(r-1))$	SC(ACE x Loc)	CM(ACE x L)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{sp}^2$
Error	$((P(P-1)/2-1)-P-1)(l-1)$	SC(Error)	CM(Error)	σ_e^2
Total		$\sum Y_{ijl}^2 - \sum Y^2 \dots / rlp$		

5.5.6 Efectos de aptitud combinatoria general (S_i) y específica (S_{ij}).

Para las estimaciones de los efectos de aptitud combinatoria general (S_i) y específica (S_{ij}), a través del diseño IV de Griffing (1956), (Martínez, 1983) se utilizaron las siguientes fórmulas;

$$ACG = S_i = P(X_{i.}) - 2X_{...} / P(P - 2) \quad (3)$$

$$ACE = S_{ij} = (X_{i.} + X_{.j}) / (P-2) + 2X_{...} / (P-1)(P-2) \quad (4)$$

Donde;

- P = Número de progenitores
- $X_{i.}$ = Suma de las cruzas en que interviene el progenitor.
- $X_{.j}$ = Promedio de los progenitores como tales
- $X_{...}$ = Gran total.

5.5.7 Determinación de heterosis

Se determinaron los porcentajes de heterosis en la que se consideró el rendimiento de grano de las 28 cruzas obtenidas a partir de las 8 líneas de cada localidad y el combinado con base al promedio de los progenitores, comparado con los resultados reales de cada craza y el mejor progenitor, (Robles, 1986).

Respecto al promedio de sus progenitores

$$\text{Heterosis} = h = MC/PM \times 100 \quad (5)$$

MC = Media de la craza

PM = Progenitor medio $P1+P2/2$

Respecto al mejor progenitor

$$\text{Heterosis} = h = \text{MC} / \text{PS} \times 100 \quad (6)$$

MC = Media de las cruzas

PS = Progenitor superior

5.5.8 Predicción de híbridos

Con el método 2 de Jenkins (1934), (Chávez, 1995) se realizó la predicción de los mejores híbridos dobles una vez seleccionadas las mejores cruzas simples. Este método toma como valor de predicción de la craza doble, el promedio de rendimiento de las cruzas simples no parentales, es decir, que no intervienen como progenitores de la craza doble, aplicado a la siguiente ecuación:

$$CD_{ijkl} = 1/4 (CS_{ik} + CS_{il} + CS_{jk} + CS_{jl}) \quad (7)$$

Donde;

i, j, k, l , = Representa a las cuatro líneas de una craza doble.

CD_{ijkl} = Valor de la predicción de la craza doble (ixj) (kxl)

$CS_{ik}, CS_{il}, CS_{jk}, CS_{jl}$ = Comportamiento de las cruzas simples no paternas o genotipos predictores.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Análisis de Varianzas Generales

El Cuadro 7 presenta los análisis de varianza por localidad de la variable rendimiento de grano observándose diferencias altamente significativas en la fuente de variación tratamientos en las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal en la época de primera (junio-octubre) lo cual indica que por lo menos existe un tratamiento diferente a los demás; mientras que la época de postrera (septiembre-diciembre) no se detectó diferencias significativas. Los coeficientes de variación en primera fueron de 12.8 a 14.5%, lo cual indica que el manejo agronómico de los ensayos y la toma de datos fue eficiente. Sin embargo, en la evaluación de postrera el coeficiente de variación fue de 31.0% de variación, esta situación probablemente se debió que durante el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se presentaron períodos prolongados de sequía y alta incidencia de ataque de cogollero, lo que incidió negativamente en la expresión final del rendimiento.

Los rendimientos promedios en la época de primera en Santa Rosa y San Cristóbal fueron de 4.2 y 4.3 t/ha los que superaron en 0.9 y 1.0 t/ha al rendimiento obtenido en postrera en San Cristóbal (3.3 t/ha), lo que evidencia que los genotipos se comportaron diferentes en las distintas época de siembra.

Cuadro 7. Análisis de varianza por localidad para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

FV	Cuadrados Medios		
	Santa Rosa A	San Cristóbal A	San Cristóbal B
Repeticiones	0.56 **	1.11 **	0.72 NS
Tratamientos	1.75 **	1.88 **	0.77 NS
Error	0.30	0.39	1.10
CV (%)	12.80	14.50	31.00
Media (t/ha)	4.20	4.30	3.30

NS = No Significativo
** = Significativo al 1%
A = Época de primera
B = Época de postrera

El análisis de varianza combinado de los tres ensayos, presenta efectos estadísticos significativos, en las fuentes de variación localidades, tratamientos, así como la interacción localidades x tratamientos (Cuadro 8).

Los factores ambientales que influyen sobre el comportamiento biológico del cultivo (humedad, tipo de suelo, manejo agronómico, calor, luminosidad, temperaturas, humedad relativa, vientos y otros), obligan a los fitomejoradores a usar modelos de evaluación que permitan determinar la interacción genético-ambiente para la selección de genotipos con buena estabilidad y consistencia de rendimiento de grano, esto concuerda con lo dicho por Córdova, (1990) es evidente que la variabilidad ambiental se presenta de un ciclo a otro, así como entre localidades en una misma época o año y que las diferencias entre ambientes pueden cambiar con frecuencia la magnitud del comportamiento de un genotipo a través de diferentes localidades de prueba.

Cuadro 8. Análisis de varianza combinado para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Fuente de Variación	GL	Cuadrado Medio
Localidades	2	31.96 **
Repetición x Localidad	9	0.79 NS
Tratamientos	27	1.89 **
Localidad x Tratamiento	54	1.25 **
Error	251	0.60
CV (%)		19.40
Media t/ha		4.00

NS = No Significativo
 ** = Significativo al 1%

El Cuadro 9 presenta las medias de rendimientos promedios de los experimentos utilizados en el análisis combinado, en general los rendimientos oscilaron de 4.55 a 3.12 t/ha, lo que refleja la variabilidad presentada en el carácter de rendimiento de grano. Las cruza (LN-7 x LN-15), (LN-1 x LN-5), (LN-13 x LN-15) y (LN-7 x LN-11) con 4.55, 4.52, 4.44 y 4.42 t/ha sobresalieron por su mayor rendimiento de grano.

Cuadro 9. Rendimiento de grano promedio (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Genealogía	Rendimientos promedio (t/ha)
(LN-7 x LN-15)	4.55
(LN-1 x LN-5)	4.52
(LN-13 x LN-15)	4.44
(LN-7 x LN-11)	4.42
(LN-7 x LN-13)	4.36
(LN-3 x LN-15)	4.34
(LN-9 x LN-15)	4.33
(LN-3 x LN-13)	4.28
(LN-11 x LN-15)	4.23
(LN-5 x LN-11)	4.22
(LN-3 x LN-11)	4.15
(LN-3 x LN-9)	4.13
(LN-9 x LN-11)	4.06
(LN-1 x LN-3)	4.04
(LN-5 x LN-13)	4.04
(LN-3 x LN-5)	4.03
(LN-7 x LN-9)	4.02
(LN-5 x LN-15)	3.97
(LN-1 x LN-7)	3.92
(LN-1 x LN-13)	3.90
(LN-9 x LN-13)	3.85
(LN-11 x LN-13)	3.72
(LN-1 x LN-15)	3.63
(LN-1 x LN-11)	3.62
(LN-5 x LN-9)	3.53
(LN-1 x LN-9)	3.23
(LN-5 x LN-7)	3.12
(LN-3 x LN-7)	3.12
Media t/ha	3.99

6.2 Estimación de los Efectos de Aptitud Combinatoria General (S_i)

Los valores de ACG (S_i) y ACE (S_{ij}) de las líneas en estudio y la combinación de sus cruzas simples se determinaron mediante el diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983).

En el Cuadro 10, se presenta el comportamiento de los progenitores con base a los efectos de ACG (S_i) y el comportamiento promedio de las cruzas en que interviene cada progenitor en dos épocas de evaluación. Se puede notar que las líneas LN-1, LN-5 y LN-7 presentaron valores mayores y positivos de ACG (S_i) con 0.40, 0.06, 0.11 y 0.50, 0.07, 0.23 t/ha con los mayores rendimiento promedio de las cruzas en que interviene cada progenitor de 5.41, 5.07, 5.12 y 5.53, 5.10, 5.26 t/ha en las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal en la época de primera, mientras que en la época de postrera en la localidad de San Cristóbal las líneas LN-9, LN-13 y LN-15 mostraron valores mayores y positivos de ACG (S_i) con 0.27, 0.17 y 0.07 t/ha con los mayores rendimiento promedio de las cruzas en que interviene cada progenitor de 4.19, 4.09 y 3.99 t/ha.

Sin embargo, la línea LN-5 presentó valores positivos en las dos épocas de siembra y las dos localidades de evaluación con 0.06, 0.07 y 0.05 con rendimiento promedio de 5.07, 5.10 y 3.97 t/ha, el resto de las líneas presentaron valores negativos. Los valores mayores y positivos de ACG (S_i) obtenidos señalan la capacidad que poseen las líneas para combinarse con otras y dar origen a individuos con características superiores a los progenitores, es decir, indica la cuantía de los efectos genéticos aditivos que son aprovechados en el mejoramiento poblacional (Márquez, 1988).

Cuadro 10. Estimación de los efectos de ACG (S_i) promedios por localidad de las 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Progenitor	Santa Rosa A		San Cristóbal A		San Cristóbal B	
	S_i	Pr C	S_i	Pr C	S_i	Pr C
LN-1	0.40	5.41	0.50	5.53	- 0.36	3.56
LN-3	0.01	5.02	- 0.09	4.94	- 0.02	3.90
LN-5	0.06	5.07	0.07	5.10	0.05	3.97
LN-7	0.11	5.12	0.23	5.26	- 0.14	3.78
LN-9	- 0.01	5.00	0.12	5.15	0.27	4.19
LN-11	- 0.20	4.81	- 0.02	5.01	- 0.04	3.88
LN-13	- 0.06	4.95	- 0.27	4.76	0.17	4.09
LN-15	- 0.31	4.70	- 0.54	4.49	0.07	3.99
Total	0.00	40.08	0.00	40.24	0.00	31.36
Media t/ha		5.01		5.03		3.92

S_i = Aptitud Combinatoria General

A = Época de primera

B = Época de postrera

Pr C = Promedio de las cruza en que interviene cada progenitor.

En el análisis combinado (Cuadro 11), que involucra las épocas de primera (Santa Rosa A y San Cristóbal A) y postrera (San Cristóbal B) se determinó que las líneas LN-1, LN-5, LN-7 y LN-9 presentaron valores mayores y positivos de ACG (S_i) con 0.17, 0.06, 0.07 y 0.13 con los mayores rendimiento promedio de las cruza en que interviene cada progenitor de 4.82, 4.71, 4.72 y 4.78 t/ha, lo que refleja que los efectos genéticos aditivos de esas líneas fueron más estables a través de localidades y época de siembra. Es evidente que el rendimiento es un carácter genético controlado por muchos genes razón por la cual es influenciado por el ambiente (Urbina y Bruno, 1991). Es importante señalar que al cruzar una línea de menor aptitud combinatoria general con otra de mayor aptitud combinatoria general, los híbridos tienden a rendir tanto como si se derivara de cruzamientos entre líneas con mayor aptitud combinatoria general, esto concuerda con lo expresado por Vasal (1992) que en algunos casos padres (líneas) con valores menores y negativos de ACG presentan valores mayores y positivos de ACE resultando híbridos altamente productivos.

Cuadro 11. Análisis combinado de los efectos de ACG (S_i) de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ y promedios (t/ha) de las 28 cruzas simples en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Progenitor	Análisis Combinado	
	S_i	Pr C
LN-1	0.17	4.82
LN-3	- 0.03	4.62
LN-5	0.06	4.71
LN-7	0.07	4.72
LN-9	0.13	4.78
LN-11	- 0.08	4.57
LN-13	- 0.06	4.59
LN-15	- 0.26	4.39
Total	0.00	37.20
Media t/ha		4.65

S_i = Aptitud Combinatoria General.

Pr C = Promedio de las cruzas en que interviene cada progenitor.

6.3 Estimación de los Efectos de Aptitud Combinatoria Especifica (S_{ij}).

En el Cuadro 12 se presentan las estimaciones de los efectos de ACE (S_{ij}) para la variable rendimiento de las cruzas simples de la serie dialélica determinados en las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal en la época de primera y San Cristóbal en la época de postrera. Las cruzas simples (LN-1 x LN-5), (LN-1 x LN-7), (LN-3 x LN-15), (LN-7 x LN-9), (LN-7 x LN-11) y (LN-7 x LN-15) presentaron valores mayores y positivos de ACE (S_{ij}) para las localidades de Santa Rosa y San Cristóbal en la época de primera y la localidad de San Cristóbal en la época de postrera. Se puede notar que las cruzas simples evaluadas en la época de primera presentan un comportamiento superior al de la época de postrera. Esta situación probablemente se deba a que en la época de primera es considerada la de mayor producción de maíz, por presentar ésta buena distribución de las lluvias, menor incidencia de plagas y enfermedades y factores climáticos favorables; en cambio en la época de postrera las condiciones ambientales son adversas debido a una mayor afectación por la irregularidad de las precipitaciones, mayor incidencia de plagas y presencia de la enfermedad del achaparramiento esto para toda la zona del Pacífico y región Central Norte del país (Espinoza *et al.*, 1999; Urbina, y Bruno, 1991).

Esto conlleva a diferir que el comportamiento de cada cruce fue afectado por factores ambientales, como lo muestran los valores negativos de ACE (S_{ij}) obtenidos en la época de postrera.

Cuadro 12. Rendimiento promedio (t/ha) y estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica ACE (S_{ij}) de 28 cruces simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Cruzas	Santa Rosa A		San Cristóbal A		San Cristóbal B	
	t/ha	S_{ij}	t/ha	S_{ij}	t/ha	S_{ij}
(LN-1 x LN-3)	4.05	0.07	4.47	0.44	3.60	- 0.13
(LN-1 x LN-5)	5.03	1.09	4.45	0.38	4.08	0.42
(LN-1 x LN-7)	4.13	0.23	4.07	0.30	3.58	0.04
(LN-1 x LN-9)	3.12	- 0.88	2.70	- 1.16	3.87	0.39
(LN-1 x LN-11)	3.95	- 0.08	3.82	- 0.26	3.09	- 0.64
(LN-1 x LN-13)	3.98	- 0.07	4.05	- 0.15	3.67	- 0.03
(LN-1 x LN-15)	3.39	- 0.73	3.59	- 0.84	3.92	0.28
(LN-3 x LN-5)	4.42	0.16	4.14	- 0.14	3.54	0.19
(LN-3 x LN-7)	2.59	- 1.63	2.93	- 1.25	3.84	0.61
(LN-3 x LN-9)	5.12	0.80	4.84	0.57	2.42	- 0.75
(LN-3 x LN-11)	4.32	- 0.03	4.31	- 0.08	3.81	0.39
(LN-3 x LN-13)	4.64	0.27	5.10	0.49	3.09	- 0.30
(LN-3 x LN-15)	4.82	0.38	4.89	0.05	3.33	0.00
(LN-5 x LN-7)	3.51	- 0.67	2.97	- 1.05	2.89	- 0.27
(LN-5 x LN-9)	3.41	- 0.87	3.98	- 0.13	3.19	0.09
(LN-5 x LN-11)	4.79	0.48	4.66	0.43	3.21	- 0.14
(LN-5 x LN-13)	4.27	- 0.06	4.55	0.10	3.30	- 0.02
(LN-5 x LN-15)	4.25	- 0.15	4.69	0.01	2.96	- 0.30
(LN-7 x LN-9)	4.70	0.46	4.02	0.01	3.34	0.36
(LN-7 x LN-11)	4.51	0.24	4.61	0.48	4.12	0.89
(LN-7 x LN-13)	5.10	0.81	5.11	0.76	2.86	- 0.34
(LN-7 x LN-15)	4.86	0.50	5.07	0.49	3.70	0.56
(LN-9 x LN-11)	4.96	0.59	4.52	0.30	2.71	- 0.46
(LN-9 x LN-13)	3.92	- 0.47	4.19	- 0.25	3.44	0.30
(LN-9 x LN-15)	4.87	0.41	5.19	0.52	2.92	- 0.16
(LN-11 x LN-13)	3.76	- 0.66	3.61	- 0.95	3.79	0.40
(LN-11 x LN-15)	3.99	0.50	4.77	- 0.02	2.93	- 0.40
(LN-13 x LN-15)	4.78	0.27	5.24	0.23	3.29	- 0.01
Media t/ha	4.26		4.32		3.34	

Esta situación indica que valores menores de varianza de ACE (S_{ij}) para una línea dada, esa línea es muy pareja para transmitir a sus F_1 las características que mide esa varianza; por otro lado, valores alto o mayores indica que la línea en algunos de sus cruzamientos con algunas otras líneas tiene un mayor rendimiento de lo esperado y con otras menores rendimientos. Estos resultados concuerda con los resultados por González *et al.*, 1998 donde señala que las cruza simples (203 x 208) y (208 x 218) presentaron los mayores rendimientos de grano 7.46 y 7.12 t/ha lo que en parte se debe a los valores mayores y positivos de ACG y ACE lo que destaca la importancia de los efectos genéticos aditivos y de dominancia presente en los progenitores y de ambas cruza.

En el análisis combinado (Cuadro 13) se determinó 21 cruza simples con valores positivos de ACE (S_{ij}) que osciló entre 0.05 y 0.76 t/ha y 7 cruza simples con valores negativos que osciló entre - 0.09 y - 0.80 t/ha, lo cual es un indicativo del aprovechamiento que puede o no hacerse de los genotipos evaluados de incluirlos en estudios de mejoramiento. Sin embargo, las cruza (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-11), (LN-7 x LN-15) y (LN-13 x LN-15) con rendimiento de grano de 4.52, 4.42, 4.55 y 4.44 t/ha y valores positivos de ACE (S_{ij}) (0.69, 0.63, 0.76 y 0.08 t/ha) fueron los más promisorios en cuanto a su comportamiento agronómico.

Es importante indicar que se puede expresar un rendimiento inferior con el cruce entre líneas de baja aptitud combinatoria general, pero cuando se cruzan líneas de alta aptitud combinatoria general los rendimientos son mayores.

Al cruzarse una línea de baja aptitud con otra de alta aptitud los híbridos rinden como si se derivaran de cruzamientos entre líneas con alta aptitud combinatoria, esto concuerda con lo expresado por Dardón (1980) que no necesariamente las líneas más rendidoras con alta aptitud combinatoria general producen híbridos más rendidores o viceversa.

Cuadro 13. Análisis combinado de los efectos de aptitud combinatoria específica ACE (S_{ij}) para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ en que interviene cada progenitor. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Cruzas	S_{ij}	Rendimiento t/ha
(LN-1 x LN-3)	0.21	4.04
(LN-1 x LN-5)	0.69	4.52
(LN-1 x LN-7)	0.09	3.92
(LN-1 x LN-9)	-0.60	3.23
(LN-1 x LN-11)	-0.21	3.62
(LN-1 x LN-13)	0.07	3.90
(LN-1 x LN-15)	0.20	3.63
(LN-3 x LN-5)	0.11	4.03
(LN-3 x LN-7)	-0.80	3.12
(LN-3 x LN-9)	0.21	4.13
(LN-3 x LN-11)	0.23	4.15
(LN-3 x LN-13)	0.36	4.28
(LN-3 x LN-15)	0.42	4.34
(LN-5 x LN-7)	-0.71	3.12
(LN-5 x LN-9)	-0.30	3.53
(LN-5 x LN-11)	0.39	4.22
(LN-5 x LN-13)	0.21	4.04
(LN-5 x LN-15)	0.14	3.97
(LN-7 x LN-9)	0.23	4.02
(LN-7 x LN-11)	0.63	4.42
(LN-7 x LN-13)	0.57	4.36
(LN-7 x LN-15)	0.76	4.55
(LN-9 x LN-11)	0.12	4.06
(LN-9 x LN-13)	-0.09	3.85
(LN-9 x LN-15)	0.39	4.33
(LN-11 x LN-13)	-0.46	3.72
(LN-11 x LN-15)	0.05	4.23
(LN-13 x LN-15)	0.08	4.44
Media t/ha		3.99

6.4 Análisis Dialélico

Se menciona que el método más preciso para estimar la ACG (S_i) y ACE (S_{ij}) es la técnica del análisis de cruza dialélicas la cual esta basada en el calculo de las varianzas respectivas.

Esta modalidad de análisis es muy útil para diseñar modelos y/o programa de mejoramiento de diversas variedades que intervengan como progenitores en las cruza dialélicas, pues la estimación del tipo de aptitud combinatoria más sobresaliente, para cada progenitor, puede expresarse en función del tipo de acción de los genes; así, la ACG (S_i) dependerá en gran parte de la acción aditiva, en cambio la ACE (S_{ij}) dependerá de las desviaciones de la acción aditiva (dominancia, epistásis y otros), (Márquez, 1988).

En el Cuadro 14 se indica el análisis dialélico por localidad de las 28 cruza simples que intervienen en este estudio. En las localidades de Santa Rosa A y San Cristóbal A en la época de primera la estimación de la ACG (S_i) y ACE (S_{ij}) presentó diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.01$) en cambio en postrera (San Cristóbal B) no hubo diferencias significativas. En cuanto a la alta significancia de la ACE (S_{ij}) se determinó que algunas líneas, al combinarse dieron como resultado cruza que fueron significativas al $\alpha = 0.01$, con un comportamiento mayor o similar al esperado a la ACG de sus padres

Cuadro 14. Análisis dialélico por localidad a través del diseño IV de Griffing, (1956), (Martínez, 1983) en arreglos de bloques completo al azar para variable rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

FV	GL	Cuadrados Medios		
		Santa Rosa A	San Cristóbal A	San Cristóbal B
Localidades	3	0.562	1.105	0.717
Cruzas	27	1.750	1.882	0.716
ACG	7	0.278 **	0.614 **	0.210 NS
ACE	20	0.493 **	0.420 **	0.185 NS
Error	81	0.076	0.099	0.274

NS = No Significativo
 A = Epoca de Primera
 B = Epoca de Postrer
 ** = Significativo al $\alpha=0.01$

Este comportamiento probablemente se deba a que cada progenitor donde intervienen en cada cruce, poseen frecuencias genéticas diferentes que se han acumulado durante el proceso de mejoramiento. La no significancia probablemente se debió a que las 8 líneas cuando se combinaron para obtener las cruces posibles, mostraron en promedio un comportamiento igual a su capacidad de ACG esto para la evaluación realizada en postrera, donde se acusa el más bajo comportamiento de las cruces.

Por otra parte, se determinó que la ACE fue superior en 0.215 a la ACG en la evaluación realizada en Santa Rosa en la época de primera; en cambio en San Cristóbal la ACG fue ligeramente superior (0.194) a la ACE en la misma época. Esto se debe a que la ACG en el maíz es relativamente más estable en localidades y años que la ACE. Esta situación parece indicar que las líneas en estudio pueden utilizarse en un programa de hibridación lo que permitirá la generación de híbridos nacionales de buen potencial de rendimiento.

Por su parte, Queme *et al* (1991) evaluaron líneas con 0.87 y 0.98% de endogamia con las que se formaron cruces dialélicas, ellos señalan que el 77% de las cruces simples en S_3 presentaron valores positivos de aptitud combinatoria específica, donde los rendimientos de las cruces fueron 8.0 t/ha lo que es un buen indicador para la utilización de las líneas en un programa de hibridación. Asimismo, Castellanos *et al* (1987) determinaron diferencias significativas de ACG y ACE al evaluar 8 líneas S_3 donde el progenitor 2221-21 mostró ACG positiva de 0.47 t/ha siendo su mejor combinación con la línea 2227-28 la que obtuvo rendimientos de 6.2 t/ha.

En lo que se refiere al análisis dialélico combinado (Cuadro 15) se determinó diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$) para ACG (S_y) y ACE (S_{ij}) similar comportamiento se presentó en las fuentes de variación ACG x Loc y ACE x Loc por lo tanto se acepta la hipótesis donde las cruces simples evaluadas presentan diferentes aptitud combinatoria general y específica ya que en el rendimiento de grano de las cruces simples son importantes tanto los efectos de aptitud combinatoria general como los efectos de aptitud combinatoria específica.

Estos resultados muestran que los efectos genéticos no aditivos son influenciados fuertemente por el ambiente debido a que sus componentes están determinados por muchos genes que ejercen acciones diferentes.

Cuadro 15. Análisis dialélico combinado para variable rendimiento de grano de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Localidades	2	63.912	31.956
Repetición x Localidad	9	7.152	0.795
Cruzas	27	51.159	1.895
ACG	7	10.544	1.506 **
ACE	20	40.612	2.031 **
Cruzas x Localidad	54	67.581	1.251
ACG x Loc	14	18.377	1.313 **
ACE x Loc	40	47.268	1.182 **
Error	251	145.309	0.598

** = Significativo al $\alpha = 0.01$

NS = No significativo

La alta significancia era de esperarse debido a que las épocas influyeron en la expresión de la ACG y ACE de las líneas y las cruzas simples en evaluación. En este mismo cuadro se observa que la ACE fue superior a la ACG lo que es un buen indicador para el aprovechamiento de las líneas en un programa de hibridación.

6.5 Determinación de Heterosis

La heterosis se define como la diferencia entre la F₁ y el promedio de sus progenitores donde no siempre significa aumento del carácter de la F₁ por lo que puede ser positiva (carácter de la F₁ aumenta) y/o negativa (disminución del carácter en la F₁). La heterosis se aplica a genes de herencia cuantitativa y en algunos casos a caracteres cualitativos. En caracteres de herencia cuantitativa la expresión de la heterosis es compleja por los efectos acumulativos de genes con dominancia, sobredominancia y aditividad; por lo que la heterosis se debe a la sumatoria de todos los genes que intervienen en la acción de genes inter-alélicos e intra-alélicos, (Robles, 1986). En este estudio se estimaron los valores de heterosis con el objetivo de determinar cual

y/o cuales cruza simples poseen porcentajes aceptables de ganancias en el carácter rendimiento de grano. En el Cuadro 16 se presentan los valores estimados de heterosis de las 28 cruza dialélicas en estudio, evaluados en la época de primera en la localidad de Santa Rosa. En la parte superior de la tabla (valores arriba de la diagonal) se indica la heterosis con respecto a la media de los progenitores y en la misma tabla en la parte inferior (valores debajo de la diagonal) la media con respecto al mejor progenitor. Los resultados muestran que las cruza simples (LN-1 x LN-5), (LN-3 x LN-9), (LN-7 x LN-9) y (LN-7 x LN-13) con 228.6, 209.0, 200.0 y 212.54% fueron las que presentaron mayor porcentajes de heterosis, esto concuerda con lo expuesto por Robles, (1986) donde el vigor híbrido de las cruza simples supera al vigor promedio de ambos progenitores.

En el mismo Cuadro se observa que la heterosis determinada con relación a la media del mejor progenitor (valores debajo de la diagonal) estas mismas cruza acusaron los mayores porcentajes, es decir, el vigor híbrido o manifestación del híbrido supera a la expresión del mejor de sus progenitores, (Robles, 1986).

Cuadro 16. Heterosis estimada de 28 cruza dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ evaluadas en Santa Rosa, Nicaragua. Primera, 2000.

	LN-1	LN-3	LN-5	LN-7	LN-9	LN-11	LN-13	LN-15
LN-1	_____	168.8	228.6	179.6	132.8	154.9	165.8	138.0
LN-3	162.0	_____	192.2	107.9	209.0	163.0	185.6	189.0
LN-5	218.7	176.8	_____	159.5	151.5	195.5	185.7	180.8
LN-7	179.6	103.6	152.6	_____	200.0	176.9	212.5	198.4
LN-9	130.0	204.8	142.1	195.8	_____	190.8	160.0	194.8
LN-11	141.1	154.3	171.1	161.1	177.1	_____	141.9	147.8
LN-13	159.2	185.6	170.8	204.0	156.8	134.3	_____	187.5
LN-15	130.0	185.4	163.5	186.9	187.3	142.5	183.8	_____

% Heterosis media con respecto a la media de los progenitores (arriba de la diagonal)

% Heterosis media con respecto al progenitor más rendidor (abajo de la diagonal)

Es importante señalar que existen ganancias significativas en el rendimiento lo que se comprueba al obtener porcentajes superiores al 100% y permite también señalar que existe evidencia del potencial productivo de cada cruza simple. En el Cuadro 17 se anotan los valores estimados de heterosis en la evaluación realizada en San Cristóbal en la época de primera donde

se determinó que las cruza simples (LN-7 x LN-13), (LN-7 x LN-15), (LN-9 x LN-15) y (LN-13 x LN-15) con 213.0, 206.9, 207.6 y 205.5% de heterosis, fueron las de mejor comportamiento. Es importante indicar que las cruza simple (LN-7 x LN-13) anotada fue la que sobresalió en la evaluación de Santa Rosa y San Cristóbal en la época de primera, lo que refleja su buen comportamiento.

Cuadro 17. Heterosis estimada de 28 cruza dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Primera, 2000.

	LN-1	LN-3	LN-5	LN-7	LN-9	LN-11	LN-13	LN-15
LN-1		186.2	202.3	177.0	114.9	149.8	168.7	146.5
LN-3	178.8		180.0	122.1	197.5	162.6	204.0	191.8
LN-5	193.5	165.6		135.0	176.9	190.2	197.8	199.6
LN-7	177.0	117.2	129.1		171.1	180.8	213.0	206.9
LN-9	112.5	193.6	165.8	167.5		173.8	171.0	207.6
LN-11	136.4	153.9	166.4	164.6	161.4		136.2	176.7
LN-13	162.0	204.0	182.0	204.4	167.6	128.9		205.5
LN-15	138.1	188.1	180.4	195.0	199.6	170.4	201.5	

% Heterosis media con respecto a la media de los progenitores (arriba de la diagonal)

% Heterosis media con respecto al progenitor más rendidor (abajo de la diagonal)

En lo que respecta la evaluación realizada en la localidad de San Cristóbal en la época de postrera, (Cuadro 18) se determinó porcentajes menores de heterosis, sin embargo, las cruza simples (LN-1 x LN-5), (LN-5 x LN-13), (LN-7 x LN-13) y (LN-7 x LN-15) con valores de 205.0, 175.7, 181.7 y 185.7% fueron las que presentaron los mayores porcentajes de heterosis.

Cuadro 18. Heterosis estimada de 28 cruza dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ evaluadas en San Cristóbal, Nicaragua. Postrera. 2000.

	LN-1	LN-3	LN-5	LN-7	LN-9	LN-11	LN-13	LN-15
LN-1		168.3	205.0	170.4	137.4	142.0	162.5	148.2
LN-3	161.6		175.2	130.0	169.0	156.6	171.2	170.2
LN-5	196.1	161.2		141.8	156.9	172.2	175.7	170.2
LN-7	170.4	124.8	135.6		171.1	173.3	181.7	185.7
LN-9	134.6	168.2	147.1	167.5		156.2	157.1	173.2
LN-11	129.3	148.2	150.7	157.9	145.0		140.4	156.7
LN-13	156.0	171.2	161.6	174.4	154.0	132.9		174.1
LN-15	139.6	166.9	153.8	175.0	166.5	151.1	170.8	

% Heterosis media con respecto a la media de los progenitores (arriba de la diagonal)

% Heterosis media con respecto al progenitor más rendidor (abajo de la diagonal)

En el análisis combinado de las épocas de evaluación se presenta en el Cuadro 19 donde las cruza simples de mejor comportamiento fueron (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-13), (LN-7 x LN-15) y (LN-9 x LN-15) con valores de 202.7, 179.4, 184.2 y 175.3% de heterosis. Es importante señalar que estas mismas cruza sobresalieron en las evaluaciones por localidad las que fueron superiores al resto de las cruza simples. En este mismo análisis se determinó que en la heterosis determinada con respecto al mejor progenitor (debajo de la diagonal), las cruza simples (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-13) y (LN-7 x LN-15) presentaron valores superiores de 194.8, 173.0 y 174.3% al evaluarlas con relación a este criterio. Por ello, Márquez, (1988) señala que generalmente no existen efectos genotípicos recíprocos, debido a que en maíz no hay, en general, diferencia entre los cruza (axb) y (bxa) (directos y recíprocos), en este estudio se detectaron resultados similares.

Cuadro 19. Análisis combinado de Heterosis estimada de 28 cruza dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

	LN-1	LN-3	LN-5	LN-7	LN-9	LN-11	LN-13	LN-15
LN-1	_____	167.6	202.7	168.2	138.0	140.9	161.2	147.0
LN-3	161.6	_____	173.7	128.9	170.0	156.0	170.5	169.5
LN-5	194.8	161.2	_____	139.9	156.9	170.6	173.4	167.5
LN-7	168.2	124.8	133.9	_____	171.1	172.0	179.4	184.2
LN-9	136.9	165.2	149.6	170.3	_____	156.8	157.8	175.3
LN-11	128.8	147.7	150.2	157.3	144.5	_____	139.3	156.1
LN-13	154.8	169.8	160.3	173.0	152.8	132.4	_____	156.1
LN-15	139.1	166.3	152.1	174.3	165.9	150.5	170.1	_____

% Heterosis media con respecto a la media de los progenitores (arriba de la diagonal)

% Heterosis media con respecto al progenitor más rendidor (abajo de la diagonal)

6.6 Predicciones de Híbridos Dobles

Con base a los resultados obtenidos y haciendo uso de la fórmula ($CD_{ijkl} = \frac{1}{4} (CS_{ik} + CS_{il} + CS_{jk} + CS_{jl})$) del modelo dos de Jenkins, 1934 (Chávez, 1995), se determinó la estimación de híbridos dobles predichos en los cuales sobresalieron los que se indican en el Cuadro 20. Se tomó como valor de predicción de la cruza doble el promedio de rendimiento de las cuatro cruza simples no parentales, es decir, aquellas que no intervienen como

progenitores de la cruz doble. Con este método se aprovecha tanto la acción génica aditiva como la no aditiva (Eberhart y Cols., 1964.), Chávez, 1995. Posteriormente con base en la predicción se forman las mejores combinaciones para evaluarlas en ensayos de rendimiento y poder así confrontar lo predicho con lo real. Es importante señalar que dichas estimaciones permitieron la generación y selección de híbridos dobles nacionales de buen potencial productivo y con tolerancia al achaparramiento.

Cuadro 20. Híbridos dobles predichos superiores con base a la evaluación de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

Híbridos Dobles Predichos	Rendimiento t/ha	
	Cruzas Dobles	Hembra
(LN-13xLN-15) x (LN-7xLN-9)	4.27	4.44
(LN-7xLN-15) x (LN-9xLN-11)	4.25	4.55
(LN-7xLN-11) x (LN-9xLN-15)	4.22	4.42
(LN-13xLN-15) x (LN-7xLN-11)	4.22	4.44
(LN-7xLN-13) x (LN-9xLN-15)	4.22	4.36
(LN-3xLN-15) x (LN-9xLN-11)	4.21	4.34
(LN-13xLN-15) x (LN-3xLN-9)	4.20	4.44
(LN-9xLN-15) x (LN-3xLN-11)	4.19	4.33
(LN-9xLN-15) x (LN-3xLN-13)	4.19	4.33
(LN-3xLN-15) x (LN-5xLN-13)	4.18	4.34
Media t/ha	4.21	4.40

VII. CONCLUSIONES

1. El análisis dialélico combinado presentó diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$) para ACG (S_i) y ACE (S_{ij}) para cada tratamiento en cada localidad y a través de ellas, lo que indica que algunas líneas al combinarse dieron como resultado cruzas con un comportamiento mayor o similar al esperado en la ACG de los padres.
2. Las líneas LN-1, LN-5, LN-7 y LN-9, con valores positivos de ACG de 0.17, 0.06, 0.07 y 0.13 t/ha presentaron los valores mayores y positivos de ACE para combinarse con líneas élites.
3. Las cruzas simples (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-11) y (LN-7 x LN-15) presentaron valores mayores y positivos de ACE (0.68, 0.63 y 0.76 t/ha), lo que es un buen indicador para aprovechar mejor los efectos de genes dominantes que se manifiestan en la heterosis.
4. Las cruzas simples (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-13) y (LN-7 x LN-15) presentaron los mayores valores de heterosis (202.7, 179.4 y 184.2 %) para el carácter rendimiento de grano.
5. Las cruzas simples (LN-1 x LN-5), (LN-7 x LN-15) y (LN-13 x LN-15) tienen buen potencial para ser cruzada con otras cruzas simples de diferente origen ya que presentaron rendimiento de grano de 4.52, 4.55 y 4.44 t/ha).

VIII. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados obtenidos y considerando la importancia de este estudio cuyo efecto tiene aplicación práctica se establecen las siguientes recomendaciones.

1. Continuar con los trabajos de mejoramiento genético con el objetivo de generar líneas promisorias para la generación de híbridos nacionales.
2. Utilizar las cruzas simples (LN-7 x LN-11), (LN-7 x LN-15) y (LN-1 x LN-5) como hembras para la formación de híbridos triples y/o dobles, ya que presentaron buena producción de semilla.
3. Combinar las mejores cruzas simples con cruzas formadas con líneas de poblaciones divergentes para obtener mayores efectos heteróticos.

IX. LITERATURA CITADA

- Allard, RW. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. Ed. Omega, S. A. 56 p.
- Castellanos, S., Córdova, H., Quemé, J. L., Larios, L. y Pérez C. 1987. Aptitud combinatoria y predicción de híbridos de cruces dialélicos entre líneas S3 evaluadas en cuatro localidades de Guatemala. *En: XXXIII. Resumen PCCMCA, Guatemala. Guatemala. C. A.*
- Castellanos *et al.*, 1992. Evaluación de cruzas dialélicas y estimación de aptitud combinatoria de diez líneas de maíz de grano amarillo. Síntesis de Resultados Experimentales. PRM, volumen 4. 1993. pp. 53 -56.
- Córdova, H. 1990. Respuesta diferenciales para rendimiento de híbridos de maíz evaluados en ambientes contrastantes de Latinoamérica. PCCMCA. 14 p.
- Chávez A., J.L. 1995. Mejoramiento de plantas 2. Métodos Específicos de Plantas Alógamas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. D.F. pp. 89-96.
- Dardon M., A. 1980. Aptitud combinatoria general y específica de 10 poblaciones de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Mag. Sc. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 66 p.
- Espinoza, A., Urbina, R., Obando, R. y Vanegas, J.A. 1996. Guía Tecnológica 4. Cultivo del Maíz. INTA. Managua, Nicaragua. 22 p.
- González H., A., J. Sohagun C. y J. Pérez L. 1998. Estudio de ocho líneas de maíz (*Zea mays* L.) en un dialélico incompleto. *En: XVII. Congreso de Fitogenética. Acapulco, México. p 229.*
- Larios *et al.*, 1990. Estimación de aptitud combinatoria general de líneas de maíz (*Zea mays* L.) en tres localidades. Resumen Anual PCCMCA. Memoria Volumen I. El Salvador, San Salvador. pp. 1-11.
- Márquez S., F. 1988. Genética vegetal. Tomo II, A.G.T. Ed. S.A. México.
- Martínez G., A. 1983. Diseño y análisis de los experimentos de cruzas dialélicas. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados. ENA. 223 p.
- Martínez G., A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. México, D.F. pp 118 – 160.
- Molina G., J.D. y R. Lobato O. 1998. La aptitud combinatoria general de líneas autofecundadas de maíz en la estimación de heterosis. *En: XVII. Congreso de Fitogenética. Acapulco, México. p. 259.*

- Ortiz C., J. y M. Mendoza C. 1998. Mejoramiento de los componentes de rendimiento de líneas elites de maíz de Valles Altos por retrocruzamiento. *En: XVII. Congreso de Fitogenética. Acapulco, México. 228 p.*
- Oyervides G., H. 1979. Estimación de los parámetros genéticos, heterosis e índice de selección de variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México, D.F. 46 p.
- Quemé de L., J.L., L. Larios, C. Pérez, N. Soto y H. Córdova. 1991. Aptitud combinatoria de líneas de maíz (*Zea mays* L.) en diferentes grado de endogamia derivadas de cuatro familias de hermanos completos progenitores de un híbrido doble. *En: XXXVII. Reunión Anual del PCCMCA. Panamá, Panamá. 10 p.*
- Quemé de L., J.L. 1982. Determinación de aptitud combinatoria general y específica para rendimiento de seis progenitores de híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. 64 p.
- Robles S., R. 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. México, D. F.
- Urbina., R. 1986. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz (*Zea mays* L.) seleccionadas para resistencia al achaparramiento. *En: XXXII Reunión Anual del PCCMCA. San Salvador, El Salvador. 15 p.*
- Urbina., R. y Bruno, A. 1991. Estabilidad del rendimiento de cultivares de maíz en ambientes contrastantes de Nicaragua. CNIGB. Managua, Nicaragua. 19 p.
- Vallejo., H.L., M. Falcon C. y J. Ramírez D. 1998. Aptitud combinatoria general de líneas elites de maíz de ciclo tardío en la región templada de Michoacán. *En: XVII. Congreso de Fitogenética. Acapulco, México. p. 245.*
- Sprague G. F. And L. A. Tatum. 1942. Genral versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agrom. Pp. 923 - 932.*
- Vasal, S. K., *et al* 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYTS tropical late with maize germplasm. *Maydica. Pp 227 – 223.*

X. ANEXOS

Anexo 1

Cuadro 21. Características agronómicas de 28 cruzas dialélicas provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera – Postrera, 2000.

CRUZAS	DFM	DFE	AIPI	AlMz	%AcRa	%AcTa	%PIAch	%MzAch	%MzPo	kg/ha
(LN-1 x LN-3)	54	56	190.6	97.2	18.9	0.9	6.4	0.0	3.0	4041
(LN-1 x LN-5)	54	55	184.7	98.2	5.9	0.4	5.9	0.0	3.4	4518
(LN-1 x LN-7)	53	53	187.0	96.7	1.0	1.7	8.1	0.3	4.1	3923
(LN-1 x LN-9)	53	53	184.8	95.3	1.3	1.6	9.4	0.0	2.1	3230
(LN-1 x LN-11)	52	53	181.1	95.8	1.9	2.3	10.0	0.4	2.5	3621
(LN-1 x LN-13)	53	54	184.0	94.4	4.1	0.9	4.8	0.0	2.9	3901
(LN-1 x LN-15)	53	54	177.2	93.5	2.3	3.0	5.6	0.0	1.7	3629
(LN-3 x LN-5)	55	55	190.2	99.9	6.6	0.2	4.8	0.0	1.8	4030
(LN-3 x LN-7)	55	56	180.7	94.2	7.7	1.8	6.4	0.2	1.9	3119
(LN-3 x LN-9)	54	55	180.6	93.2	4.6	0.9	8.4	0.4	2.4	4125
(LN-3 x LN-11)	53	54	181.7	93.7	2.7	1.0	6.2	0.0	3.6	4148
(LN-3 x LN-13)	53	53	192.3	96.8	4.4	2.3	8.2	0.0	2.4	4276
(LN-3 x LN-15)	54	54	185.7	94.2	4.5	0.6	9.7	0.0	1.8	4344
(LN-5 x LN-7)	53	53	176.2	94.3	3.0	1.9	10.5	0.0	5.5	3123
(LN-5 x LN-9)	53	54	191.3	97.2	2.6	1.8	6.6	0.0	3.1	3527
(LN-5 x LN-11)	53	54	186.1	97.2	1.8	2.3	5.7	0.2	1.7	4219
(LN-5 x LN-13)	53	54	182.8	92.5	6.9	3.2	5.4	0.0	1.4	4040
(LN-5 x LN-15)	53	53	185.5	96.1	3.5	3.2	7.0	0.0	0.9	3965
(LN-7 x LN-9)	54	55	181.4	96.6	2.9	1.3	10.3	0.6	0.9	4021
(LN-7 x LN-11)	53	54	194.3	100.7	11.4	3.2	8.0	0.0	1.7	4415
(LN-7 x LN-13)	53	53	181.1	94.1	6.0	2.7	7.7	0.0	1.5	4357
(LN-7 x LN-15)	53	54	191.7	98.9	12.9	0.9	4.7	0.9	3.5	4545
(LN-9 x LN-11)	54	55	179.5	93.6	8.6	2.2	8.8	0.4	4.0	4064
(LN-9 x LN-13)	53	54	188.2	96.7	7.6	1.8	6.3	0.0	2.8	3852
(LN-9 x LN-15)	53	54	187.3	92.7	8.8	3.2	8.2	0.0	1.7	4327
(LN-11 x LN-13)	54	55	187.1	92.7	9.1	0.7	4.3	0.0	2.8	3717
(LN-11 x LN-15)	54	54	186.3	93.1	4.4	1.8	8.7	0.0	3.9	4233
(LN-13 x LN-15)	53	54	183.4	93.2	3.0	2.1	5.3	1.4	3.0	4435
Media	53	54	185.0	95.0	5.7	1.8	7.2	0.2	2.6	3991
CV (%)	1.9	2.2	5.7	8.1						19

DFM = Días a flor masculina
 DFE = Días a flor femenina
 AIPI = Altura de planta (cm)
 AlMz = Altura de mazorca (cm)
 %AcRa = Porcentaje de acame de raíz.
 %AcTa = Porcentaje de acame de tallo
 %PIAch = Porcentaje de plantas achaparradas.
 %MzAch = Porcentaje de mazorcas achaparradas
 %MzPo = Porcentaje de mazorcas podridas.
 kg/ha = Rendimiento de grano al 15% de humedad

Anexo 2

Cuadro 22. Estadísticos promedios de rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruza simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ evaluados en Santa Rosa, Nicaragua. Primera, 2000.

Genealogía	Rendimiento (t/ha)
(LN-3 x LN-9)	5.12
(LN-7 x LN-13)	5.10
(LN-17 x LN-5)	5.03
(LN-11 x LN-15)	5.00
(LN-9 x LN-11)	4.96
(LN-9 x LN-15)	4.87
(LN-7 x LN-15)	4.86
(LN-3 x LN-15)	4.82
(LN-5 x LN-11)	4.79
(LN-13 x LN-15)	4.78
(LN-7 x LN-9)	4.70
(LN-3 x LN-13)	4.64
(LN-7 x LN-11)	4.51
(LN-3 x LN-5)	4.42
(LN-3 x LN-11)	4.32
(LN-5 x LN-13)	4.27
(LN-5 x LN-15)	4.25
(LN-1 x LN-7)	4.13
(LN-1 x LN-3)	4.05
(LN-1 x LN-13)	3.98
(LN-1 x LN-11)	3.95
(LN-9 x LN-13)	3.92
(LN-11 x LN-13)	3.76
(LN-5 x LN-7)	3.51
(LN-5x LN-9)	3.41
(LN-1x LN-15)	3.38
(LN-1x LN-9)	3.12
(LN-3x LN-7)	2.59
Media t/ha	4.26

Anexo 3

Cuadro 23. Estadísticos promedios de rendimiento de grano de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz evaluados en San Cristóbal, Nicaragua. Primera. 2000.

Genealogía	Rendimiento (t/ha)
(LN-13 x LN-15)	5.24
(LN-9 x LN-15)	5.19
(LN-7 x LN-13)	5.11
(LN-3 x LN-13)	5.10
(LN-7 x LN-15)	5.07
(LN-3 x LN-15)	4.89
(LN-3 x LN-9)	4.84
(LN-11 x LN-15)	4.77
(LN-5 x LN-15)	4.69
(LN-5 x LN-11)	4.66
(LN-7 x LN-11)	4.61
(LN-5 x LN-13)	4.55
(LN-9 x LN-11)	4.52
(LN-1 x LN-3)	4.47
(LN-1 x LN-5)	4.45
(LN-3 x LN-11)	4.31
(LN-9 x LN-13)	4.19
(LN-3 x LN-5)	4.14
(LN-1 x LN-7)	4.07
(LN-1 x LN-13)	4.05
(LN-7 x LN-9)	4.02
(LN-5 x LN-9)	3.98
(LN-1 x LN-11)	3.82
(LN-11 x LN-13)	3.61
(LN-1 x LN-15)	3.59
(LN-5 x LN-7)	2.97
(LN-3 x LN-7)	2.93
(LN-1 x LN-9)	2.70
Media t/ha	4.32

Anexo 4

Cuadro 24. Estadísticos promedios de rendimiento de grano (t/ha) de 28 cruzas simples provenientes de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ evaluados en San Cristóbal, Nicaragua. Postrera. 2000.

Genealogía	Rendimiento (t/ha)
(LN-7 x LN-11)	4.12
(LN-1 x LN-5)	4.06
(LN-1 x LN-15)	3.92
(LN-1 x LN-9)	3.87
(LN-3 x LN-7)	3.84
(LN-3 x LN-11)	3.81
(LN-11 x LN-13)	3.79
(LN-7 x LN-15)	3.70
(LN-1 x LN-13)	3.67
(LN-1 x LN-3)	3.58
(LN-1 x LN-7)	3.58
(LN-3 x LN-5)	3.54
(LN-9 x LN-13)	3.44
(LN-7 x LN-9)	3.34
(LN-3 x LN-15)	3.33
(LN-5 x LN-13)	3.30
(LN-13 x LN-15)	3.29
(LN-5 x LN-11)	3.21
(LN-5 x LN-9)	3.19
(LN-1 x LN-11)	3.09
(LN-3 x LN-13)	3.08
(LN-5 x LN-15)	2.96
(LN-11 x LN-15)	2.93
(LN-9 x LN-15)	2.92
(LN-5 x LN-7)	2.89
(LN-7 x LN-13)	2.86
(LN-9 x LN-11)	2.71
(LN-3 x LN-9)	2.42
Media t/ha	3.34

Anexo 5

Cuadro 25. Efectos de ACG (S_i) de 8 líneas de maíz de la Población 76 C₂ y ACE (S_{ij}) de 28 cruzas dialélicas. Santa Rosa, San Cristóbal, Nicaragua. Primera - Postrera, 2000.

Progenitor	LN-1	LN-3	LN-5	LN-7	LN-9	LN-11	LN-13	LN-15	Media	ACG
LN-1	-----	4.04 0.20	4.52 0.79	3.92 0.18	3.23 -0.45	3.62 -0.27	3.90 -0.44	3.63 -0.44	3.84	-0.18
LN-3		-----	4.03 0.10	3.12 -0.82	4.13 0.24	4.15 0.05	4.28 0.15	4.34 0.07	4.01	0.02
LN-5			-----	3.12 -0.71	3.53 -0.25	4.22 0.23	4.04 0.03	3.97 -0.20	3.92	-0.09
LN-7				-----	4.02 0.23	4.42 0.42	4.36 0.33	4.55 0.37	3.93	-0.07
LN-9					-----	4.06 0.13	3.85 -0.11	4.33 0.21	3.88	-0.13
LN-11						-----	3.72 -0.46	4.23 -0.10	4.06	0.08
LN-13							-----	4.44 0.08	4.08	0.11