

***UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”***

***DIVISION DE AGRONOMIA***



***PREDICCION DE CRUZAS DOBLES Y TRIPLES EN MAIZ  
PARA LA REGION SUBTROPICAL DE MEXICO***

***POR:***

***EDUARDO COYOTE VALDEMAR***

***TESIS***

***Presentada como requisito parcial  
Para obtener el Título de:***

***INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION***

***Buenavista, Saltillo Coahuila, México  
Febrero del 2004***

**TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISION DEL COMITÉ PARTICULAR  
DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER ÉL TÍTULO DE**

***INGENIERO AGRONOMO EN PRODUCCION***

**COMITÉ PARTICULAR**

ASESOR PRINCIPAL:

---

Dr. SERGIO ALFREDO RODRIGUEZ HERRERA.

SINODAL:

---

ING. MODESTO COLIN RICO

SINODAL:

---

ING. ADOLFO ORTEGON PEREZ

SIN ODAL:

---

ING. CARLOS ROJAS PEÑA

COORDINADOR DE AGRONOMIA

---

M. C. ARNOLDO OYERVIDES GARCIA

## **AGRADECIMIENTOS**

A **DIOS** por darme la gran dicha de vivir; realizar mis metas, mis sueños, concluirlos y por darme un día mas de vida.

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por haberme permitido forjar parte de mi vida en sus aulas, adoptarme como su hijo y haberme a cobijado en el transcurso de mis estudios, con la esperanza de que sus egresados la hagan grande.

Al **Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera** por su colaboración y apoyo en este trabajo de tesis.

Al **Ing. Adolfo Ortegón Pérez** y al **Ing. Modesto Colín Rico** por su participación en la presentación de este trabajo.

Al **Ing. Carlos Rojas Peña** por haberme brindado apoyo incondicional y su amistad.

A mis compañeros de la generación **XCVI** por todo los momentos que compartimos juntos.

## **DEDICATORIA**

Con respeto, admiración y con mucho cariño a mis padres:

**Anita Valdemar Coyote**

**Marcial Coyote Vázquez**

Por el inmenso amor que han derramado sobre mí, por saber perdonar mis errores y enseñarme a levantar cuando se ha caído; por sus desvelos y fatigas que sin queja han pasado.

A ustedes que sin esperar nada a cambio dan su vida por proporcionar a sus hijos un futuro mejor. Gracias a ustedes que no tengo con que pagarles.

***A mis hermanos (as):***

**Arturo (†)**

**Ofelia**

**Angelina**

**Nicolaza Lorena**

**Verónica**

**Luis Alberto (†)**

Por sus consejos, apoyo incondicional y económico, gracias por ser parte de mi familia puesto que sin su ayuda no habría realizado este trabajo y por ese cariño tan inmenso que nos une como hermanos, enfrentar los problemas juntos y darles solución, es pero que siempre sigamos unidos.

***A mis abuelos:***

**Elizea Coyote (†)**

**Faustina Vázquez (†)**

**Tomas Valdemar Ruiz (†)**

**Olegario Coyote Jaramillo(†)**

Por ser la base de mi familia y por que siempre

***A mis sobrinos:***

**Luis Iván, Elmer, Brenda, Daniel, Brandó.** Por apoyarme siempre, brindarme su cariño y por ser la nueva generación de mi familia.

***A mis tíos (as):***

Sin omitir alguno de ellos, pero principalmente aquellos que tienen relación más cercana y que siempre me estuvieron apoyando y por darme su confianza.

***A mis primos (as):***

También para todos ellos, siendo parte de mi familia y que junto a ellos pase momentos muy especiales que queda para siempre en mis recuerdos de infancia.

***A mis amigos (as):***

Por los momentos que disfrutamos juntos y por la gran amistad que tenemos, esperando que nunca cambie y por hacer que todos los momentos alejado de casa fueran placenteros e olvidarnos de muchos problemas.

También a todas aquellas personas que en su momento supieron darme su cariño y amor, por los momentos gratos llenos de felicidad y cariño que hemos pasado juntos y que ocuparon y ocupe un lugar en su corazón, para todas ellas con mucho cariño.

## RESUMEN

Se realizó la predicción por medio de rendimientos de cruzas simples para ver cuales serian las mejores cruzas dobles y triples que se pueden explotar comercialmente con el objeto de poder formar un numero razonable de ellas, evaluarlas e identificar las más provisorias.

El programa subtropical del CIMMYT proporcionó 10 líneas elite (cuatro líneas son del patrón heterótico "A" y seis del grupo heterótico "B") con los cuales se formo un dialélico 10 x 10 estos materiales se evaluaron en cuatro localidades que son de clima subtropical de México.

Se escogieron las mejores cruzas simples de ambientes subtropicales las cuales se probaron en cuatro localidades: Tlajomulco, Jal, Tlaltizapán, Mor, Torreón, Coah, Zapopan, Jal. Para la predicción de las cruzas dobles y triples.

Se utilizo el método B de Jenkins por que en la literatura se señala como el mas efectivo.

Las cruzas sobresalientes como: (4x5)(6x10), (2x5)(6x10), (1x5)(6x10) superan a la media de los testigos, al igual que las cruzas triples: (4x5)x10, (1x5)x10, (2x5)x6; es necesario formar y evaluar dichas cruzas en comparación con los testigos para constar su potencial.

En las cruzas predichas fueron construidas respetando el patrón heterótico existente entre líneas de los grupos A y B.

Con la diferencia mínima significativa se encontraron cruzamientos que rebasaban la media general, habiendo diferencias entre las cruzas predichas.

Se llevo a cabo el calculo para predecir las diferentes cruzas en base a la selección de las mejores cruzas simples.

Las mejores cruzas predichas fueron:

#### Cruzas dobles

- Cruza doble.- (4x5)(6x10) con 10.341 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza doble.- (2x5)(6x10) con 10.116 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza doble.- (1x5)(6x10) con 10.076 ton/ha de rendimiento predicho.

#### Cruzas triples

- Cruza triple.- (4x5)x10 con 10.751 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza triple.- (1x5)x10 con 10.349 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza triple.- (2x5)x6 con 10.217 ton/ha de rendimiento predicho.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	IV
INDICE DE CUADROS	VII
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	3
REVISION DE LITERATURA	4
Análisis dialélico	4
Métodos de predicción	9
Predicción de rendimiento de híbridos	17
Hibridación	18
Heterosis	24
Combinación de germoplasma	27
Híbridos dobles	29
Híbridos triples	33
MATERIALES Y METODOS	35
Material genético	35
Descripción del área de estudio	38
Variables evaluadas	39
Análisis estadístico	41
RESULTADOS Y DISCUSION	44
CONCLUSIONES	57
BIBLIOGRAFIA	58
APENDICE	61

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pagina
3.1	Genealogía de las líneas involucradas en las cruzas dialélicas	36
3.2	Cruzas simples obtenidas a partir del dialélico	36
3.3	Testigos usados para cada una de las localidades	37
3.4	Ubicación y descripción de las localidades donde se evaluaron los 45 híbridos simples de maíz.	38
4.1	Concentración de las mejores cruzas simples utilizadas para la predicción de cruzas dobles y triples.	54
4.2	Concentración de las mejores cruzas dobles predichas.	55
4.3	Concentración de las mejores cruzas triples predichas	56
A.1	Medias de rendimiento y demás características agronómicas de las 45 cruzas a través de localidades.	62

## INTRODUCCION

El área subtropical de México es la de mayor importancia en la producción de maíz, que solo el 28 por ciento de la superficie total sembrada aporta el 49 por ciento de la producción nacional (Maya, 1996).

Dentro de los híbridos que se siembran con mayor escala comercial, son los híbridos dobles, los que son altamente rendidores y poseen una alta capacidad de adaptación a diferentes ambientes, ofreciendo a los agricultores una mayor seguridad en la producción en comparación con otros tipos de híbridos.

Al cruzar germoplasma de diferentes grupos de adaptación se puede tener un mejor uso del vigor híbrido sugerido por Vasal et al., (1992<sup>a</sup>). Sus resultados demostraron el considerable potencial que existe para mejorar el rendimiento del germoplasma subtropical al cruzarse con materiales tropicales.

En el caso de los híbridos simples, no son usados en forma comercial para la producción de grano y/o forraje, ya que resulta poco práctico realizar la siembra debido al tamaño reducido de la semilla y a la poca producción de semilla híbrida que poseen las líneas progenitoras; por lo que esta semilla es de un alto costo y su utilización se reduce solamente a la industria, ya que es aquí donde las características que estos poseen son demandadas como es el alto grado de homocigosis, utilizada por ejemplo; en la expansión del grano en el caso de maíz palomero, o el contenido de azúcares en maíz dulce.

Los híbridos triples (o híbridos de tres líneas) son mas cultivados que los híbridos simples pero no mayor que los híbridos dobles. En este ultimo caso debido a que durante su fase final de formación, cuando se realiza la cruza del híbrido simple con la tercera línea, en la mayoría de los casos se presentan dificultades y a veces resulta impractico, teniéndose la necesidad de adaptar a los progenitores para poder lograr su formación.

Jones en 1918, planteó usar como hembras a cruza simple y como machos, alguna línea u otra cruza simple. Se originaron así las cruza de tres líneas (CT) y las cruza dobles (CD). Con un grupo de 10 líneas se generan 45 cruza simple (CS) posibles, 360 CT y 630 CD, sin considerar las cruza recíprocas. Esto indica que tendrían que formarse y evaluarse un alto número de CT y CD, lo cual resultaría impráctico y antieconómico; por lo tanto, han sido generados varios métodos para predecir los posibles resultados de los cruzamientos. Los primeros investigadores en hacer estudios de predicción para cruza dobles fueron Richey y Sprague en 1931, pero no obtuvieron resultados favorables, mientras que Jenkins, en 1934, presentó la primera evidencia en favor del uso de cuatro métodos de predicción de CD en maíz, los cuales fueron evaluados para comprobar su confiabilidad por Doxtator y Johnson en 1936, Anderson en 1938 y por Hayes et al. en 1943

Debido a los altos costos de la semilla de variedades híbridas, en ocasiones se ha recurrido a la siembra de semillas  $F_2$  o de generaciones más avanzadas. Sin embargo, si bien con esta práctica se reduce el problema económico, se disminuye el rendimiento por la endogamia producida por el número finito de progenitores. Una forma de reducir este proceso endogámico consiste en mezclar la semilla de varios híbridos.

En la presente investigación, los programas subtropicales de CIMMYT proporcionaron 10 líneas elite (cuatro pertenecientes al grupo heterótico "A" y seis del grupo heterótico "B") con los cuales se formó un dialélico 10 x 10. Estos materiales se evaluaron en cuatro localidades que representan el ambiente subtropical de México.

### **OBJETIVO**

- Determinar las cruces dobles y triples más sobresalientes de las 45 cruces simples de los materiales subtropicales utilizados.

## REVISION DE LITERATURA

### Análisis dialélico

En genética vegetal, cuando los investigadores disponen de una muestra de P líneas y efectúan cruza simples entre ellas llamadas cruza dialélicas, los diseños de cruzamiento de Griffing (1956) son de gran utilidad para evaluar diferentes aspectos genéticos asociados con las cruza, apoyándose para ello en la realización de pruebas de hipótesis y en la estimación de parámetros. En ciertas especies vegetales es posible utilizar a las líneas que participan en una determinada cruza como padres, madres o para efectuar autofecundaciones. La elección de alguno de los diseños de Griffing, depende de las cruza que se incluyan en el experimento.

Terrón (1981) aplicó el modelo estadístico propuesto por Gardner y Eberhart, que a su vez es una modificación del diseño dos de Griffing para análisis de dialélicos, el autor concluye que dicho modelo puede ser útil para obtener conocimiento de la variación genética y aptitud combinatoria mediante parámetros con la heterosis.

Los diseños de apareamiento dialélico pueden ser muy útiles si se analizan e interpretan correctamente. Los esquemas de cruzamientos dialélicos y análisis se han desarrollado para progenitores que pueden ser líneas o variedades de amplia base genética. Griffing (1956) publicó cuatro métodos (I, II, III y IV). De estos, probablemente el más usado en maíz sea el de las combinaciones de cruzas sin progenitores (método IV), esto es debido a que los progenitores son usualmente líneas endocriadas y el vigor de los progenitores ( $F=1$ ) y las cruzas entre progenitores ( $F=0$ ) frecuentemente causan complicaciones en el diseño de campo que se usa para evaluar las cruzas y progenitores (Hallauer y Miranda, 1988; y Mayo, 1987).

Si los progenitores son incluidos en la evaluación, la fuente de variación vs. progenitores provee otra prueba (además de la ACE) para la importancia de los efectos no aditivos. Los análisis dialélicos que incluyen los progenitores son frecuentemente usados en variedades de polinización abierta, sintéticos o compuestos, en este caso se está interesando en el comportamiento de las variedades *per se* y de las cruzas de estas. (Hallauer y Miranda, 1988).

Inicialmente las cruzas dialélicas o diseños de apareamiento se usaron para obtener información de la aptitud combinatoria de las líneas incluidas en el dialélico. En los 50's los diseños de apareamiento dialélico se extendieron para investigar los parámetros genéticos de las poblaciones de referencia. Esto originó controversia acerca de la utilidad de los diseños de apareamiento dialélico en proveer tal información. La controversia por las inferencias que pueden hacerse con el diseño de apareamiento dialélico depende de si los progenitores del dialélico son seleccionados en base a su comportamiento, se puede usar en el análisis el modelo I para efectos fijos (solo se hacen

estimaciones de ACG y ACE). Si los progenitores de un dialélico representan una muestra aleatoria de una población en equilibrio de ligamento, para el análisis se puede usar el modelo II (efectos aleatorios). Con el modelo II, se pueden obtener estimaciones de los componentes de varianza genética ( $\sigma_A^2$  y  $\sigma_D^2$ ). Sin embargo, son necesarias dos supuestos para estimar los componentes de varianza por los métodos de Griffing (1956): (i) no hay epistasis e (ii) que los genes se distribuyen independientemente en los progenitores (Sughroue y Hallauer, 1997).

Baker (1987) menciona que como una alternativa a la interpretación genética, la descripción estadística obtenida del análisis dialélico se puede usar para ayudar a contestar las preguntas concernientes a la importancia de la aptitud combinatoria específica (ACE) y la predicción de híbridos usando la general ACG. En un análisis usando un modelo fijo de cruza simple de un dialélico, el promedio alcanzado de cada progenie es subdividida dentro de los componentes relacionados a ACG (efectos principales) y ACE (inatracción). Si el cuadrado medio de la ACE no es significativo, uno puede aceptar la hipótesis de que el rendimiento de una cruce puede producirse cruzando los dos progenitores que presenten los más altos efectos de ACG.

Cross (1982) en un dialélico de cinco maíces sintéticos precoces obtuvo un promedio de heterosis para producción de grano de 10.7 por ciento, lo cual pudo ser atribuido por incremento del tamaño del grano y del número de estos, así también se tiene la idea que la heterosis pudo producir un incremento en el período de duración del llenado del grano.

La aptitud combinatoria es un concepto usando inicialmente para clasificar líneas por su comportamiento en cruzas (Hallauer y Miranda, 1988). El concepto desarrollado para aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) por Sprague y Tatum (1942) ha tenido un continuo impacto en el desarrollo de líneas y mejoramiento poblacional. Ellos participaron el análisis dialélico en ACG y ACE. La ACG fue definida como el comportamiento promedio de unas líneas con otras y fue atribuido a genes que tienen fuertes efectos aditivos. La ACE fue definida como casos en donde un híbrido particular se comporta mejor o peor que lo esperado basado en el promedio de sus progenitores en las cruzas. La existencia de ACE es indicativo de loci con efectos de dominancia y epistático (Tragesser, 1991).

Un dialélico completo incluye todas las posibles cruzas y los progenitores. Obviamente al incrementar el número de progenitores, el número de posibles cruzas incrementa muy rápidamente. Así el número de cruzas a evaluar puede llegar a ser inimaginable. Si se quiere estimar la variación genética presente en una población, no sería posible incluir 100 individuos para representar el rango de genotipos dentro de la población. La inclusión de las combinaciones de 100 individuos, ignorando cruzas recíprocas, implicaría formar y evaluar 4950 cruzas para un dialélico completo. Por lo tanto, el número de progenitores a incluir es factor importante en el diseño de apareamiento dialélico (Hallauer y Miranda, 1988).

Las cruas dialélicas se evalúan con repeticiones y apropiada aleatorización de las cruas, para determinar el potencial de los progenitores en las cruas. Si 10 o 12 progenitores son incluidos en el dialélico, un diseño bloques completos al azar podría ser satisfactorio en la mayoría de los casos. Se podrá considerar un diseño de bloques incompletos si el numero de cruas es mayor y la variabilidad ambiental entre unidades experimentales es grande. Si se asume que solamente las cruas entre los progenitores se prueban en un ambiente, el análisis de varianza inicial para determinar que la variación entre cruas es significativamente diferente a cero, si no existe diferencia significativa, no hay necesidad de proceder a lo siguiente por que aparentemente los progenitores no contribuyeron a ninguna diferencia detectable en su progeie. Cuando la suma de cuadrado de las cruas es significativamente diferente de cero, es valida una subdivisión ortogonal de la suma de cuadrado para cruas (Hallauer y Miranda, 1988).

Vasal et al. (1992b) determinaron la heterosis y aptitud combinatoria de germoplasma de maíz subtropical y templado precoz. Formaron un dialélico con dos poblaciones y cinco complejos germoplásmaticos de genes (pools). Los progenitores y las 21 cruas las evaluaron en 17 ambientes templados y cinco ambientes subtropical durante 1985 –1986 el rendimiento promedio a través de ambientes templado (4.35 Mg/ha) fue comprable al de los ambientes subtropicales (4.59 Mg/ha). Sus resultados confirman el éxito de cruzar materiales de diferente origen (área geográfica), ya que los mejores efectos de heterosis (13 por ciento) lo obtuvieron al cruzar templado x subtropical (población 46 x pool 30) en ambientes subtropicales y heterosis de 10.2 por ciento con subtropical x templado (Pool 27xPool 40) en ambientes templados.

La información que se obtiene de los cruzamientos dialélicos puede ser utilizada (Vasal, 1986):

- a) Como base para la identificación de materiales específicos que combinen bien para la formación de híbridos convencionales y no convencionales.
- b) Para agrupar el germoplasma de maíz, el cual facilita la formación de grupos heteróticos, para futuro mejoramiento interpoblacional.

González et al. (1997) evaluaron mediante un apareamiento dialélico 45 cruza simples formadas con 10 líneas subtropicales de maíz de CIMMYT. A partir de la cruza con el mejor efecto de ACE formaron dos grupos heteróticos de líneas A y B que constituyeron un patrón heterotico. Las cruza con efectos de ACE negativos las agruparon en un grupo heterotico y las otras cruza con efectos de ACE positivo formaron el grupo heterotico opuesto.

### **Métodos de predicción**

Los métodos de predicción de cruza dobles y triples para rendimiento, juegan un papel importante en los programas de mejoramiento genético enfocadas en la hibridación. En maíz las predicciones han sido ampliamente utilizados y han significado un considerable ahorro en tiempo y esfuerzo para el mejorador.

En los programas de mejoramiento genético de las plantas, la predicción de híbridos juega un papel importante, ya que por medio de estos podemos conocer el comportamiento de los híbridos, así como las mejores combinaciones de progenitores para su formación sin necesidad de realizar y evaluar una inmensa cantidad de cruzas indeseables.

Existen métodos que permiten a los fitomejoradores de maíz predecir el comportamiento de las mejores combinaciones sin efectuar y probar literalmente miles de cruzas indeseables. Sin embargo, las combinaciones predichas deberán probarse exhaustivamente bajo condiciones de campo antes de que se pongan a producción comercial (Jugenheimer 1990).

En la actualidad es posible predecir cruzas triples y cruzas dobles, esto se puede obtener tomando en cuenta el comportamiento promedio del rendimiento que es el de mayor importancia y de otras características de las cruzas simples de progenitores, así como la aptitud combinatoria que juega un papel de importancia en dichas predicciones.

López (1986) para la predicción de cruzas triples y dobles, en cuanto a rendimiento y demás características agronómicas, utilizó un cuadro de cruzas dialélicas el cual es un método que facilita dicha labor, que es de mucha confiabilidad y no representa un manejo complicado.

Jenkins (1934) informo sobre la eficiencia relativa de cuatro métodos para predecir el desempeño de híbridos de cruza doble. Los caracteres estudiados fueron las hojas chamuscadas, la altura de la mazorca, las plantas erectas al cosechar, el contenido de humedad del grano, el porcentaje de grano y el rendimiento de grano por acre.

Por lo anterior, Jenkins (1934) ideó cuatro métodos para la predicción del rendimiento de cruza dobles con base en el comportamiento de cruza simples y/o mestizos. Los métodos son los siguientes:

A. Se toma como valor de predicción de rendimiento, el promedio de todas las cruza simples posibles que se pueden formar entre las cuatro líneas que intervienen en la cruza doble. Por lo tanto el rendimiento predicho para la cruza doble será  $(1 \times 2)(3 \times 4)$ .

B. Se toma como valor de predicción de la cruza doble, el promedio de rendimiento de las cruza simples no parentales, es decir, aquellas que no intervienen como progenitores de la cruza doble. Por ejemplo, con las líneas 1, 2, 3 y 4 se pueden efectuar seis combinaciones de cruza simples

1 x 2

2 x 3

3 x 4

1 x 3

2 x 4

1 x 4

Estas cruzas se pueden combinar en tres dobles de la siguiente manera:

$$(1 \times 2)(3 \times 4)$$

$$(1 \times 3)(2 \times 4)$$

$$(1 \times 4)(2 \times 3)$$

Para la cruce doble  $(1 \times 2) \times (3 \times 4)$ , el rendimiento predicho será el promedio de las cuatro cruces simples que no intervienen en ella.

Este método ha sido el más real y exacto para predecir satisfactoriamente el comportamiento de las cruces dobles (Doxtato y Johnson, 1936; Anderson, 1938; Hayes y cols., 1943 y Hayes y cols., 1946). Además con este método se aprovechan tanto la acción genética aditiva como la no aditiva (Eberhart y cols., 1964).

Posteriormente, con la base en la predicción, se forman las mejores combinaciones para evaluarlas en ensayos de rendimiento y poder así confrontar lo predicho con lo real.

C. El rendimiento se predice con el promedio de las medias de todas las cruces simples formadas con cada una de las cuatro líneas parentales de la cruce doble. Es decir, que se toman las medias de todas las cruces simples de cada línea obtenida en el dialélico. Por ejemplo, la predicción de rendimiento para la cruce doble  $(1 \times 3) \times (2 \times 5)$  es igual al promedio de las medias de las cruces en las cuales intervienen cada una de las cuatro líneas implicadas en la cruce doble.

Por lo tanto el rendimiento predicho para esta cruce es:

$$\frac{\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2 + \tilde{x}_3 + \tilde{x}_4}{4}$$

D. Se predice el rendimiento con el promedio de la producción de los cuatro mestizos formados con las cuatro líneas progenitoras de la cruce doble, por ejemplo, en la cruce (1 x 2)x(3 x 4) su predicción será P:

1 x P

2 x P

3 x P

4 x P

Asimismo, a través de los métodos A y B de Jenkins (1934) se puede predecir también el rendimiento de cruces triples. Por ejemplo, para la cruce (1 x 2) x 3, el rendimiento predicho es el promedio de las cruces simples formadas con la tercera línea (3).

Método A:

1 x 2

1 x 3

2 x 3

Método B:

1 x 3

2 x 3

Asimismo, Otsuka (1972) predice los rendimientos de cruza simples (CS), triples (CT) y dobles (CD), por medio de los efectos de ACG ( $g_j$ ) y ACE ( $S_{ij}$ ) de las líneas y cruza implicadas. Sus procedimientos son:

$$CS_{ij} = m + g_i + g_j + S_{ij}$$

$$CT_{ij,k} = \frac{1}{2}(g_i + g_j) + g_k + \frac{1}{2}(S_{ik} + S_{jk})$$

Método A:

$$CD_{ij,kl} = \frac{1}{2}(g_i + g_j + g_k + g_l) + \frac{1}{6}(S_{ij} + S_{ik} + S_{il} + S_{jk} + S_{jl} + S_{kl})$$

Método B:

$$CD_{ij,kl} = m + \frac{1}{2}(g_i + g_j + g_k + g_l) + \frac{1}{4}(S_{ik} + S_{il} + S_{jk} + S_{jl})$$

Donde:

$m$  = media general de todas las cruza

El método B tiene la base genética más firme y proporciona información sobre el desempeño de las tres posibles combinaciones de cruza doble que incluyan cuatro líneas puras, Jenkins (1934), señaló que en cualquier cruza doble, los genes de cada una de las cuatro líneas están unidos con los opuestos.

Las correlaciones positivas para el rendimiento de grano de los métodos A, B, C y D fueron  $r = 0.75$ ,  $r = 0.76$ ,  $r = 0.73$  y  $r = 0.61$  respectivamente. Una correlación de  $r = 0.39$  fue estadísticamente significativa. (Jugenheimer, 1987).

Sprague (1955) señaló que los métodos A, B, C y D suponen una acción génica aditiva, i. E., que un gene aportado por cualquier línea producirá su efecto característico sin importar el orden de apareamiento. El método B permite el reconocimiento de efectos no aditivos que se originan de la dominancia, la epistasis, etc.

Otsuka et al., (1972), encontraron que de acuerdo a los métodos propuestos por Jenkins (1934), para las predicciones, B y C mostraron diferencias mínimas y recomiendan el desarrollo de cruzas simples apropiadas y predecir todas las cruzas dobles y cruzas triples de interés, utilizando el método B ya que con este se obtiene una predicción óptima y de mayor eficiencia.

Hayes et al., (1954) evaluaron cruzas dobles (CD) y reportaron una buena concordancia de los resultados predichos y observados al usar medidas de cruzas dobles.

Baker (1978) indica que la formación de cada progenie esta dada por los componentes de aptitud combinatoria general (efectos medios) y la aptitud combinatoria especifica (interacción), además opina que si el cuadro medio de la ACE no es significativo, la formación de una progenie puede ser adecuadamente predicha sobre la base de la ACG.

Eberhart S. A. y A. R. Hallauer (1968) estudiaron los efectos genéticos para la producción en cruzas simples, dobles y triples de maíz encontrado que la baja correlación entre lo predicho y lo observado sugiere que la interacción genotipo por medio ambiente, son claramente los factores más importantes en la obtención de predicciones dignas de confiar. Aunque los efectos epistáticos se manifestaron en el material estudiado, no hubo evidencia de que la formula normal de cruzas simples para la predicción de cruzas triples y dobles pudiera haber sido abandonada a favor de procedimientos más complejos.

## **Predicción de Rendimiento de Híbridos**

La expresión fenotípica de un carácter es la suma de un efecto genético y una desviación atribuible al ambiente, y la interacción entre el genotipo y el efecto ambiental (Comstock y Robinson, 1948). Basándose en esto, es erróneo afirmar que la media de una población dice algo sobre la distribución de futuras medias muestrales, ya que la constitución genética de dicha población responderá en forma variable a los efectos ambientales y a la interacción genético ambiental. No obstante, si se conoce la media de una población, puede utilizarse únicamente como un punto estimativo para predecir un valor futuro (Steel y Torrie, 1988).

La heredabilidad es un parámetro que expresa la proporción de la varianza total la cual es atribuible a los efectos promedios de los genes y esto determina, en parte, el grado de parecido entre parientes. La función más importante de la herabilidad en el estudio genético de los caracteres métricos, es expresar la confiabilidad del valor fenotípico como una indicación de valor reproductivo, o sea, una correspondencia entre el primero y el segundo. El valor fenotípico de los individuos es lo que se pueden medir de manera fácil, pero el valor reproductivo es lo que determina su influencia en la siguiente generación. Es importante señalar que la heredabilidad no es una propiedad del carácter únicamente, sino que también lo es de la población y de las circunstancias ambientales a las que están sujetos los individuos. Así pues, el valor de la heredabilidad depende de la magnitud de los componentes de la varianza genética (frecuencias genéticas) y de la varianza ambiental (condiciones de cultivo, el ambiente y manejo). En esta última, las condiciones más variables

reducen la heredabilidad, mientras que condiciones mas uniformes la aumentan (Falconer, 1980).

Dudley y Moll (1969) definen a la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) como el cociente de la varianza genética entre la varianza fenotípica; y a la heredabilidad en sentido estrecho ( $h^2$ ) como el cociente de la varianza genética aditiva sobre la varianza fenotípica; así mismo, señala que los caracteres de alta heredabilidad se pueden mejorar con mayor rapidez en comparación con aquellos que poseen baja heredabilidad.

La heredabilidad en sentido estrecho contiene solo la varianza genética aditiva, mientras que la heredabilidad en sentido amplio incluye las varianzas aditiva, dominancia y epistática.

Van Vleck (2000), señala que el coeficiente de determinación genética ( $H^2$ ), en correlación con la media de la población y el valor fenotípico de cada individuo, ayuda a predecir el comportamiento de los individuos en la siguiente generación. Por su parte, Amacende (2000), al estimar componentes genéticos en un patrón heterocigoto de maíz, hace uso del procedimiento planteado por Van Vleck para predecir el rendimiento de los híbridos experimentales en una siguiente evaluación.

## **Hibridación**

La hibridación es el acto de fecundar los gametos femeninos de un individuo con gametos masculinos procedentes de otro individuo. En el mejoramiento de cultivos autóctonos, la hibridación se realiza con los siguientes objetivos:

- Explotar el vigor híbrido (heterosis)
- Formar ideotipos (arquetipos) específicos para determinados ambientes.
- Provocar variabilidad y selección de nuevos materiales.
- Seleccionar los materiales que intervendrán como progenitores en las cruzas.
- Seleccionar la craza adecuada y deseable de acuerdo con las exigencias del consumidor.

Estos objetivos se logran por medio de cruzamientos intervarientales e interespecíficos y de la utilización de líneas endogámicas de amplia aptitud combinatoria; es decir, que los genotipos que intervienen en los diferentes cruzamientos híbridos pueden ser líneas, híbridos, variedades, especies, razas, clones, etc.

#### Procedimiento general para la formación de híbridos de maíz

Los primeros estudios sobre hibridación en maíz los realizó Shull (1909), quien estableció los fundamentos generales para la obtención de líneas autofecundadas y el efecto de estas en cruzas para producir híbridos de producción uniforme.

Por otro lado, East (1908) dio a conocer un trabajo sobre autofecundaciones en maíz y los efectos de la fecundación cruzada, con resultados similares a los de Shull (1909).

Las investigaciones de Shull y East abrieron el camino para el mejoramiento por hibridación en maíz. Sin embargo, al inicio no se tuvo el éxito esperado debido a la poca disponibilidad de líneas autofecundadas, y porque la semilla de las  $F_1$  era muy pequeña, mal formada y con muchos problemas de manejo. Por lo anterior, los costos de producción de la semilla híbrida eran muy elevados.

Jones (1918) hizo al maíz híbrido económicamente comercial mediante el uso de cruza dobles (generación  $F_1$ , de la cruza entre dos cruza simples). Sin embargo, fue hasta 1940 cuando esta semilla híbrida se explotó a gran escala en la faja maicera de Estados Unidos. ¿que es el maíz híbrido? El maíz híbrido puede ser la primera generación de una cruza entre líneas autofecundas, entre una línea por una cruza simple, o la cruza entre dos híbridos simples.

Para la formación de híbridos superiores en maíz se requiere:

- Obtener líneas autofecundadas (polinización controlada).
- Determinar que líneas producen combinaciones superiores.
- Utilizar comercialmente las líneas y cruza para la producción de semilla.

Aldrich y leng (1974) citan que un híbrido no se comporta de la misma manera en todas las circunstancias. Para obtener la ganancia máxima sería necesario un rendimiento relativamente bueno, tanto en condiciones favorables como desfavorables. Pero no son muchos los fenotipos que tienen esta capacidad dado que no existe un material superior que sirva para todos los establecimientos de una zona; ni siquiera, quizá, para todos los campos de un mismo establecimiento.

Jugenheimer (1981) combinó cuatro líneas puras en todas las formas posibles y produjo seis cruza simples, 12 cruza triples, tres cruza dobles, entre otras. Posteriormente estudio el desempeño y la uniformidad relativos de las características de la planta y la mazorca de esos materiales, obteniendo como resultado que los híbridos simples tuvieron un rendimiento superior y fueron mas uniformes que los otros materiales. La mejor cruza simple excedió en rendimiento a la mejor cruza doble por del 10 %, de igual manera, esto últimos mostraron mas variación en los rasgos de planta y mazorca.

Eberhart y Russell (1969) señalan que la estabilidad de las variedades por lo general se asocia positivamente con la variabilidad genética y con el número de componentes que la integran (líneas en el caso de híbridos y sintéticos), pero esto no constituye una regla, ya que las cruza simples en muchos casos pueden ser tan estables como las cruza trilineales.

Weatherspoon (1970) al evaluar los rendimientos de cruza simples, triples y dobles; encontró que los híbridos, tanto en forma general como las cruza respectivas, tuvieron diferencias altamente significativas. Ante esto, sus resultados reafirmaron lo señalado en estudios anteriores al suyo, ya que las

cruzas simples superaron en rendimiento a los fenotipos triples y dobles. De igual manera, también en la interacción de los híbridos con el ambiente se encontraron diferencias. Esto puede explicarse como el resultado de un mejor aprovechamiento, tanto de efectos de dominancia como epistáticos en las cruzas simples y triples respecto a las dobles, ya que los materiales simples parecieron ser mas sensibles a las condiciones ambientales que el resto de los híbridos, principalmente comparados con los dobles.

Ron et al. (1999), señala que aunque la máxima expresión heterotica se logra con las cruzas simples, pero algunos estudios han dejado de la superioridad de estas al compararlas con las trilineales y dobles. Así mismo, el CIMMYT (1987) señala que esta situación tiene relevancia en la decisión de que tipo de variedades se deben liberar, en cuales se debe conjugar el potencial de rendimiento, el costo de producción de la semilla y las condiciones socioeconómicas de los agricultores.

Wright et al. (1971) al estimar la varianza genética en híbridos simples y triples de maíz cuyos progenitores fueron líneas con desigualdad nivel de endogamia, no encontraron diferencias estadísticas entre ambas cruzas, aunque si hubo diferencias biológicas, favoreciendo a los híbridos triples (mayor rendimiento).

Robles (1986) señala que se esperan más altos rendimientos si los agricultores siembran híbridos de tres líneas que si siembran híbridos dobles y que generalmente se espera menor producción por hectárea en híbridos de

tres líneas en comparación con los híbridos simples. La razón teórica desde el punto de vista genético es que los mayores efectos de heterosis se esperan en la combinación de genes al cruzar dos líneas puras, puede ser menor heterosis en cruzas con tres líneas, y probablemente menos cuando intervienen cuatro líneas en los híbridos, por que existe mas recombinación y segregación de genes; según este planteamiento genético, hay menos rendimiento en cruzas dobles o múltiples y posiblemente es menor al producción en variedades sintéticas, aunque no siempre es así.

Espinoza y Carballo (1986) analizaron caracteres en la producción de semillas de maíz a partir de cuatro híbridos experimentales de tres líneas y un testigo de cruzada doble; además de cada uno de sus progenitores, incluyendo líneas y cruza simples cuyo germoplasma era originario tanto de Valles Altos como del Bajío. Los materiales se evaluaron en siete ambientes que muestrearon el lugar de adaptación de los materiales y la zona de transición entre ambas regiones utilizándose un diseño experimental de látice triple. En sus resultados señalan que, de manera general, los mejores rendimientos fueron obtenidos por los híbridos triples, aunque algunas cruza simples destacaron en ciertos ambientes. También mencionan que se observo una tendencia de disminución en el rendimiento de los genotipos de Valles Altos conforme el ambiente tiende hacia las condiciones del Bajío y viceversa.

Ron et al. (1999) evaluaron y compararon variedades sintéticas, híbridos dobles, híbridos trilineales e híbridos simples formados de germoplasma elite de precocidad tardía e intermedia. Los materiales se evaluaron en 71 experimentos establecidos en ambientes subtropicales y tropicales en 1990 y 1991 bajo un diseño experimental de látice. Se realizaron análisis de varianza combinados por años, considerando todos los ambientes, los ambientes del subtropico, así como los ambientes del trópico. Las comparaciones estadísticas entre los tipos de híbridos se realizaron por medio de contrastes ortogonales con un grado de

libertad en los análisis de varianza. En los resultados no se encontraron diferencias estadísticas para rendimiento entre híbridos dobles, triples y simples; sin embargo, estos últimos presentaron mayor varianza genética dado que sus respectivos cuadrados medios fueron mas altos. Por otra parte, la mayoría de las interacciones entre los diferentes tipos de híbridos con el ambiente fueron significativas, lo cual confirma la especificidad ambiental para cada tipo de cruce. Así mismo, se encontró buen potencial de heterosis al combinar germoplasma divergente por su origen y madurez, independientemente del tipo de híbrido.

### **Heterosis**

Shull (1912), define la heterosis como el mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a enfermedades y plagas o a regiones climáticas de cualquier clase, manifestado por los organismos cruzados al compararse con los organismos endogámicos correspondientes, como resultado específicos de la disimilitud en la constitución de los gametos paternos.

Robles (1986), cita a Hayman, el cual menciona que la heterosis, es la diferencia entre la F1 y el promedio de sus progenitores.

Poehlman (1987), define vigor híbrido o heterosis como el incremento en tamaño o en vigor de un híbrido con respecto a sus progenitores (o con

respecto al promedio de sus progenitores). La heterosis se incrementa con la diferencia genética y geográfica de los padres de una progenie dada; por lo que el autor concluye que el vigor híbrido es el resultado de reunir genes dominantes favorables.

Koelreuter (1763), observo que con frecuencia los híbridos estaban dotados de un vigor extraordinario.

Diehl et al. (1973), mencionan que gracias al fenómeno de la heterosis, el cruzamiento de las líneas autofecundadas ha permitido la obtención de variedades híbridas que han originado en el cultivo del maíz un progreso considerable.

Beal (1877 – 1882), durante este periodo realizo los primeros trabajos de hibridación artificial en maíz y fabrico los híbridos entre diferentes variedades y afirmo que los rendimientos de los híbridos eran superiores a los de los genitores en un 40 %.

Entre los efectos manifestados por la heterosis en maíz, se mencionan mazorcas más grandes, mas hileras de granos por mazorca, mayor numero de nudos por planta, mas peso total por planta y un mayor rendimiento de grano, que las líneas autofecundadas (Poehlman 1987).

Según Parlevhet (1979), citado por Álvarez (1983) menciona que los mejores efectos heteróticos, se observan cuando se cruzan líneas o variedades

derivadas de poblaciones no relacionadas, y es debido a que la heterosis depende no solamente del grado promedio de dominancia direccional, sino también de la diferencia promedio en frecuencias genicas.

Para poder identificar la aportación de la diversidad geográfica en la heterosis es importante analizar los resultados obtenidos en los diferentes trabajos de investigación, así Castro et al, (1968) realizaron un estudio comparativo entre dos tipos de compuestos de maíz, uno conformado por tres razas ( $\frac{1}{4}$  de celaya,  $\frac{1}{4}$  de pepitilla y un  $\frac{1}{2}$  de comiteco) y otro formado por dos razas ( $\frac{1}{2}$  pepitilla y  $\frac{1}{2}$  comiteco), encontrándose que los más altos rendimientos los obtuvieron los compuestos formados por tres razas. Estos mismos investigadores señalan que estos materiales exóticos al someterse a métodos de selección en donde involucre endogamia directa no son deseables para ciertas áreas de México.

Morales (1986) al trabajar con materiales de Bajío y Trópico seco, con diferentes dosis germoplásmicas y evaluarlos en áreas representativas e intermedias de ambos ambientes, señala que existe cierto grado de dependencia del rendimiento con respecto a la dosis a considerar, así por ejemplo encontró que el rendimiento se redujo al incrementar la dosis de Bajío en un fondo genético del mismo ambiente.

## Combinación de germoplasma

Los híbridos comerciales de maíz generalmente son el producto de líneas pertenecientes a diferentes grupos heteróticos que al cruzarse se complementan entre si y explotan al máximo el vigor híbrido (Bernardo, 1994).

Vasal et al. (1999), citan que en un programa de hibridación en maíz, es importante conocer la aptitud combinatoria del germoplasma y los patrones heteróticos que puedan existir en el mismo. También menciona que en el CIMMYT a través de diversas investigaciones, se han identificado varios patrones heteróticos entre los cuales se encuentra el Amarillo Subtropical x Amarillo Bajío; este germoplasma a pesar de poseer características similares (color), difiere en el origen de su área geográfica.

Dos poblaciones que han evolucionado en regiones separadas geográficamente pudieran poseer diversidad genética entre ellas y por lo tanto, al combinarse, debieran expresar heterosis. Sin embargo, cuando no se manifiesta el vigor híbrido necesariamente no implica la ausencia de divergencia genética (Casas y Wellhausen, 1968). Así mismo, al combinar germoplasma cuyo origen geográfico es muy distante, la heterosis puede disminuir (Moll et al., 1965).

Morales y Espinoza (1986) al evaluar diferentes proporciones de dosis de germoplasma en ambientes y probadores del Bajío y Trópico señalan que la dosis optima, con las que se obtienen mayor rendimiento, oscilan entre 38.78 %

a 70.74 % de germoplasma de bajío y no necesariamente con un 50 % de este germoplasma. Aunado a esto, concluye que la respuesta heterótica en cruzamientos entre materiales de zonas ecológicas del Bajío y Trópico, específicamente entre líneas, al parecer no se encuentran, en general, asociada con la divergencia paternal, sino más bien, se podría suponer que esta asociada con la presencia de ciertas combinaciones de genes favorables para el rendimiento. Estas contribuciones probablemente sean debidas a efectos epistáticos positivos, los cuales contribuyen a la expresión de la heterosis. Dichos autores también señalan que existe cierta asociación entre la dosis que optimiza el rendimiento, con la dosis de germoplasma que produce la mayor estabilidad.

Lugo (1993) al evaluar híbridos dobles, cuya líneas progenitoras fueron originarias de las zonas ecológicas del Bajío (B), Trópico Húmedo (H), Trópico Seco (S) y el Bajío Seco (BS), señala que las mejores combinaciones de germoplasma son:  $(S \times H) \times (B \times H)$ ;  $(B \times H) \times (H \times H)$ ;  $(B \times S) \times (S \times B)$  y  $(H \times B) \times (B \times H)$ . También señala que el híbrido de mayor rendimiento tuvo la siguiente combinación:  $(B \times H) \times (H \times S)$ , es decir, una proporción de 75 % de germoplasma del Trópico y 25 % del Bajío; mientras que los genotipos de menores rendimiento incluían una misma línea que participaba en ambas cruza simples. Esto ultimo produjo que hubiese endogamia y no heterosis.

## Híbridos dobles

Las cruza dobles se forman a partir d cuatro líneas autofecundadas, es decir es la progenie híbrida obtenida de una cruza entre dos cruza simples.

La cruza doble es en realidad un híbrido entre dos líneas heterocigóticas de cruza simples, por eso no es tan uniforme como estas. También la producción de semilla híbrida de cruza doble es mayor que la cruza simple debido a que en la cruza doble la semilla proviene de cruza simples y no de líneas, como sucede en estas, por consiguiente es mas económico producirla en cruza dobles.

Las cruza dobles no son tan uniformes como las cruza simples, debido a que las cuatro líneas no siempre combinan bien en todos sus pares de genes, por tal motivo, hay mayor variabilidad de plantas en este tipo de cruza. Asimismo, es importante señalar que en una simple produce mayor rendimiento que una triple y esta a su vez mas que la doble.

Allard (1967) menciona que la utilización del comportamiento de cruzamientos dobles se ha convertido en un procedimiento típico en la mejora.

Menciona que aunque la primera producción comercial de un híbrido doble tuvo lugar en 1921, transcurrió un considerable periodo de tiempo antes de que el maíz híbrido llegase a ser un factor importante en la agricultura. En 1933, menos del 11 por ciento de la superficie sembrada de maíz lo era de maíces híbridos y para 1944 las variedades híbridas ocupaban más del 80 por ciento de la superficie.

Las cruzas dobles son ligeramente más variables en los caracteres de la planta y la mazorca que las cruzas simples o las de tres elementos, lo cual puede ser una ventaja cuando el cultivo se siembre bajo condiciones adversas.

Por muchos años, las cruzas doble (AxB) x (CxD), constituyeron el tipo de híbrido de uso más generalizado. La semilla de cruce doble se produce de cruce simple, las cuales son altamente productivas en semilla de calidad. Además, las plantas de cruce simple producen abundante polen. Esto hace posible una mayor proporción de surcos para producción de semilla o hembras con respecto a surcos productores de polen en los campos de cruzamiento. Además, las plantas de cruce simple soportan las condiciones adversas mucho mejor que las plantas de las líneas, reduciendo los riesgos en la producción de semilla, las cruzas dobles son ligeramente más variables en los caracteres de la planta y la mazorca que las cruzas simples o las de tres elementos, lo cual puede ser una ventaja cuando el cultivo se siembra bajo condiciones adversas.

Chávez y López (1987), señala que las cruzas dobles son formadas a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir, es la progenie híbrida obtenida de una crusa entre dos cruzas simples.

Para formar las cruzas dobles se requiere de los siguientes pasos:

**1er. Paso:** Formación de líneas autofecundadas homocigóticas uniformes.

**2do. Paso:** Cruzamiento entre estas líneas en combinaciones que produzcan híbridos simples uniformes y productivos.

**3er. Paso:** Cruzamiento entre las cruzas simples en combinaciones que produzcan híbridos productivos de cruzas doble.

La producción de semilla de cruzas doble es mayor que la de cruzas simples debido a que en la crusa doble la semilla proviene de cruzas simples y no de líneas como en las cruzas simples, por lo que es más económico producir semilla de cruzas dobles.

También se producen diversos tipos de híbridos no convencionales que obtiene mediante cruzamientos en los que por lo menos un progenitor no es una línea endogámica, como lo es un cruzamiento entre una línea endogámica y una variedad, o entre dos variables cuyas conformaciones genéticas son lo suficientemente diversas para mostrar vigor híbrido. Los híbridos no

convencionales, pero se pueden obtener y lanzar en un lapso menor ya que se requiere menos tiempo para formar líneas endogámicas (Sprague y Eberhart, 1977) citados por CIMMYT (1987). También se necesita menos tiempo para identificar un híbrido no convencional superior, una vez que se han realizado los cruzamientos, y la producción de la semilla es más fácil de manejar, menos arriesgada y con costos unitarios inferiores de la producción de semilla de híbridos convencionales.

Jones (1918) sugirió el cruzamiento entre dos cruza simples vigorosas para producir semilla de cruzada doble. Debido a que esta semilla se cosecha de una planta productiva de una simple, es más uniforme en tamaño y apariencia y se obtiene una mayor abundancia y con mayor economía que la semilla de las cruza simples que se cosecha de una planta autofecundada.

Gardner (1982) indicó que las cruza dobles no mejoran el vigor híbrido más allá del que confiere la cruzada simple; su principal mérito es el de producir plantas uniformes y vigorosas para la producción de semilla, reduciendo así el costo de las semillas comerciales.

Cortés (1982) indicó que los métodos secuenciales de obtención de líneas endocriadas, cruza de prueba (mestizos), predicción de cruza dobles y evaluación de generaciones tempranas fueron efectivas para la obtención de híbridos dobles.

Jones (1918, 1922) propuso la utilización de líneas puras en combinaciones de cruza doble. Este procedimiento eliminó el costo excesivo de la semilla como importante factor de la producción.

Un híbrido de cruza doble se produce combinando dos cruza simples, la semilla de cruza doble se produce en plantas de cruzamiento simple que son altamente productivas en cuanto a la calidad de la semilla.

La mayoría de los investigadores en el mejoramiento de maíz coinciden en que, con las líneas puras actuales, la cruza doble es el híbrido de maíz producido más económicamente en el campo.

### **Híbridos triples**

Estos se forman con tres líneas autofecundadas, es decir, son el resultado de un cruzamiento entre una cruza simple y una línea autofecundada. Para formarlos se polinizan las plantas de la cruza simple con polen progenitor masculino, el cual debe ser una línea muy productora de polen, ya que en esta desventaja con la cruza simple que es muy vigorosa.

El híbrido F1 entre un par de líneas puede cruzarse otra vez con una línea pura para producir un híbrido de tres vías (AxB) x C. El híbrido simple se utiliza como progenitor femenino, para que la línea pura utilizada como progenitor masculino de buenos resultados, debe ser una excelente productora de polen. Allard (1967).

Las líneas de la cruce simple deben ser rendidoras y combinar bien con la tercera línea. Por ejemplo, en la cruce triple (AxB) x C, la cruce simple (A x B) debe combinar bien con la línea C. Para ello es necesario que las dos cruces simples (A x B) y (B x C) sean muy rendidoras. Así, en el híbrido resultante se encuentran los caracteres de las tres líneas. La combinación de las tres líneas autofecundadas da la oportunidad de combinar un mayor número de factores favorables para el crecimiento y capacidad de rendimiento.

Con frecuencia, se pueden obtener mayores rendimientos con una cruce triple que con una cruce doble, aunque las plantas de una cruce triple no son tan uniformes como las de la cruce simple. Esto se debe a que en la mayoría de los casos no es posible que combinen bien todos los pares de genes de las tres líneas para caracteres favorables.

## MATERIALES Y METODOS

### Material genético

Se utilizaron 10 líneas subtropicales de maíz con un nivel de endogamia que varia desde S2 hasta S6 derivadas de diferentes poblaciones de CIMMYT para formar el dialelico 10 x 10 cuatro líneas son del patrón heterotico "A" y seis del grupo heterotico "B".

Localidades: 4

Diseños experimental: alfa látice 6 x 8

Repeticiones: 2

Surcos/parcela: 2

Longitud del surco: 5 m

Distancia/surco: 0.75m

Distancia/planta: 0.25

Densidad: 53, 000 plantas por hectárea.

La genealogía y población de origen de las líneas usadas en este estudio son presentadas en el cuadro 3.1. las líneas CML 78 y CML 79 son líneas liberadas, las restantes son líneas que han mostrado buenas características *per se*.

Cuadro 3.1 genealogía de las líneas involucradas en las cruzas dialélicas

línea	Genealogía	Población de origen	Grupo heterótico
1	CML 78	Pool 32	A
2	CML 97	Población 42	B
3	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B	Población Rec:(G24*B810)F2	B
4	S89500F2-2-2-2-B-B	Población 500	A
5	S89500F2-2-2-1-1-B-B	Población 500	A
6	P501c0F6-3-3-2-1-B	Población 501	A
7	P500c0F120-1-B	Población 500	B
8	P500C0F246-4-1-2-B	Población 500	B
9	P500cF114-1-1-B	Población 500	B
10	P600c0F14-3-3-2-B	Población 600	B

Cuadro 3.2 cruzas simples obtenidas a partir del dialélico

No. De cruzas y entrada	Cruza	Genealogía
1	1x2	CML78 X CML79
2	1x3	CML78 X 87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B
3	1x4	CML78 X S89500F2-2-2-2-B-B
4	1x5	CML78 X S89500F2-2-2-1-1-B-B
5	1x6	CML78 X P501c0F6-3-3-2-1-B
6	1x7	CML78 X P500c0F120-1-B
7	1x8	CML78 X P500c0F246-4-1-2-B
8	1x9	CML78 X P500c0F114-1-1-B
9	1x10	CML78 X P600c0F14-3-3-2-B
10	2X3	CML79 X 87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B
11	2X4	CML79 X S89500F2-2-2-2-B-B
12	2X5	CML79 X S89500F2-2-2-1-1-B-B
13	2X6	CML79 X P501c0F6-3-3-2-1-B
14	2X7	CML79 X P500c0F120-1-B

15	2X8	CML79 X P500c0F246-4-1-2-B
16	2X9	CML79 X P500c0F114-1-1-B
17	2X10	CML79 X P600c0F14-3-3-2-B
18	3X4	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X S89500F2-2-2-2-B-B
19	3X5	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X S89500F2-2-2-1-1-B-B
20	3X6	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X P501c0F6-3-3-2-1-B
21	3X7	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X P500c0F120-1-B
22	3X8	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X P500c0F246-4-1-2-B
23	3X9	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X P500c0F114-1-1-B
24	3X10	87[G24S2/B810(3)S2]-B-49-1-1-B-B X P600c0F14-3-3-2-B
25	4X5	S89500F2-2-2-2-B-B X S89500F2-2-2-1-1-B-B
26	4X6	S89500F2-2-2-2-B-B X P501c0F6-3-3-2-1-B
27	4X7	S89500F2-2-2-2-B-B X P500c0F120-1-B
28	4X8	S89500F2-2-2-2-B-B X P500c0F246-4-1-2-B
29	4X9	S89500F2-2-2-2-B-B X P500c0F114-1-1-B
30	4X10	S89500F2-2-2-2-B-B X P600c0F14-3-3-2-B
31	5X6	S89500F2-2-2-1-1-B-B X P501c0F6-3-3-2-1-B
32	5X7	S89500F2-2-2-1-1-B-B X P500c0F120-1-B
33	5X8	S89500F2-2-2-1-1-B-B X P500c0F246-4-1-2-B
34	5X9	S89500F2-2-2-1-1-B-B X P500c0F114-1-1-B
35	5X10	S89500F2-2-2-1-1-B-B X P600c0F14-3-3-2-B
36	6X7	P501c0F6-3-3-2-1-B X P500c0F120-1-B
37	6X8	P501c0F6-3-3-2-1-B X P500c0F246-4-1-2-B
38	6X9	P501c0F6-3-3-2-1-B X P500c0F114-1-1-B
39	6X10	P501c0F6-3-3-2-1-B X P600c0F14-3-3-2-B
40	7X8	P500c0F120-1-B X P500c0F246-4-1-2-B
41	7X9	P500c0F120-1-B X P500c0F114-1-1-B
42	7X10	P500c0F120-1-B X P600c0F14-3-3-2-B
43	8X9	P500c0F246-4-1-2-B X P500c0F114-1-1-B
44	8X10	P500c0F246-4-1-2-B X P600c0F14-3-3-2-B
45	9X10	P500c0F114-1-1-B X P600c0F14-3-3-2-B

Cuadro 3.3 Testigos usados para cada una de las localidades

Ent.	Tlatizapán, Mor.	Tlajomulco, Jal	Torreón, Coah.	Zapopan, Jal.
1	CML 79 X CML 97	CML 78 X CML 97	CML78 X CML97	CML 78 X CML 97
46	255-18-19 X MIS4-1	255-18-19 X MIS4-1	255-18-19 X MIS4-1	255-18-19 X MIS4-1
47	P3299	A9696	450E	D840
48	D856	3NE169	AN-447	D801

Aun cuando las cruzas se evaluaron junto con nueve testigos, estos no se utilizaron en el análisis del presente trabajo, por lo que las medias obtenidas corresponden únicamente a las 45 cruzas directas entre las 10 líneas.

### Descripción del área de estudio

Las cuatro localidades de evaluación (cuadro 3.4) representan el ambiente subtropical en México. En cada una de las localidades se llevaron a cabo las labores culturales comunes; como son: fertilización, cultivos, aplicación de insecticidas, riegos cuando éstos fueron requeridos debido a que sembró en verano y en la mayoría de las localidades hay abundantes lluvias, con excepción de Tlaltizapán, Mor. Que se sembró en el ciclo de invierno que no se registró precipitación pluvial.

Cuadro 3.4 Ubicación y descripción de las localidades donde se evaluaron los 45 híbridos simples de maíz.

Localidades	Temp. Media (°C)	Precipitación anual mm	Latitud Norte	Longitud oeste	Altitud msnm
Tlajomulco, Jal	19.7	821.9	20° 28'	103° 27'	1575
Tlaltizapán, Mor.	23.0	821	18° 41'	99° 08'	940
Torreón, Coah.	23.3	185.9	25° 32'	103° 26'	837
Zapopan, Jal	19.5	906.1	20° 43'	103° 23'	1548

## Variables a evaluadas

- *Días a floración.* Numero de días transcurridos desde siembra hasta cuando el 50 % de las plantas con espiga presentan la antésis (emisión de polen para floración masculina) y estigmas receptivos (floración femenina).
- *Altura de planta.* Distancia desde el nivel del suelo hasta la hoja bandera.
- *Altura de mazorca.* Distancia desde el nivel del suelo hasta el nudo de la mazorca principal.
- *Numero de plantas cosechadas.* Total de plantas de la parcela útil.
- *Numero de mazorcas.* Total de mazorcas cosechadas por parcela útil.
- *Acame de raíz.* Numero de plantas con una inclinación igual o mayor a 30° expresado en porcentaje.
- *Acame de tallo.* Numero de plantas que presentó el tallo quebrado debajo de la mazorca, en relación al numero total de plantas por parcela expresado en porcentaje
- *Aspectos de planta.* Poco después de floración se calificó las plantas de cada parcela tomando en cuenta características, tales como: uniformidad, posición de mazorca, enfermedades, daño de insectos, calidad de tallos, etc., se usó una escala de 1 a 5, donde uno es lo mejor y cinco es lo peor.
- *Aspecto de mazorca.* Se calificó el total de mazorcas de cada una de las parcelas tomando en cuenta características, tales como: uniformidad y

tamaño de las mazorcas, daño causado por plagas y enfermedades, llenado de grano; usando la escala 1 a 5.

- *Mazorca podridas.* Se obtuvo, sumando las partes podridas de cada mazorca (para completar mazorcas enteras).
- *Cobertura de mazorca.* Numero de mazorcas con mala cobertura en relación al total de mazorcas multiplicado por cien.
- *Porcentaje de humedad de grano.* Se obtuvo de una muestra de diez mazorcas.
- *Peso de campo.* Peso en Kg. De mazorcas por parcela útil
- *Daño de planta causado por enfermedades.* Se calificó el grado de daño presentado por el grupo de plantas de cada parcela, usando la escala de 1 a 5, donde uno es sin presentar daño y cinco es daño severo.
- *Rendimiento de grano corregido al 15 % de humedad.* En base al peso de campo por parcela y al porcentaje de humedad de la muestra, se calculó el rendimiento usando la siguiente formula.

$$\text{Rendimiento} = \text{PC} \times \left[ 1 - \frac{\% \text{humedad}}{100} \right] \times \frac{80}{85} \times \frac{10,000}{\text{APU}}$$

En donde.

PC = peso de campo (Kg.)

80 = constante (porcentaje de desgrane).

85 = constante y se refiere al 15 % de humedad.

10,000 = área equivalente a una hectárea

APU = área de parcela útil, la cual se calculo de acuerdo a lo siguiente:

$$APU = \left[ longitud \text{ del surco} + \frac{dis \ tan \ cia}{plantas} \right] \times \frac{dis \ tan \ cia}{sur \ cos}$$

- *Rendimiento limpio.* Se obtuvo disminuyendo el porcentaje de pudrición de mazorca al rendimiento de grano.

### **Análisis estadístico**

Para analizar las variables expresados en porcentaje y las variable medidas cualitativamente (aspecto), se utilizó la transformación propuesta por snedecor y Cochran (1980).

Para las variables en porcentaje se utilizó la siguiente transformación:

$$X' = \text{Arco seno } \sqrt{\frac{(x + 0.005)}{100}}$$

Y para las variables medidas cualitativamente.

$$X' = \sqrt{x + 1}$$

Donde:

$X'$  = valor de la variable transformada

$X$  = es el porcentaje o el valor asignado a la variable medida

Los resultados del análisis dialéctico fue reportado por González (1996), en su tesis de maestría.

Se procederá a efectuar los cálculos para identificar los mejores híbridos dobles y triples basándose en lo propuesto por Jenkins (1934).

Se identificarán los mejores híbridos dobles y triples para el ambiente subtropical.

Una vez que se han seleccionado las mejores líneas de la más alta ACG, se procede a formar las cruces simples y, con ellas, la formación de cruces dobles. La evaluación para rendimiento de las cruces simples es 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. En México la producción de híbridos simples es demasiado costosa, por tal motivo, resulta incosteable su uso. Esto hace necesario la formación de híbridos triples o dobles, con lo que se disminuye mucho los costos de producción, aunque se sacrifique algo de rendimiento, sin embargo, la formación de híbridos dobles y/o triples posibles entre líneas seleccionadas darían cifras estadísticas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Predicción de rendimiento de cruzas dobles

Se utilizó el método B ya que ha sido él mas real y exacto para predecir satisfactoriamente el comportamiento de las cruzas dobles.

### Localidades de ambientes subtropicales

Se presentan las 17 mejores cruzas dobles predichas para ambientes subtropicales.

Cruza: (4x5)(6x10)

$x$
-----

Cruza: (2x5)(6x10)

--

Cruza: (1x5)(6x10)

1x6 = 8.973  
1x10 = 9.603  
5x6 = 10.635  
5x10 = 11.095

$\Sigma = 40.306$   
 $\bar{x} = 10.076$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (4x5)(6x8)

4x6 = 9.228  
4x8 = 9.655  
5x6 = 10.635  
5x8 = 10.724

$\Sigma = 40.242$   
 $\bar{x} = 10.060$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (4x5)(6x7)

4x6 = 9.228  
4x7 = 9.993  
5x6 = 10.635  
5x7 = 10.237

$\Sigma = 40.093$   
 $\bar{x} = 10.023$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (1x5)(6x9)

1x6 = 8.973  
1x9 = 9.378  
5x6 = 10.635  
5x9 = 9.838

$\Sigma = 39.621$   
 $\bar{x} = 9.905$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (2x5)(6x7)

2x6 = 9.799  
2x7 = 8.871  
5x6 = 10.635  
5x7 = 10.237

$\Sigma = 39.542$   
 $\bar{x} = 9.885$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (2x5)(6x8)

$2 \times 6 = 9.799$	$\Sigma = 39.405$ $\bar{x} = 9.851$ Ton/ha de rendimiento predicho
$2 \times 8 = 8.247$	
$5 \times 6 = 10.635$	
$5 \times 8 = 10.724$	

Cruza: (3x5)(6x8)

$3 \times 5 = 9.198$	$\Sigma = 39.264$ $\bar{x} = 9.816$ Ton/ha de rendimiento predicho
$3 \times 8 = 8.707$	
$5 \times 6 = 10.635$	
$5 \times 8 = 10.724$	

Cruza: (5x7)(8x10)

$5 \times 8 = 10.724$	$\Sigma = 39.205$ $\bar{x} = 9.801$ Ton/ha de rendimiento predicho
$5 \times 10 = 11.095$	
$7 \times 8 = 8.288$	
$7 \times 10 = 9.098$	

Cruza: (4x5)(6x9)

$4 \times 6 = 9.228$	$\Sigma = 39.482$ $\bar{x} = 9.870$ Ton/ha de rendimiento predicho
$4 \times 9 = 9.781$	
$5 \times 6 = 10.635$	
$5 \times 9 = 9.838$	

Cruza: (1x5)(6x7)

$1 \times 6 = 8.973$	$\Sigma = 39.164$ $\bar{x} = 9.791$ Ton/ha de rendimiento predicho
$1 \times 7 = 9.319$	
$5 \times 6 = 10.635$	
$5 \times 7 = 10.237$	

Cruza: (2x5)(6x9)

$$2 \times 6 = 9.799$$

$$2 \times 9 = 8.813$$

$$5 \times 6 = 10.635$$

$$5 \times 9 = 9.838$$

$$\Sigma = 39.085$$

$$\bar{x} = 9.771 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (1x5)(6x8)

$$1 \times 6 = 8.973$$

$$1 \times 8 = 8.641$$

$$5 \times 6 = 10.635$$

$$5 \times 8 = 10.724$$

$$\Sigma = 38.973$$

$$\bar{x} = 9.743 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (3x5)(6x9)

$$3 \times 6 = 9.198$$

$$3 \times 7 = 8.999$$

$$5 \times 6 = 10.635$$

$$5 \times 9 = 9.838$$

$$\Sigma = 38.67$$

$$\bar{x} = 9.667 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (5x8)(9x10)

$$5 \times 9 = 9.838$$

$$5 \times 10 = 11.095$$

$$8 \times 9 = 8.670$$

$$8 \times 10 = 8.750$$

$$\Sigma = 38.353$$

$$\bar{x} = 9.588 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (2x3)(4x6)

$$2 \times 4 = 9.480$$

$$2 \times 6 = 9.799$$

$$3 \times 4 = 9.906$$

$$3 \times 6 = 9.198$$

$$\Sigma = 38.383$$

$$\bar{x} = 9.595 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (1x3)(4x9)

1x4 = 9.841  
1x9 = 9.378  
3x4 = 9.906  
3x9 = 8.999

$\Sigma = 38.124$   
 $\bar{x} = 9.531$  Ton/ha de rendimiento predicho

Cruza: (2x3)(4x5)

2x4 = 9.480  
2x5 = 9.026  
3x4 = 9.906  
3x5 = 9.823

$\Sigma = 38.235$   
 $\bar{x} = 9.558$  Ton/ha de rendimiento predicho

El mejor rendimiento predicho fue el de la cruza (4 x 5)(6 x 10) con una media de 10.341 Ton/ha.

## PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO DE CRUZAS TRIPLES

Fue utilizado el método B de Jenkins (1934).

### Localidades de ambientes subtropicales

Se presentan las 31 mejores cruza triples predichas para ambientes subtropicales.

Cruza: (4x5)x10

$$\begin{aligned} 4 \times 10 &= 10.407 \\ 5 \times 10 &= 11.095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 21.502 \\ \bar{x} &= 10.751 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x5)x10

$$\begin{aligned} 1 \times 5 &= 9.603 \\ 5 \times 10 &= 11.095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.698 \\ \bar{x} &= 10.349 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (2x5)x6

$$\begin{aligned} 2 \times 6 &= 9.799 \\ 5 \times 6 &= 10.635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.434 \\ \bar{x} &= 10.217 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x5)x8

$$\begin{aligned} 4 \times 8 &= 9.655 \\ 5 \times 8 &= 10.724 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.379 \\ \bar{x} &= 10.189 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x5)x7

$$\begin{aligned} 4 \times 7 &= 9.993 \\ 5 \times 7 &= 10.237 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.23 \\ \bar{x} &= 10.115 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x7)x10

$$\begin{aligned} 5 \times 10 &= 11.095 \\ 7 \times 10 &= 9.098 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.193 \\ \bar{x} &= 10.096 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (2x5)x10

$$\begin{aligned} 2 \times 10 &= 8.937 \\ 5 \times 10 &= 11.095 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.032 \\ \bar{x} &= 10.016 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x4)x10

$$\begin{aligned} 1 \times 10 &= 9.603 \\ 4 \times 10 &= 10.407 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 20.01 \\ \bar{x} &= 10.005 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x6)x8

$$\begin{aligned} 5 \times 8 &= 10.724 \\ 6 \times 8 &= 9.106 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.83 \\ \bar{x} &= 9.915 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x5)x6

$$\begin{aligned} 1 \times 6 &= 8.973 \\ 5 \times 6 &= 10.635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.603 \\ \bar{x} &= 9.804 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x6)x9

$$\begin{aligned} 5 \times 9 &= 9.838 \\ 6 \times 9 &= 9.389 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.227 \\ \bar{x} &= 9.613 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x5)x7

$$\begin{aligned} 1 \times 7 &= 9.319 \\ 5 \times 7 &= 10.237 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.556 \\ \bar{x} &= 9.778 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x6)x10

$$\begin{aligned} 5 \times 10 &= 11.095 \\ 6 \times 10 &= 8.491 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.586 \\ \bar{x} &= 9.793 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x5)x8

$$\begin{aligned} 1 \times 8 &= 8.641 \\ 5 \times 8 &= 10.724 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.365 \\ \bar{x} &= 9.682 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x8)10

$$\begin{aligned} 5 \times 10 &= 11.095 \\ 8 \times 10 &= 8.750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.845 \\ \bar{x} &= 9.922 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x5)x9

$$\begin{aligned} 1 \times 9 &= 9.378 \\ 5 \times 9 &= 9.838 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.216 \\ \bar{x} &= 9.608 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (5x9)x10

$$\begin{aligned} 5 \times 10 &= 11.095 \\ 9 \times 10 &= 8.589 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.684 \\ \bar{x} &= 9.842 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (2x4)x10

$$\begin{aligned} 2 \times 10 &= 8.937 \\ 4 \times 10 &= 10.407 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.344 \\ \bar{x} &= 9.672 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x8)x10

$$\begin{aligned} 4 \times 10 &= 10.407 \\ 8 \times 10 &= 8.750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.157 \\ \bar{x} &= 9.578 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x4)x7

$$\begin{aligned} 1 \times 7 &= 9.319 \\ 4 \times 7 &= 9.993 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.312 \\ \bar{x} &= 9.656 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x3)x4

$$\begin{aligned} 1 \times 4 &= 9.841 \\ 3 \times 4 &= 9.906 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.747 \\ \bar{x} &= 9.873 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x4)x9

$$\begin{aligned} 1 \times 9 &= 9.378 \\ 4 \times 9 &= 9.781 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.159 \\ \bar{x} &= 9.579 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (1x2)x4

$$\begin{aligned} 1 \times 4 &= 9.841 \\ 2 \times 4 &= 9.480 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.321 \\ \bar{x} &= 9.660 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (2x3)x4

$$\begin{aligned} 2 \times 4 &= 9.480 \\ 3 \times 4 &= 9.906 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.386 \\ \bar{x} &= 9.693 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (2x5)x7

$$\begin{aligned} 2 \times 7 &= 8.871 \\ 5 \times 7 &= 10.237 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.108 \\ \bar{x} &= 9.554 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x6)x9

$$\begin{aligned} 4 \times 9 &= 9.781 \\ 6 \times 9 &= 9.389 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.17 \\ \bar{x} &= 9.505 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (3x5)x6

$$\begin{aligned} 3 \times 6 &= 9.198 \\ 5 \times 6 &= 10.635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.833 \\ \bar{x} &= 9.916 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (3x5)x8

$$\begin{aligned} 3 \times 8 &= 8.707 \\ 5 \times 8 &= 10.724 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.431 \\ \bar{x} &= 9.715 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x5)x6

$$\begin{aligned} 4 \times 6 &= 9.228 \\ 5 \times 6 &= 10.635 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= 19.863 \\ \bar{x} &= 9.931 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho} \end{aligned}$$

Cruza: (4x5)x9

$$4 \times 9 = 9.781$$

$$5 \times 9 = 9.838$$

$$\Sigma = 19.619$$

$$\bar{x} = 9.809 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

Cruza: (4x7)x10

$$4 \times 10 = 10.407$$

$$7 \times 10 = 9.098$$

$$\Sigma = 19.505$$

$$\bar{x} = 9.752 \text{ Ton/ha de rendimiento predicho}$$

El mejor rendimiento predicho fue el de la cruza (4 x 5) x 10 con una media de 10.751 Ton/ha.

**MEDIAS DE RENDIMIENTO DE GRANO DE LAS CRUZAS SIMPLES  
UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE HÍBRIDOS DOBLES Y TRIPLES**

Cuadro 4.1. Concentración de las mejores cruzas simples utilizadas para la predicción de cruzas dobles y triples.

<b>CRUZAS SIMPLES</b>			
<b>CRUZA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>CRUZA</b>	<b>MEDIA</b>
1x2	9.177	4x8	9.655
1x3	7.920	4x9	9.781
1x4	9.841*	5x7	10.237*
1x5	4.975	5x8	10.724**
2x3	9.197	5x9	9.838*
2x4	9.480	6x7	7.302
2x5	9.026	6x8	9.106
3x5	9.823	6x9	9.389
4x5	3.627	8x10	8.750
4x6	9.228	9x10	8.589
4x7	9.993*		

$\bar{x} = 8.949$   
DMS (0.05) = 0.888  
DMS (0.01) = 1.294

\*Significativo.

\*\*Altamente significativo.

$\bar{x}$  = Media General

Cuadro 4.2. concentración de las mejores cruzas dobles predichas.

<b>CRUZAS DOBLES</b>			
<b>CRUZA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>CRUZA</b>	<b>MEDIA</b>
(4X5)(6X10)	10.341**	(4X5)(6X9)	9.870*
(2X5)(6X10)	10.116*	(1X5)(6X7)	9.791
(1X5)(6X10)	10.076*	(2X5)(6X9)	9.771
(4X5)(6X8)	10.060*	(1X5)(6X8)	9.743
(4X5)(6X7)	10.023*	(3X5)(6X9)	9.667
(1X5)(6X9)	9.905*	(5X8)(9X10)	9.588
(2X5)(6X7)	9.885*	(2X3)(4X6)	9.595
(2X5)(6X8)	9.851*	(1X3)(4X9)	9.531
(3X5)(6X8)	9.816*	(2X3)(4X5)	9.558
(5X7)(8X10)	9.801*		

  

$\bar{x} = 8.949$
DMS (0.05) = 0.888
DMS (0.01) = 1.294

\*Significativo.

\*\*Altamente significativo.

$\bar{x}$  = Media General

Cuadro 4.3. concentración de las mejores cruzas triples predichas

CRUZAS TRIPLES			
CRUZA	MEDIA	CRUZA	MEDIA
(4X5)X10	10.751**	(5X9)X10	9.842*
(1X5)X10	10.349**	(2X4)X10	9.672
(2X5)X6	10.217*	(4X8)X10	9.578
(4X5)X8	10.189*	(1X4)X7	9.656
(4X5)X7	10.115*	(1X3)X4	9.873*
(5X7)X10	10.096*	(1X4)X9	9.579
(2X5)X10	10.016*	(1X2)X4	9.660
(1X4)X10	10.005*	(2X3)X4	9.693
(5X6)X8	9.915*	(2X5)X7	9.554
(1X5)X6	9.804	(4X6)X9	9.505
(5X6)X9	9.613	(3X5)X6	9.916*
(1X5)X7	9.778	(3X5)X8	9.715
(5X6)X10	9.793	(4X5)X6	9.931*
(1X5)X8	9.682	(4X5)X9	9.809
(5X8)X10	9.922*	(4X7)X10	9.752
(1X5)X9	9.608		

$\bar{x} = 8.949$   
 DMS (0.05) = 0.888  
 DMS (0.01) = 1.294

\*Significativo.

\*\*Altamente significativo.

$\bar{x}$  = Media General

Las mejores cruzas fueron:

**Cruza doble.-** (4x5)(6x10) con 10.341 ton/ha de rendimiento predicho.

(2x5)(6x10) con 10.116 ton/ha de rendimiento predicho.

**Cruza triple.-** (4x5)x10 con 10.751 ton/ha de rendimiento predicho.

(1x5)x10 con 10.349 ton/ha de rendimiento predicho.

## CONCLUSIONES

Se realizó el cálculo para predecir las diferentes cruzas en base a la selección de las mejores cruzas simples.

Utilizando el método B de Jenkins (1934) se procedió al cálculo de las predicciones para las cruzas dobles y triples.

Las 3 mejores cruzas dobles predichas fueron:

- Cruza doble.- (4x5)(6x10) con 10.341 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza doble.- (2x5)(6x10) con 10.116 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza doble.- (1x5)(6x10) con 10.076 ton/ha de rendimiento predicho.

Las 3 mejores cruzas triples predichas fueron:

- Cruza triple.- (4x5)x10 con 10.751 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza triple.- (1x5)x10 con 10.349 ton/ha de rendimiento predicho.
- Cruza triple.- (2x5)x6 con 10.217 ton/ha de rendimiento predicho.

Se considero que el método B de Jenkins fue efectivo para el cálculo de predicción de los dos tipos de cruzas y respetando el patrón heterótico existente entre los grupos A y B, con la diferencia mínima significativa se encontraron cruzamientos que rebasaban la media general, habiendo diferencias entre las cruzas predichas.

## BIBLIOGRAFIA

- Amacende L., S. 2000. Estimación de componentes genéticos en un importante patrón heterotico de maíz (*Zea mays* L.) bajo el diseño II de Carolina del Norte. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 72 p.
- Aldrich, S. R y E. R. Leng. 1974. Producción Moderna de Maíz. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aries, Argentina. Pp. 29-35
- Allard R. W. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Ed. Omega. Barcelona, España.
- Bernardo, R. 1994. Prediction of maize single-cross performance using RFLPs and information from related hybrids. *Crop Sci.* 34: 20-25.
- Baker J. R. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop. Sci.* 18: 533-536. USA.
- Casas D., E. y E. J. Wellhausen. 1968. Diversidad genética y heterosis. *Fitogenética Latinoamericana.* 5 (2): 53-61.
- Castro G., C. O Gardner and J. H. Lonquist. 1968. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverserales. *Crop Sci.* 8 (1): p. 97-101.
- Comstock, R. E. And H. F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4 (4): 254-266.
- Cross H. L. and J. J. Hammond. 1982. Plant density effects on combining abilities of early maize synthetics. *Crop Sci.* 22: 814-817.
- Dudley, D. W. And R. H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heredability and genetics variances in plant breeding. *Crop Sci.* 9: 257-262.
- Eberhart, S. A. And w. A. Russell. 1969. Yield and stability for a 10-line diallel of single-cross and double-cross maize hybrids. *Crop Sci.* 9: 357-361.
- Elizarraras C. J. J. 2003. Evaluación y selección de cruzas simples, triples y dobles experimentales de maíz (*Zea mays* L) constituidas por germoplasma del bajo y trópico mexicano. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

- Enríquez P. S. 2003. Predicción de cruzas triples y dobles de maíz en el trópico y subtropico de México. Tesis Profesional. U. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Espinosa C., A. y A. Carballo C. 1986. Productividad y calidad de semilla en líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para zonas de transición "El Bájio-Valles Altos" de México. Fitotecnia Mexicana 8: 35-53.
- Falconer, D. S. 1980. Introducción a la Genética Cuantitativa. 10 ma. Edición. Continental, S. A. México, D. F. Pp. 201-224.
- González L. J. S. 1996. Integración de un patrón heterotico a partir de un dialélico de diez líneas de maíz subtropicales. Tesis Maestría. U. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- González L. J. S. 1989. Estudio comparativo de híbridos dobles de maíz (*Zea mays* L.) involucrando una línea en sus versiones Androesteril y Androfertil, Además de cuatro cruzas simples comunes. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- González S., H. Córdova, S. Rodríguez, H. De león y V. M. Serrato. 1997. Determinación de un patrón heterotico a partir de la evaluación de un dialélico de diez líneas subtropicales. Agronomía Mesoamerica. 8: 07-10. Costa Rica.
- Halleuer A. R. And J. B. Miranda. 1988. Quantitative genetics in maize breeding. 2da. De Iowa State University Press, Ames, Iowa. USA. P. 45-61
- Jenkins M. T. 1934. Methods of estimating the performanca of double crosses in corn. Agron. Jour., 26: 199-204.
- Jugenheiner R. W, 1981. Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y produccion de semillas. Editorial Limusa. México, D. F. Pp. 27-31, 506-518.
- Jugenheimer R. W, 1990. Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de maíz. Folleto de divulgación. Vol. I. Num. 7. U. A. A. A. N. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Lopez P. E. 1986. Comparación entre diferentes probadores para evaluar líneas de maíz. Vol. 1. Num. 7. U. A. A. A. N. Buenavista, Saltillo, México.
- Lugo H., F. 1993. Selección y estimación de parámetros genéticos en híbridos y en sus cruzas simples progenitoras, en maíz. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 112 p.

- Moll, R. H., J. H. Lonquist, J. Vélez F., and E. C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52: 139-144.
- Morales L., A. y J. Espinoza V. 1986. Combinaciones de germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) propios para el Bajío y Trópico. Dosis óptima para rendimiento y estabilidad. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. *Agraria* 2 (1): 1-27.
- Robles S., R. 1986. *Genética elemental y Fitomejoramiento Práctico*. Editorial Limusa. México, D. F. Pp. 346.
- Ron P., J. J. L. Ramírez D., R. Valdivia B., y J. B. Maya L. 1999. Comparación de tipos de variedades de maíz desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias en la región centro-occidente de México. *Agrociencia* 33 (3): 267-275.
- Steel, R. y J. H. Torrie. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2da. Edición. McGraw-Hill. México, D. F. Pp. 7-724.
- Terrón L., A. D. 1981. Análisis e interpretación de cruzas dialélicas en variedades tropicales de maíz adaptadas a Nayarit. Tesis Profesional. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara, Jal. México. 52 p.
- Tragesser S. L. 1991. Generation means estimation of unbiased genetic effects from five cycles of replicated S1 and reciprocal full-sib recurrent selection. Tesis de Doctorado. Universidad de Nebraska. 108 p.
- Van Vleck, L. Dale. 2000. Selection index and introduction to mixed model methods. Dept. of Animal science. University of Nebraska, Lincoln. CRC Press. Pp. 267-269. USA:
- Vasal S. K. 1986. CIMMYT hybrid maize program. Reunion anual de maíz. 17 p. México.
- Vasal, K. S., H. Cordova, S. Pandey, and G. Srinivasan. 1999. Tropical maize and heterosis. In: *Genetics and Exploitation of heterosis in crops*. American Society of Agronomy, Inc., and Crop Science Society of America, Inc. Pp. 363-373.
- Weatherspoon, J. H. 1970. Comparative yield of single, three-way, and double crosses of maize, *Crop Sci.* 10:pp. 157-159.
- Wright, J. A., A. R. Hallauer, L. H. Penny and S. A. Eberhart. 1971. Estimating genetic variance in maize by use of single and three-way crosses among unselected inbred lines. *Crop Sci.* 11: 690-695.

# A P E N D I C E

Cuadro A1. Medias de rendimiento y demás características agronómicas de las 45 cruzas a través de localidades.

Ent.	cruza	Rend. Ton/ha	Pud. De mz. (%)	Rend. Limpio ton/ha	Flor Dias	Altura mz. Cm.	Acame tallos (%)	Acame pta. (1-5)	Asp. Mz. (1.5)	Mala cob. (%)
35	5x10	11.498	3.5	11.095	68.2	126.4	1.1	2.1	2.2	30.6
33	5x8	11.171	4.0	10.724	67.1	126.7	2.0	2.3	1.9	2.5
30	4x10	10.932	4.8	10.407	68.1	115.1	1.5	1.9	2.2	37.7
31	5x6	10.841	1.9	10.635	71.6	138.1	4.1	2.5	2.0	7.4
32	5x7	10.686	4.2	10.237	66.7	131.3	1.8	2.2	1.8	5.7
3	1x4	10.503	6.3	9.841	68.2	120.8	2.5	2.1	2.4	4.6
18	3x4	10.287	3.7	9.906	71.9	136.6	1.0	2.5	2.1	9.1
19	3x5	10.243	4.1	9.823	72.3	143.0	3.0	2.3	2.0	10.5
27	4x7	10.197	2.0	9.993	67.7	125.7	1.4	2.7	2.4	9.2
34	5x9	10.185	3.4	9.838	70.1	129.8	2.5	2.4	1.8	9.4
13	2x6	10.165	3.6	9.799	71.1	145.0	6.3	3.3	2.7	1.3
6	1x7	10.163	8.3	9.319	66.4	117.0	2.2	2.5	2.6	14.3
29	4x9	10.136	3.5	9.781	72.2	132.4	2.1	2.6	1.9	10.4
28	4x8	10.089	4.3	9.655	67.0	121.9	2.0	2.2	2.3	4.5
38	6x9	9.904	5.2	9.389	72.5	139.5	9.7	3.0	2.5	4.9
9	1x10	9.879	2.8	9.603	67.7	110.0	3.0	2.2	2.3	10.5
8	1x9	9.819	4.5	9.378	69.9	136.2	6.5	2.7	2.6	18.4
37	6x8	9.687	6.0	9.106	71.3	138.7	3.8	2.9	2.6	1.3
5	1x6	9.679	7.3	8.973	71.1	130.1	7.7	2.8	2.2	3.4
1	1x2	9.670	5.1	9.177	67.0	129.6	2.3	3.3	2.6	6.3
11	2x4	9.664	1.9	9.480	67.1	127.0	1.8	2.5	2.4	2.4
41	7x9	9.627	5.0	9.146	68.7	125.2	2.1	2.8	2.5	14.3
23	3x9	9.625	6.5	8.999	73.3	152.3	5.2	3.2	2.6	9.8
26	4x6	9.592	3.8	9.228	67.1	137.3	1.6	2.8	2.5	2.8
12	2x5	9.582	5.8	9.026	67.7	132.6	0.3	2.7	2.6	5.1
42	7x10	9.567	4.9	9.098	67.6	115.3	2.5	2.4	2.6	9.0

10	2x3	9.491	3.1	9.197	70.1	135.8	1.9	3.0	2.6	8.7
20	3x6	9.454	2.7	9.198	74.9	147.2	5.6	3.2	2.3	5.1
17	2x10	9.338	4.8	8.937	67.5	125.3	2.4	2.8	2.8	19.8
43	8x9	9.292	6.7	8.670	70.9	135.4	3.2	3.0	2.8	3.9
7	1x8	9.222	6.3	8.641	66.5	111.8	3.3	2.9	2.7	8.5
14	2x7	9.117	2.7	8.871	67.8	142.0	1.7	2.8	2.6	9.7
44	8x10	9.086	3.7	8.750	69.1	117.2	1.6	2.7	2.6	8.1
16	2x9	9.049	2.6	8.813	69.2	140.7	7.5	3.1	2.3	3.7
39	6x10	9.004	5.7	8.491	72.4	130.1	1.9	2.9	2.7	5.2
22	3x8	8.985	3.1	8.707	71.4	134.1	2.3	2.9	2.8	2.3
45	9x10	8.919	3.7	8.589	72.3	139.2	1.7	2.9	2.5	15.5
40	7x8	8.780	5.6	8.288	66.8	111.3	0.8	2.6	2.9	4.9
15	2x8	8.636	4.5	8.247	67.6	125.1	1.1	2.9	2.8	2.7
2	1x3	8.48	6.6	7.920	71.5	131.6	2.5	2.9	2.9	44.7
36	6x7	8.232	11.3	7.302	74.8	127.0	3.5	3.1	2.9	5.7
21	3x7	7.704	4.7	7.341	65.2	103.3	1.8	3.3	2.9	6.7
24	3x10	7.113	8.9	6.480	75.0	126.7	2.1	3.4	3.4	21.6
4	1x5	5.860	15.1	4.975	68.2	109.4	3.5	4.2	3.6	2.9
25	4x5	5.234	30.7	3.627	72.8	103.4	3.3	3.7	4.4	12.1
	Media	9.432	5.53		69.64	128.45	2.9	2.78	2.52	5.5
	DMS	0.888	4.52		1.34	9.92	2.99	0.4	0.35	5.76
	CV	10.68	54.2		2.2	8.8	81.2	6.04	5.6	46.2