

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
POSGRADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**



**GANANCIA EN SELECCIÓN Y ESTABILIDAD GENÉTICA
EN POBLACIONES DE MAÍZ TROPICAL TUXPEÑO-1
(POBLACIÓN 21) Y ETO BLANCO (POBLACIÓN 32)**

NORBERTO CARRIZALES MEJÍA

T E S I S

**Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

Zapopan, Jalisco, Mayo 2006

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

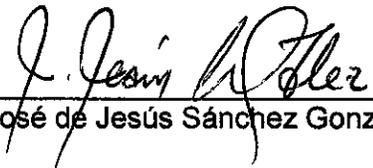
COORDINACION DE POSGRADO

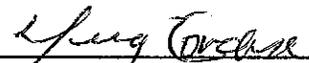


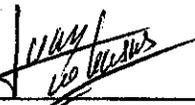
La tesis **Ganancia en selección y estabilidad genética en poblaciones de maíz tropical Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32)** se realizó bajo la dirección del Consejo Particular que se indica, fue aprobada por el mismo y se aceptó como requisito parcial para la obtención del grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

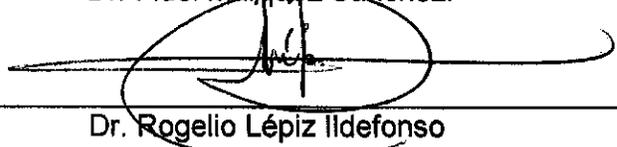
Consejo Particular

Director: 
Dr. José de Jesús Sánchez González.

Asesor: 
Dr. Hugo Salvador Córdova Orellana.

Asesor: 
Dr. Juan Francisco Casas Salas.

Asesor: 
Dr. Fidel Márquez Sánchez.

Asesor: 
Dr. Rogelio Lépiz Ildefonso

**El hombre superior ve que su primer interés sea superar lo
difícil, solo así el éxito viene después.**

CONFUCIO.

**La imposibilidad en que estoy para probar que Dios no existe
me descubre su existencia.**

PASCAL.

A la memoria de M. Abel García Vázquez †.

Este trabajo es producto del intenso anhelo que siempre mostraste en investigar, desarrollar y fomentar el mejoramiento de maíz. Un afectuoso reconocimiento a tu persona que se manifiesta en la obtención del presente trabajo y la oportunidad de expresarte las gracias por tu interés en la superación de mi persona.

Tu sincero amigo:

N.C.M.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guadalajara, por la formación profesional y académica recibida. Asimismo, al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias que me proporcionó beca en el doctorado. En especial, al DR. Juan de Js. Taylor P. (Rector) y al DR. Enrique Pimienta (Secretario Académico).

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por el amplio apoyo brindado en la realización del presente trabajo. En forma especial al Dr. Hugo Córdova, destacado investigador de maíz, por su loable actividad e interés en difundir avances relativos al presente estudio; asimismo, por la apreciable revisión y asesoría del presente trabajo.

A Semillas Con Lee Mexicana S. A. de C.V. por el apoyo moral y económico a ésta investigación, sobretodo, por el establecimiento y conducción del experimento en su campo de Producción e Investigación en Colima. Especialmente al Ing. Carlos Félix F. (Gerente general).

Un infinito agradecimiento al Dr. M. Abel García Vázquez †. Hermano, gran amigo, estimado colega y respetable maestro, cuyo esfuerzo, apoyo y enseñanza ha sido pilar del presente trabajo.

Al Dr. Salvador Mena M. por el apoyo que recibí de su parte, como amigo, compañero del doctorado y Rector del CUCBA (durante su gestión).

Al Dr. J. de Js. Sánchez González por dirigir el presente trabajo, el gran apoyo y esfuerzo brindado para la culminación de esta tesis. Para mí, eso demuestra su gran calidad científica y humana.

Sincero agradecimiento a los Doctores: Fidel Márquez, Juan Fco. Casas y Rogelio Lépiz, por su importante colaboración en la revisión y asesoría de ésta tesis.

Al Dr. Florencio Recendiz H., compañero del doctorado, que siempre me ha honrado con su amistad y al que agradezco su apoyo moral y científico.

Al Ing. Salvador Gutiérrez por su desinteresado apoyo para la realización de este trabajo. También a la M.C. Isabel Torres y los Doctores: José Ron y Moisés Morales, quienes amablemente me orientaron en algunas cuestiones y aspectos relativos a este trabajo.

Al M.C. Salvador Hurtado de la Peña, Jefe del Dpto. de producción Agrícola, por el apoyo y facilidades dadas para realizar mi doctorado.

A mis profesores del Posgrado, que compartieron su conocimiento y me enseñaron aspectos muy interesantes.

A quienes involuntariamente he omitido, pero que de alguna u otra forma me apoyaron durante la realización de los estudios del doctorado. A todas esas personas, infinitas gracias.

DEDICATORIAS

En memoria de mi padre: Alfredo Carrizales Domínguez.

A mi madre: Paula Mejía Vázquez

A mis hijos: Norberto, Diego Francisco y Amira Valeria.

A mis hermanos:

Alfredo, Rosa, Tomás, Raúl, María Guadalupe,
Enrique, Patricia, Laura, Martha y sus respectivas y
apreciables familias.

Zapopan, Jalisco. Abril de 2006

CONTENIDO

RESUMEN.....	<i>i</i>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Selección genética.....	4
2.2 Selección recurrente.....	4
2.2.1 Selección de hermanos carnales.....	6
2.2.2 Selección recíproca recurrente.....	7
2.3 Estabilidad a través de ambientes.....	8
2.4 Interacción del genotipo por el ambiente.....	9
2.5 Métodos de caracterización de la IGA.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1 Materiales genéticos.....	12
3.2 Métodos de selección.....	12
3.3 Localidades de evaluación.....	13
3.4 Variables estudiadas.....	15
3.5 Diseño experimental.....	15
3.5.1 Transformación de datos.....	16
3.5.2 Análisis de varianza individual.....	17
3.5.3 Análisis de varianza combinado.....	17
3.6 Análisis estadístico de la interacción genotipo ambiente.....	18
3.7 Estimación de la ganancia por selección.....	20
3.8 Estimación de heterosis.....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Análisis de varianza.....	23
4.2 Evaluación de las ganancias por selección.....	23
4.2.1 Rendimiento de grano	24
4.2.2 Mazorcas por planta.....	29

4.2.3 Porcentaje de mazorcas podridas.....	31
4.2.4 Altura de planta	36
4.2.5 Respuesta de métodos de selección y cruzas cíclicas.....	42
4.2.6 Respuesta a la selección y heterosis.....	44
4.3 Estabilidad de caracteres (modelo multiplicativo).....	48
4.3.1 Análisis de varianza.....	48
4.3.2 Prueba del modelo multiplicativo.....	50
4.3.3 Estabilidad en rendimiento de grano.....	51
4.3.4 Estabilidad en número de mazorcas.....	53
4.3.5 Estabilidad en porcentaje de mazorcas podridas.....	57
5. CONCLUSIONES.....	61
6. BIBLIOGRAFIA.....	64
APENDICE.....	68

LISTA DE CUADROS

Número	Titulo	Pág.
1	Ciclos de selección de las poblaciones 21 (Tuxpeño-1) y 32 (Eto Blanco), y otros genotipos evaluados. CIMMYT – UdeG (2000 - 2002).....	14
2	Claves de ciclos de selección recurrente en tres métodos de mejoramiento, empleados durante 20 ciclos, evaluados para estabilidad del RG y características agronómicas deseables en cinco ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000 - 2002).....	16
3	Localidades de evaluación de los experimentos con genotipos del patrón heterótico Tuxpeño x Eto, y algunas características geográficas. CIMMYT – U de G (2000 -2002).....	16
4	Análisis de varianza conjunto o combinado (Cruz, 1990).....	18
5	Análisis de varianza y prueba del modelo multiplicativo. Cruz (1990).....	19
6	Casos posibles al ajustar el modelo multiplicativo. (Cruz, 1990).....	20
7	Cuadrados medios de análisis combinado para Tuxpeño-1 y Eto Blanco, evaluados en cinco ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT - UdeG (2000- 2002).....	25
8	Coefficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para el rendimiento de grano en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT - UdeG (2000- 2002).....	25
9	Respuesta a la selección para el rendimiento de grano (RG) en Tuxpeño-1 y Eto Blanco dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	27
10	Coefficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para mazorcas por planta en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	29
11	Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en 4 ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	33

continúa lista de cuadros

Número	Titulo	Pág.
12	Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para mazorcas podridas en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	33
13	Respuesta a la selección, pudrición de mazorca, de ciclos Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en 4 ambientes de México. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	36
14	Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para altura de planta en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	37
15	Respuesta a la selección, altura de planta, de ciclos Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	39
16	Ganancia entre métodos y por ciclo de selección del patrón heterótico Tuxpeño x Eto. Genotipos evaluados en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT - UdeG (2000 a 2002).....	43
17	Ganancias porcentuales en heterosis para rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y porcentaje de mazorcas podridas en cruza de métodos de selección cíclica, evaluadas por CIMMYT - UdeG (2000-2002) en 4 ambientes de México y uno de Colombia.....	47
18	Análisis de varianza conjunto, rendimiento de grano, de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002).....	49
19	Análisis de varianza conjunto, número de mazorcas por planta, de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002).....	49

continúa lista de cuadros

Número	Titulo	Pág.
20	Análisis de varianza conjunto en porcentaje de mazorcas podridas de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000- 2002).....	49
21	Cuadro de análisis de interacción G/A, prueba del modelo multiplicativo, para rendimiento de grano de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	50
22	Cuadro de análisis de interacción G/A, prueba del modelo multiplicativo, para número de mazorcas por planta de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	50
23	Cuadro de análisis de IGA, prueba del modelo multiplicativo, para el porcentaje de mazorcas podridas de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	51
24	Análisis general de variación de modelo multiplicativo, rendimiento de grano (ton/ha), de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000- 2002).....	52
25	Respuesta en rendimiento (ton/ha) por análisis multiplicativo, coeficientes (b_k) y desviaciones (D_k) de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Colima, Puebla y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	54
26	Análisis general de variación, modelo multiplicativo, para el número de mazorcas por planta de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002).....	55

continúa lista de cuadros

Número	Título	Pág.
27	Respuesta del número de mazorcas por planta, coeficientes b_k y desviaciones D_k de regresión de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Pob21), Eto Blanco (Pob32) y colectas, evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002).....	56
28	Análisis general de variación, modelo multiplicativo, para el porcentaje de mazorca podrida de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000 – 2002).....	58
29	Respuesta de pudrición de mazorca (%), coeficientes b_k y desviaciones de regresión de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Pob21), Eto Blanco (Pob32) y colectas, evaluados en 4 ambientes de México (Puebla, Colima y 2 en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000 – 2002).....	60

LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Pág.
1	Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-02).....	26
2	Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-02).....	26
3	Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-02).....	32
4	Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-02).....	32
5	Respuesta a la selección, porcentaje de pudrición de mazorca, en ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) en 4 ambientes de evaluación de México. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	35
6	Respuesta a la selección, porcentaje de pudrición de mazorca, en ciclos de Eto Blanco (Población 32) en 4 ambientes de evaluación de México. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	35
7	Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) en 5 ambientes de evaluación de México y Colombia. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	40
8	Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Eto Blanco (Población 32) en 5 ambientes de evaluación de México y Colombia. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	40
9	Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) a través de 5 ambientes de evaluación. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	41
10	Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Eto Blanco (Población 32) a través de 5 ambientes de evaluación. CIMMYT–UdeG (2000-02).....	41

continúa lista de figuras

Número	Titulo	Pág.
11	Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, rendimiento de grano, en cruza del patrón heterótico Tuxpeño x Eto, evaluadas en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT-UdeG (2000-02).....	45
12	Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, número de mazorcas por planta, en cruza del patrón heterótico Tuxpeño x Eto, evaluadas en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT-UdeG (2000-02).....	45
13	Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, porcentaje de mazorcas podridas, en cruza del patrón heterótico Tuxpeño x Eto evaluadas en 5 ambientes de México. CIMMYT-UdeG (2000-02).....	46

APENDICE

LISTA DE CUADROS

Número	Titulo	Pág.
1A	Cuadros medios de análisis individuales para el rendimiento de grano (ton/ha) y caracteres agronómicos de genotipos evaluados en Agua Fría, Puebla (Tuxpeño-1 y Eto Blanco). CIMMYT- 2000B.....	68
2A	Cuadros medios de análisis individuales para rendimiento de grano (ton/ha) y caracteres agronómicos de genotipos evaluados en Tlaltizapán, Morelos (Tuxpeño-1 y Eto Blanco). CIMMYT-2001A.....	68
3A	Cuadros medios de análisis individuales para rendimiento de grano (ton/ha) y caracteres agronómicos de genotipos evaluados en Tlaltizapán, Morelos (Tuxpeño-1 y Eto Blanco). CIMMYT-2000B.....	68
4A	Cuadros medios de análisis individuales para rendimiento de grano (ton/ha) y caracteres agronómicos de genotipos evaluados en Coquimatlán, Colima (Tuxpeño-1 y Eto Blanco). CIMMYT-UdeG (2002 A).....	69
5A	Cuadros medios de análisis individuales para rendimiento de grano (ton/ha) y caracteres agronómicos de genotipos evaluados en Palmira, Colombia (Tuxpeño-1 y Eto Blanco). CIMMYT-2000B.....	69
6A	Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Agua Fría, Puebla. México. CIMMYT-2000B.....	70
7A	Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Tlaltizapán, Morelos. México. CIMMYT- 2001A.....	71
8A	Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Tlaltizapán, Morelos. México. CIMMYT-2000B.....	72
9A	Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Palmira, Colombia. CIMMYT- 2000B.....	73
10A	Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Coquimatlán, Colima. CIMMYT – UdeG (2002 A).....	74

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.), enfrenta varios factores restrictivos en su producción (plagas, enfermedades, heladas, sequía, etc.). La contribución significativa al mejoramiento genético de poblaciones de maíz se encuentra basada en la selección recurrente (SR); efectiva en acumular e incrementar la frecuencia de genes favorables para la mejora gradual y continua de las poblaciones de maíz. El mejoramiento genético de las poblaciones del patrón heterótico "Tuxpeño x Eto" ha utilizado métodos de selección de familias de hermanos carnales (HC), hermanos carnales recíprocos (HCR) y selección recíproca recurrente (SRR) con fin de desarrollar genotipos que incrementen su respuesta en rendimiento de grano y resistan o toleren los factores que restringen la producción de maíz. La presente investigación se llevó a cabo en cinco ambientes de México y Colombia con objeto de: a) determinar el progreso de la selección cíclica (ganancia o incremento) en rendimiento de grano y algunas características agronómicas deseables del maíz tropical Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32); b) evaluar el efecto de la selección recíproca recurrente (SRR) sobre el rendimiento de grano y características agronómicas deseables de ambas poblaciones, en ciclos de selección utilizados y en el patrón heterótico Tuxpeño x Eto; y c) determinar la estabilidad genética del RG y características agronómicas de ciclos de selección, cruzas del patrón heterótico Tuxpeño x Eto y demás genotipos evaluados por el método del modelo multiplicativo (ajustado por regresión). Los resultados indican que la selección recurrente fue efectiva para mejorar las poblaciones Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) tanto para el rendimiento de grano, prolificidad de mazorca y reducción favorable de pudrición de mazorca y altura de planta; debido a ganancias significativas obtenidas conforme se avanzó en la selección (acumulación de genes favorables). Se pudo comprobar que en ciertos ambientes, la respuesta a la selección puede mostrar respuestas negativas y el modelo que mejor se ajusta a los datos no es de tipo lineal. El método de hermanos carnales (HC) fue eficiente al incrementar rápidamente el rendimiento de grano sobre las poblaciones originales y hacer buen aprovechamiento de la varianza genética aditiva; asimismo, el método de HC modificó la altura de planta ya que la redujo inmediatamente en ambas poblaciones. El método de SRR (uso de MH) fue muy eficiente en aprovechar los efectos aditivos y no aditivos en el rendimiento de grano y la prolificidad de mazorca de ambas poblaciones en comparación a los otros dos métodos empleados; asimismo, la SRR aumentó los efectos heteróticos en cruzas hechas entre ciclos avanzados de ambas poblaciones. La reducción de la altura de planta y la

podrición de mazorca, ambas poblaciones, no afectó su rendimiento de grano; el RG fue significativamente superior en los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. Por otra parte, se determinó que el número de mazorcas por planta es el componente esencial de rendimiento de grano, especialmente en ambientes de estrés. En cuanto a resultados de estabilidad de genotipos se encontró que el modelo multiplicativo (ajustado por regresión) no fue eficaz en explicar las interacciones para los caracteres evaluados. Los mejores ambientes para rendimiento de grano y prolificidad de mazorca fueron Colima y Tlaltizapán 2000B, mientras los ambientes de Agua Fría, Tlaltizapán 2001A y Palmira fueron inferiores para estos caracteres. Tlaltizapán 2000B y Colima presentaron menores porcentajes de mazorcas podridas, mientras Agua Fría y Tlaltizapán 2000A presentaron los mayores porcentajes de pudrición. Las mayores alturas de planta de los ciclos Tuxpeño 21 se observaron en Agua Fría y Colima, y las menores se tuvieron en Tlaltizapán (2000B y 2001A); asimismo, Eto Blanco presentó el mismo comportamiento pero su menor altura fue en Tlaltizapán B. La crusa de Tuxpeño-1 c19 x CML449 fue el mejor genotipo en rendimiento, mientras las colectas tuvieron un rendimiento menor a la media del experimento. El testigo CML448 x CML449 sobresalió en prolificidad de mazorca y menor porcentaje de mazorcas podridas junto con Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19 y Tuxpeño-1 c19 x CML449. Los ciclos de selección avanzados y las cruas entre estos ciclos, por lo general, responden mejor a ambientes carentes de estrés (buenos) y responden mal a ambientes con estrés (malos), lo que los hace inestables y sólo deberán sugerirse para ambientes regulares y buenos. Tuxpeño-1 c0 y Eto Blanco c0 tuvieron menores rendimientos de grano, menor prolificidad y mayores porcentajes de mazorcas podridas, considerándose inadecuados para la mejora de esos caracteres en relación a los ciclos avanzados; igual sucedió con las colectas, que no superaron las expectativas.

I. INTRODUCCIÓN

Los países en vías de desarrollo presentan factores y condiciones limitantes en la producción de maíz (*Zea mays* L.), que provocan una insuficiente producción de grano para alimentación humana y animal. El cultivo del maíz se desarrolla en México en zonas de clima cálido, templado y frío (desde el nivel del mar hasta altitudes cercanas a los 3,000 metros sobre el nivel del mar); por tanto, es motivo constante de preocupación de instituciones de gobierno y privadas (investigación y docencia) para tratar de encontrar genotipos rendidores, estables, de buena calidad y con características agronómicas deseables, que superen los diversos factores limitantes en la producción de grano de esta gramínea (plagas, enfermedades, heladas, sequía, etc.).

En 1994 el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) reportó rendimientos medios de grano de maíz de 2.4 ton/ha para los países en vías de desarrollo, caracterizados por presentar condiciones inadecuadas de alimentación y producción; del mismo modo se presentaron rendimientos medios de 6.9 ton/ha para los países desarrollados. En México, durante los últimos 50 años, la producción media anual del maíz se ha incrementado de 1 a 2.56 ton/ha; este cultivo se efectúa en poco más de 8 millones de hectáreas y se produce una cosecha total de 20.5 millones de toneladas al año (FAOSTAT, 2005); de la misma forma, el maíz es considerado un recurso genético valioso, por su potencial de rendimiento y por su importancia en la alimentación de sus habitantes. Sierra *et al.* (2002) señalaron, para el trópico de México, una superficie total de 2.75 millones de ha cultivada con maíz durante 1988 de las cuales poco más de un millón de ha fueron cultivadas en áreas tropicales de muy buena productividad.

A través del tiempo se han desarrollado poblaciones y genotipos mejorados de maíz con la ayuda de diferentes métodos de selección tales como: hermanos carnales (HC), medios hermanos maternos/paternos (MH) y auto hermanos (AH), en su forma original y/o por selección combinada con selección recíproca recurrente. Cuando estos métodos toman en cuenta la selección recurrente, las poblaciones bajo proceso de mejoramiento incrementan la frecuencia de genes o alelos favorables y su valor medio (Villena *et al.*, 1974, Márquez, 1985, Hallauer y Miranda, 1987, López, 1995, Aguilar, 1997, Paliwal, 2001 y Doerksen *et al.*, 2003). La actividad de los programas de mejoramiento genético de maíz tropical ha producido varios genotipos sobresalientes; sin embargo, no todos los genotipos obtenidos

presentan estabilidad adecuada del rendimiento de grano a través de ambientes de producción, ni para otras características cuantitativas importantes, factibles de mejorar.

1. OBJETIVO.

El objetivo principal del estudio fue evaluar el efecto de la selección recurrente sobre la estabilidad del rendimiento de grano y algunas características agronómicas importantes de las poblaciones de maíz Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32), obtenidas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en cuatro ambientes de México y uno de Colombia con los siguientes objetivos particulares:

- i) Determinar el progreso de la selección cíclica en el rendimiento de grano y algunas características agronómicas deseables del maíz tropical Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32), a través de cinco ambientes de evaluación.
- ii) Determinar el efecto de la selección recíproca recurrente (SRR) sobre el rendimiento de grano y características agronómicas deseables de ambas poblaciones de maíz, en los ciclos de selección usados y en el patrón heterótico Tuxpeño x Eto.
- iii) Determinar, a través de cinco ambientes, la estabilidad genética del rendimiento de grano y características agronómicas de los ciclos de selección, y de cruces del patrón heterótico Tuxpeño x Eto.

2. HIPOTESIS.

Para poder lograr los objetivos anteriores se plantearon las siguientes hipótesis en el estudio:

- i) Las poblaciones de Tuxpeño-1 y Eto Blanco, mejoradas por los métodos de selección de hermanos carnales (HC), hermanos carnales por selección recíproca (HCR) y medios hermanos por selección recíproca recurrente (SRR) responden en forma diferencial a la selección cíclica hecha para el rendimiento de grano y

características agronómicas deseables, con incrementos y/o ganancias significativas.

- ii) La SRR puede ser efectiva para fijar los efectos genéticos, expresados en la heterosis y estabilidad del rendimiento.
- iii) Las poblaciones y las cruzas formadas por los diferentes ciclos de selección presentan estabilidad genética en rendimiento y características agronómicas importantes, a través de ambientes probados, debido a la acumulación gradual de genes o alelos favorables.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Selección genética.

Mediante el mejoramiento genético de maíz se han generado genotipos tropicales, caracterizados por su alto rendimiento y características agronómicas deseables. Falconer (1972), definió a la selección genética como el proceso mediante el cual sólo se permite la producción de descendencia a los individuos con características deseables. Así mismo indicó que las diferencias cuantitativas individuales de una población proporcionan el material efectivo de la selección natural sobre las poblaciones; por tanto, sus individuos contribuyen de igual forma en la siguiente generación aunque difieran en viabilidad y fertilidad.

Hallauer y Miranda (1987), observaron cambios de la media poblacional en una dirección favorable en poblaciones seleccionadas e indicaron que la variabilidad genética se mantiene para las futuras generaciones a través de la recombinación de progenies superiores. A fin de evaluar el proceso de selección proponen el uso de parámetros o características importantes de la población (media, varianza genética aditiva, heredabilidad y correlaciones aditivas). Asimismo Hallauer y Miranda (1988), citados por Moreno *et. al.* (2004), indicaron las metodologías de selección, divididas en intra e interpoblacionales y consideraron que en las primeras se aprovecha la varianza genética aditiva (σ^2_A) y en las segundas las varianzas aditiva y de dominancia (σ^2_D).

2.2 Selección recurrente.

Cuando se habla de selección recurrente (SR), es importante señalar su contribución significativa al mejoramiento genético de poblaciones de maíz; su objetivo principal ha sido acumular e incrementar la frecuencia de genes (alelos favorables) para mejorar gradual y continuamente las poblaciones, así lo señalaron Villena *et. al.*, 1974; Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1987; López, 1995; Aguilar, 1997; Guzman y Lamkey, 2000; Paliwal, 2001; Doerksen *et. al.*, 2003, entre otros.

Los investigadores Hayes y Garber (1919), propusieron el método de selección recurrente con el objeto de generar "genotipos sintéticos" de maíz con mayor contenido de proteína. Asimismo, Jenkins (1940), citado por López (1995) y Aguilar (1997), propuso un tipo de SR

para desarrollar “genotipos sintéticos” a partir de líneas de pocas autofecundaciones. Sprague *et. al.* (1952), citados por López (1995), incrementaron rápidamente los porcentajes del contenido de aceite en poblaciones de maíz, a través de ciclos de SR, en comparación a la población original.

El mejoramiento por SR ha estado enfocado al mejoramiento del rendimiento de las poblaciones, así como a mantener su variabilidad genética por selección continua. Guzmán y Lamkey (2000) señalaron que el incremento en la frecuencia de los genes favorables aumenta la probabilidad de obtener líneas elite con habilidad combinatoria (AC) superior. De manera general, los métodos de mejoramiento de hermanos carnales (HC), hermanos carnales por selección recíproca (HCR) y medios hermanos recíprocos recurrentes o SRR original contienen a la SR, ya que, el procedimiento de selección se repite en forma consecutiva hasta llegar a niveles de mejoramiento esperados (selección cíclica).

Aguilar (1997) y Paliwal (2001) describieron diferentes esquemas de SR e indicaron tres etapas importantes en el mejoramiento de los caracteres cuantitativos, dentro y entre poblaciones:

1. Formación de familias por muestreo de la población y desarrollo de progenies de la población o poblaciones originales.
2. Evaluación y selección de familias de características aceptables con selección visual de progenies y pruebas hechas en laboratorio o en campo.
3. Cruzamiento y recombinación de las familias seleccionadas con progenies seleccionadas para formar el ciclo siguiente de la población y continuar la selección.

El uso de la SR fue resaltado por Villena *et. al.* (1974), quienes señalaron que este procedimiento mejora de forma continua y dinámica las poblaciones de maíz reflejándose en un alto rendimiento de grano (RG), amplia estabilidad en diferentes ambientes y buenas características agronómicas. Un ejemplo clásico es la modificación de la altura de planta (AP) de maíz en el trópico; como es sabido, cuando se usan altas densidades de población y se aplican altas dosis de fertilizante (suplementario al suelo) se incrementa el problema de acame (Johnson y Fischer, 1980). Por su parte, Lee *et. al.* (2003) indicaron que la SR mejora la estabilidad del RG de maíz y señalaron a ese carácter como heredable, predecible y generalmente controlable a través de la acción génica aditiva.

2.2.1 Selección de hermanos carnales (HC).

Márquez (1985) y Hallauer y Miranda (1987), señalaron a la SR de familias de hermanos carnales (SRFHC) como más eficiente que la SR de familias de medios hermanos (SRFMH); sin embargo, el primer procedimiento involucra más trabajo y más costo, ya que requiere de polinización manual. Varios estudios que involucran el método de selección de HC fueron enfocados a mejorar los caracteres agronómicos y el RG de varias poblaciones de maíz, además de obtener nuevas poblaciones y líneas elite. Villena y Johnson (1973), estudiaron la respuesta de la selección de familias de HC para reducir la AP y determinar el efecto de la misma, el RG, el acame de raíz (ACR) y el acame de tallo (ACT) en 3 poblaciones de maíz tropical; ellos encontraron reducciones significativas de la AP en las poblaciones estudiadas (62, 33 y 47 cm respectivos) o porcentajes de reducción de 21, 14 y 18 % equivalentes a tasas de reducción de -3, -2.3 y -11.5 %, por ciclo de selección. Adicionalmente, se detectaron reducciones significativas de ACR, con tasas de -6.8, -10.7 y -11.5 %, por ciclo de selección.

Córdova *et. al.* (2002), hicieron referencia al segundo quinquenio de los años setenta; cuando el CIMMYT incorporó en sus poblaciones el método de HC para los programas nacionales de Centroamérica. Como resultados de los trabajos se obtuvo una variedad sintética, derivada del ciclo 3 de la población 73, con una ganancia total en selección de 24.88 % en RG o incremento total de 846 kg/ha. Asimismo, señalaron una fuerte asociación del RG con el incremento de la resistencia al achaparramiento (12.5 % de reducción). La comparación entre el testigo susceptible H-5 y el sintético SC3 P73 mostró al primero con RG de 2,546 kg/ha y 53% de mazorca afectada y en cambio el segundo obtuvo 4,246 kg/ha de RG con 16.65% de mazorca afectada.

Varios estudios reportan un aumento significativo del RG, por medio de la selección de HC en diferentes poblaciones de maíz, tal es el caso de los incrementos en RG, 4.4 % a 18 %, por ciclo de selección (Villena *et. al.*, 1974; Johnson y Fischer, 1980; Johnson *et. al.*, 1986; Córdova *et. al.*, 2002). La reducción significativa en la AP debida al método de HC, señala porcentajes de disminución que van de 0.97 % a 11.5 %, por ciclo de selección y de 5.83 cm a 7.48 cm, por ciclo de selección (Johnson y Fischer, 1980; Ramírez *et. al.*, 2000). Asimismo, Villena *et. al.* (1974); Johnson y Fischer (1980) y Johnson *et. al.* (1986) reportaron la eficiencia de la selección de HC para reducir la AP; destacaron una reducción casi lineal del 50 a 60 % en ciclos avanzados de poblaciones estudiadas, sobre el ciclo cero. Por otra parte,

dichos autores indicaron una aparente reducción de AP, que no afectó el RG de las poblaciones, sino que, fue acompañada por un aumento significativo del RG en la mayoría de los casos. También, estudios efectuados por Villena *et. al.* (1974); Johnson *et. al.* (1986); y Ramírez *et. al.* (2000), mostraron reducciones significativas de pudrición de mazorca (0.97 %), acame de raíz (1.17%), acame de tallo, por ciclo de selección y la eficiencia del método de SR de familias hermanas en mejoramiento de la estabilidad de poblaciones.

2.2.2 Selección recíproca recurrente (SRR).

Comstock, Robinson y Harvey (1949), citados por López (1995), propusieron la selección recíproca recurrente (SRR) para seleccionar tanto aptitud combinatoria general (ACG) como específica (ACE). Falconer (1972), señaló la aplicación de un sistema de SR para mejorar poblaciones de medios hermanos e incrementar gradualmente la frecuencia génica de determinado carácter (alelos favorables), siempre y cuando su expresión fuera de herencia cuantitativa para mantener una alta variabilidad genética y asegurar el mejoramiento progresivo de las poblaciones.

La SRR es una transformación de la SR que involucra el mejoramiento simultáneo de dos poblaciones (A y B), explota todo tipo de acción génica responsable de la heterosis, mejora en forma eficaz el RG *per se* de poblaciones y hace énfasis en mejorar el comportamiento de las cruzas entre poblaciones (Falconer, 1972; Keeratinijakal y Lamkey, 1993, citados por Moreno *et. al.*, 2004; López, 1995).

Se han llevado a cabo una cantidad considerable de estudios para mostrar la eficiencia de la SRR en el mejoramiento de poblaciones, tanto en su forma original como modificada. Vasal *et. al.* (1982) y Márquez (1985), indicaron la favorable combinación en cruzas de poblaciones Tuxpeño PB y Eto PB cuando usaron métodos de mejoramiento modificados por SRR y sugirieron el aprovechamiento inmediato en híbridos simples, trilineales o dobles.

Edmeades *et. al.* (1996) observaron que la SRR (en sequía y baja fertilidad) incrementó el RG del maíz tropical; señalaron el incremento del RG en la población "La Posta Sequía", 1.91 ton/ha en el C0 a 2.53 ton/ha en el C3; resultados similares se observaron en Tuxpeño Sequía, debido a que presentó rendimientos de 1.75 ton/ha en el ciclo 0 y 2.39 ton/ha en el ciclo 8.

Paliwal (2001), hizo una revisión exhaustiva y observó los resultados de varios mejoradores de maíz de CIMMYT (Paliwal y Sprague, 1981; Vasal *et. al.*, 1982; Pandey *et. al.*, 1984; De León y Pandey, 1989; Granados *et. al.*, 1993) que usaron la SRR para el mejoramiento de grupos de genes de base amplia y encontraron en un grupo variable de ciclos de selección, del ciclo 3 al ciclo 16, ganancias de -0.16% a 5.9% por ciclo, bajo presión de selección moderada.

Menz *et. al.* (1999), hicieron un estudio para comparar la respuesta a la selección vía SRR y selección recíproca recurrente modificada (SRRM) en poblaciones de maíz BS21 y BS22. Obtuvieron un incremento significativo del RG en todas las cruces de las poblaciones, manifestado en una respuesta directa a la SRR (4.4 % por ciclo) en comparación a la SRRM.

Tabanao y Rex (2005), usaron la SRR con objeto de evaluar el rendimiento de los ciclos 0 y 5 de dos poblaciones de maíz; encontraron incrementos significativos en RG, reducciones del porcentaje de humedad, y reducciones del acame de raíz y de tallo. Para el RG la SRR presentó altas ganancias por ciclo (130 a 160 kg/ha).

2.3 Estabilidad a través de ambientes.

Finlay y Wilkinson (1963), al estudiar la adaptabilidad de poblaciones de cebada usaron el análisis de regresión propuesto por Yates y Cochran (1938); definieron como “genotipos estables” a los poco afectados por condiciones ambientales, con valores de regresión cercanos a cero. Según Eberhart y Russell (1966), un genotipo con varianza total mínima bajo diferentes ambientes debe ser considerado biológicamente estable y un genotipo que interacciona en forma mínima con el ambiente pero con buen rendimiento debe considerarse agrónomicamente estable; ellos propusieron el modelo de parámetros de estabilidad para determinar la estabilidad de genotipos a través de una serie de ambientes; y llamaron “genotipos estables” a aquellos con $b_i = 1$ y pocas desviaciones de las observaciones reales a la recta de regresión ajustada.

La estabilidad trata de explicar el ajuste de genotipos a cambios de estímulos ambientales cuando se evalúan en diferentes ambientes; sin embargo, por lo general el análisis no permite diferenciar los genotipos en estabilidad de comportamiento a través de diferentes ambientes. Márquez (1992), resumió el concepto de estabilidad genética y señaló como variedad estable a la que responde a un ambiente pero no interactúa y consideró las medias de los genotipos en

cada uno de los ambientes para estimar cuantitativamente a los ambientes. Por otra parte, se ha propuesto que la estabilidad puede ser una condición intrínseca (genética) de individuos en una población homogénea o bien, una condición de la población determinada también por la constitución genética de los individuos que la integran y su integración entre éstos (Crossa, 1992 y Lúquez *et. al.*, 2002).

2.4 Interacción del genotipo por el ambiente.

Márquez (1974, 1992) y Cruz (1989), consideraron la interacción genotipo/ambiente (IGA) como el comportamiento relativo diferencial que presentan los genotipos bajo diferentes ambientes, entendiéndose por ambiente el complejo climático, edáfico y tecnológico que actúa sobre el genotipo. Baker (1988), citado por Kang (2001), consideró que la IGA explica la diferencia entre el valor fenotípico, el valor esperado del genotipo y el valor ambiental.

Cruz (1990), citó la definición estadística emitida por Federer (1955), quien señaló a la IGA como la falla de algunos genotipos para mantener su diferencia en la magnitud de respuesta con respecto a otro (considerando los errores aleatorios en las variables de respuesta) para algunos de los ambientes de prueba.

Para Baker (1988), citado por Crossa (1992), la interpretación tradicional de resultados de evaluación de genotipos no indica una respuesta paralela de estos en todos los ambientes, sino por el contrario, las respuestas se entrecruzan (en mejoramiento el cambio en el rango de los genotipos a través de ambientes es la interacción más importante); ese tipo de interpretación de la IGA, según Crossa (1992), es de tipo cualitativo mientras que el cuantitativo no muestra cambios de rango; no obstante, cuando se detecta interacción cualitativa en una serie de ensayos, los subgrupos de genotipos deben ser recomendados para ciertos ambientes, mientras que con las interacciones cuantitativas los genotipos con media superior pueden ser usados en todos los ambientes.

La heredabilidad de caracteres genéticos juega un papel clave en la determinación del avance genético por selección, ya que una IGA grande la afecta negativamente; la IGA alta refleja la necesidad de probar genotipos en numerosos ambientes, localidades y años para obtener resultados confiables y los ensayos de genotipos pueden efectuarse en varias localidades en tiempo y espacio, ya que desempeñan un papel preponderante para el fitomejorador (Kang,

2001). De manera general, los criterios para seleccionar genotipos estables con altos rendimientos han sido la media de rendimiento, la respuesta de regresión de la media del rendimiento con la media ambiental y las desviaciones de regresión (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966 y Langer *et. al.*, 1979).

Kang (2001) mencionó que la IGA interesa a los fitomejoradores por:

1. La necesidad de desarrollar genotipos para los propósitos específicos en ambientes predecibles.
2. La necesidad de genotipos para regiones geográficas amplias.
3. La distribución adecuada de los recursos de investigación, sobre todo en relación a evaluación de genotipos.
4. El entendimiento de la estabilidad en el comportamiento de los genotipos y la recomendación para condiciones ambientales específicas o generales de los genotipos.

2.5 Métodos de caracterización de la IGA.

Crossa y Edmeades (1997); Flores *et. al.*, 1998, citado por Kang en 2001; y Kang (2001) agruparon y clasificaron distintos métodos para formar un criterio de comparaciones entre éstos y detectar o caracterizar la IGA. Algunos de los métodos se señalan a continuación.

- a) Métodos univariados “paramétricos” como la regresión, parámetros de estabilidad de Eberhart y Russel (1966), ecovalencia de Wricke (1960), método de TAI (1971) y la estabilidad de la varianza de Shukla (1972), entre otros.
- b) Métodos univariados “no paramétricos” que incluye técnicas de rangos como la S cúbica de Huhn (1979), índice L de Langer *et. al.* (1979), métodos propuestos por Kang (1988) y Ketrunk y colaboradores (1989), el método FOXRANK propuesto por Fox *et. al.* (1990), el método STAR de Flores (1993), entre otros.
- c) Métodos paramétricos “multivariados” de efectos aditivos principales y análisis de interacción multiplicativa (AMMI) así como el análisis del modelo multiplicativo o análisis “cluster”.

Cada modelo sigue diferentes propósitos, algunos estiman los parámetros de estabilidad, otros se utilizan para agrupar ambientes o genotipos en grupos homogéneos y otros examinan y cuantifican la parte de la IGA.

Cruz (1990) presentó su tipo de análisis e interpretación del modelo, así como el ajuste del mismo, mencionó que Yates y Cochran (1938) fueron los principales introductores del “Modelo Multiplicativo,” ya que analizaron series de experimentos con lugares, años y genotipos con análisis de regresión entre rendimientos medios de genotipos por localidad y rendimientos medios de las localidades.

El método considera los coeficientes “reparametrizados” del análisis multiplicativo, equivalentes a los del modelo de Eberhart y Russell (1966); este procedimiento es el más conocido para estimar el coeficiente de regresión y utiliza las desviaciones de las medias de cada ambiente con respecto a la media general como variable independiente (índices ambientales) y las medias de cada genotipo en cada ambiente como variables dependientes en un análisis de regresión. Considera la “reparametrización” de coeficientes reportada por Mandel (1961), citado por Cruz (1990), que está de acuerdo con el análisis clásico de regresión donde al aceptar la nulidad del coeficiente de regresión se acepta la no existencia de una relación lineal entre las variables en estudio, incluye los coeficientes de regresión (b_K) y las desviaciones de regresión (D_K) para describir situaciones posibles de ajuste al modelo multiplicativo, genotipos con $b_K = 0$ y $D_K = 0$ tienen sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3. 1. Materiales genéticos.

El presente trabajo forma parte de un convenio del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con la Universidad de Guadalajara (U de G). Los materiales se componen de 32 genotipos de maíz del Subprograma de Trópicos Bajos del CIMMYT y forman parte de un proyecto conducido entre los años 2000 y 2001. El germoplasma es característico del patrón heterótico "Tuxpeño x Eto" y el grupo de genotipos se integró por ciclos de selección de Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32), por cruzas entre ciclos, cruzas de ciclos por los probadores CML448 y CML449, colectas, cruzas de ciclo por colecta y la crusa testigo CML448 x CML449 (Ver Cuadro 1).

La Población 21 de la raza "Tuxpeño" (Tuxpeño-1) Fue integrada por las siguientes accesiones del CIMMYT: Veracruz 48, Veracruz 143, Veracruz 174, Michoacán 137, Michoacán 166, V-520C, Colima Grupo 1 (mezcla 1) y 16 familias del Pool 24 (tropical, blanco, dentado y tardío).

La Población 32 del Eto Blanco ó Diacol-V351 se desarrolló en Colombia a partir de 11 mazorcas seleccionadas, cruzas avanzadas de Colombia 1 (Blanco Común y Blanco de Urrao) y Venezuela 1 (Amarillo, Cubano y Cristalino) con germoplasma recombinado de Argentina, Brasil, Cuba, México, Puerto Rico, Estados Unidos y Venezuela con segregantes blancos originados de Eto Blanco y es, además, una variedad que ha estado distribuida en Colombia desde 1951.

3.2 Métodos de Selección.

Los métodos de selección recurrente (SR) utilizados para mejorar las poblaciones Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) fueron tres.

1. Selección de hermanos carnales (HC). Con criterios de selección enfocados al aumento del rendimiento de grano (RG) y reducción de la altura de planta (AP), durante el ciclo uno hasta el ciclo 11.
2. Selección de hermanos carnales recíprocos dentro de cada población (HCR). Durante el ciclo 12 al ciclo 16, con criterios de selección enfocados al RG,

podrición de mazorca (MZPDR), acame de raíz (ACR), y amplia adaptación; con prueba de progenie en múltiples localidades.

3. Selección recíproca recurrente (SRR) entre poblaciones de Tuxpeño-I y Eto Blanco. Durante el ciclo 17 al ciclo 19, usando medios hermanos en la evaluación (MH), con criterios de selección similares a los anteriores.

Estos métodos de selección fueron utilizados por el CIMMYT, en ambas poblaciones, durante 20 ciclos. La presión de selección usada fue de 10 al 20 % en el primer método, 20 % en el segundo método, y de 10 a 15% en el tercer método.

Los primeros 11 ciclos de selección se hicieron en Poza Rica, Veracruz y los ciclos de selección de los últimos dos métodos se hicieron en seis localidades de diferentes partes del mundo. El Cuadro 2 muestra las equivalencias de los ciclos para cada método de selección recurrente utilizado.

Para medir y determinar la ganancia de la selección cíclica se utilizó el análisis de regresión lineal. Se compararon las medias obtenidas por los ciclos dentro de cada método y entre métodos; asimismo, con ésta metodología se evaluó el incremento en heterosis de las cruzas (Ciclo x Ciclo) en ambas poblaciones.

3.3 Localidades de evaluación.

Se llevaron a cabo tres experimentos en condiciones de temporal y dos en riego. Cuatro de los experimentos fueron establecidos y conducidos por el CIMMYT en tres ambientes de México y uno de Colombia. Uno en Puebla (2000B), dos en Morelos (2000B y 2001A) y uno en Palmira (2000B). Además, la UdeG estableció y condujo un experimento en Colima (2002A). El Cuadro 3 presenta el nombre, ubicación geográfica y altura sobre el nivel del mar de las cinco localidades.

Cuadro 1 Ciclos de selección de las poblaciones 21 (Tuxpeño-1) y 32 (Eto Blanco), y otros genotipos evaluados. CIMMYT – UdeG (2000 - 2002)

Entrada	Pedigree	Origen
1	Tuxpeño -1 C6	TL00A1438-27#
2	Tuxpeño -1 C11	TL00A1438-41#
3	Tuxpeño -1 C16	TL00A1438-79#
4	Tuxpeño -1 C19	TL00A1438-91#
5	Eto Blanco C11	TL00A1438-44#
6	Eto Blanco C16	TL00A1438-82#
7	Eto Blanco C19	TL00A1438-94#
8	Tuxpeño -1 C11 x Eto Blanco C11	TL00A1438-42 x 45
9	Tuxpeño -1 C16 x Eto Blanco C16	TL00A1438-80 x 83
10	Tuxpeño -1 C19 x Eto Blanco C19	TL00A1438-92 x 95
11	Tuxpeño -1 C6 x CML449	TL00A1438-28 x 152
12	Tuxpeño -1 C11 x CML449	TL00A1438-43 x 152
13	Tuxpeño -1 C16 x CML449	TL00A1438-81 x 152
14	Tuxpeño -1 C19 x CML449	TL00A1438-93 x 152
15	Eto Blanco C11 x CML448	TL00A1438-46 x 151
16	Eto Blanco C16 x CML448	TL00A1438-84 x 151
17	Eto Blanco C19 x CML448	TL00A1438-96 x 151
18	CML448 x CML449	COT00A434-641x 642
19	* Tuxpeño -1 C0	TL00AI438-25#
20	** Eto Blanco C0	TL00AI438-11#
21	Tuxpeño -1 C0 x CML 449	TLOOA1438-26x152
22	Eto Blanco C0 x CML 448	TLOOA1438-12x151
23	Veracruz-39	TLOOA1438-1#
24	Veracruz-39 x CML449	TLOOA1438-2x152
25	Michoacán-166	TLOOA1438-3#
26	Michoacán-166 x CML 449	TLOOA1438-4x152
27	V-520-C	TLOOA1438-5#
28	V-520-C x CML 449	TLOOA1438-6x152
29	Toli-322	TL00A1438-7#
30	Toli-322 x CML448	TLOOA1438-8x151
31	Vall-380	TL00AI438-9#
32	Vall-380 x CML 448	TLOOA1438-10x151

*Tuxpeño-1 (Población 21) C0

** Eto Blanco (Población 32) C0 ó Diacol – V351 C0

3.4 Variables estudiadas.

Se obtuvieron datos de diez variables, de acuerdo al formato para manejo y toma de datos en ensayos internacionales de maíz (CIMMYT, 1985).

- 1) Floración masculina. Días a floración transcurridos desde la fecha de siembra hasta el 50% de espigas liberando polen (DFM).
- 2) Floración femenina. Días a floración transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50% de las plantas mostraron estigmas (DFF).
- 3) Asincronía floral (ASI). Cálculo de la diferencia entre los días a floración femenina, menos los días a floración masculina.
- 4) Altura de planta (AP). Distancia en cm, desde la base de la planta hasta la base la primera rama de la espiga.
- 5) Altura de mazorca (AM). Media de altura (cm) de las mismas plantas, determinada a partir de la base de la planta hasta el nudo de la mazorca más alta.
- 6) Acame de tallo (ACT). Porcentaje de plantas con tallos rotos o doblados debajo de la mazorca principal, cuantificado a la cosecha.
- 7) Acame de raíz (ACR). Porcentaje de plantas cuyo ángulo de inclinación es $> 30^\circ$ a partir de la perpendicular de la base donde comienza la zona radical, cuantificada a la cosecha.
- 8) Mazorcas por planta (MZPP). Cociente del número total de mazorcas entre el número total de plantas, en la parcela útil.
- 9) Pudrición de mazorca (MZPDR). Porcentaje de mazorcas podridas, calculado por el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas totales por cien.
- 10) Rendimiento de grano (RG). Peso final de mazorcas cosechadas en la parcela útil con 15 a 25% de humedad y corregido por fallas, humedad (15%) y desgrane (transformado a ton/ha).

3.5 Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado en el presente estudio fue el de bloques completos al azar. Cada experimento estuvo integrado por dos bloques (repeticiones) de 32 tratamientos, compuestos por parcelas de dos surcos de 5 x 0.80 m cada uno (8 m²). La parcela útil fue igual a la parcela total y se sembraron dos semillas por golpe a 0.25 m de separación entre

matas; se hizo un aclareo para asegurar una densidad de población de 53,000 pl/ha. El modelo del diseño de bloques completos al azar para cada ambiente es el siguiente:

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

donde Y_{ij} es la variable de respuesta del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque; μ es la media general; T_i es el efecto de los tratamientos; β_j es el efecto de los bloques; y E_{ij} es el error experimental.

Cuadro 2 Claves de ciclos de selección recurrente en tres métodos de mejoramiento, empleados durante 20 ciclos, evaluados para estabilidad del RG y características agronómicas deseables en cinco ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000 - 2002)

Tuxpeño-1 (Población 21)	Eto Blanco (Población 32)
Tuxpeño-1 Ciclo 0 (HC)	Eto Blanco Ciclo 0 (HC)
Tuxpeño-1 Ciclo 11 (HC) = Ciclo 0 (HCR)	Eto Blanco Ciclo 11 (HC) = Ciclo 0 (HCR)
Tuxpeño-1 Ciclo 16 = Ciclo 5 (HCR) = C 0 (SRR)	Eto Blanco Ciclo 16 = Ciclo 5 (HCR) = C 0 (SRR)
Tuxpeño-1 Ciclo 19 = Ciclo 3 (SRR)	Eto Blanco Ciclo 19 = Ciclo 3 (SRR)

Cuadro 3 Localidades de evaluación de los experimentos con genotipos del patrón heterótico (Tuxpeño por Eto), y algunas características geográficas. CIMMYT - UdeG (2000 -2002)

LOCALIDAD	Latitud	Longitud	ASNM
	Norte	Oeste	(m)
Agua Fría, Puebla.	19° 58' 48"	97° 49' 36"	780
Tlaltizapán, Morelos.	18° 31'	99° 18'	940
Coquimatlán, Colima	19° 03'	103° 48'	400
Palmira, Colombia	3° 31' 48"	76° 81' 13"	1001

3.5.1 Transformación de datos.

La transformación de datos correspondientes al número de MZPP y al porcentaje de MZPDR se hizo al obtener la raíz cuadrada de la observación (X) más 0.5 con el fin de lograr aproximación a la distribución normal:

$$\sqrt{X + 0.5}$$

3.5.2 Análisis de varianza individual.

Con fin de probar las hipótesis acerca de los genotipos:

- a) Hipótesis nula: los genotipos evaluados son iguales entre si.

$$(H_0: T_1 = T_2 = \dots = T_{32})$$

- b) Hipótesis alternativa: al menos uno de los genotipos es diferente a los demás.

3.5.3 Análisis de varianza combinado.

El modelo para el análisis combinado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R: A_{ij} + G_k + GA_{ik} + e_{ijk}$$

donde $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, r$; $k = 1, 2, \dots, g$; μ = media general; A_i = efecto del i -ésimo ambiente; $R: A_{ij}$ = efecto del j -ésimo bloque en el i -ésimo ambiente, los dos puntos (:) entre R y A indican que el factor R esta anidado en el A; G_k = efecto del k -ésimo genotipo; GA_{ik} = efecto de la interacción genotipo – ambiente; e_{ijk} = error asociado con Y_{ijk} el cual es igual a la observación en el k -ésimo genotipo del bloque j -ésimo en el i -ésimo ambiente; a = número de ambientes; g = al número de genotipos; y r = al número de repeticiones.

Las pruebas de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) son.

- a) Para genotipos la $H_0: G_1 = G_2 = \dots = G_{32}$, mientras que la hipótesis alternativa indica que cuando menos un genotipo es diferente al resto. El estadístico de prueba utilizado fue F al 1 y 5% de probabilidades. $F_c = CMG/CME$, donde CMG es el cuadrado medio de los genotipos con $(g-1)$ grados de libertad y CME es el cuadrado medio del error con sus grados de libertad. La F_c se comparó con F tabulada a los niveles de probabilidad indicados y los grados de libertad de genotipos y error experimental
- b) Para la interacción de genotipos/ambiente (IGA), la hipótesis nula $H_0: (GA)_{11} = (GA)_{12} = \dots = (GA)_{ik} = 0$ indica que los efectos de interacción son iguales a 0 para todos los genotipos en todos los ambientes. La H_a señala que al menos uno de los efectos de interacción genotipo/ambiente es diferente de 0, es decir, que al menos uno de los genotipos se comporta de manera diferente a través de ambientes. El estadístico de prueba fue F al 1 y 5 % de probabilidad con $F_c = CMGA/CME$, donde CMGA equivale al cuadrado medio de GA con $(a - 1) (g - 1)$ grados de libertad y CME es el cuadrado medio del error con sus grados de libertad.

Cuadro 4 Análisis de varianza conjunto o combinado (Cruz, 1990).

FV	GL	SC	CM
A	a - 1	SCA	$CMA = \frac{SCA}{(a-1)}$
R:A	(r - 1) a	SCR:A	$CMR : A = \frac{SCR : A}{(r-1)a}$
G	g - 1	SCG	$CMG = \frac{SCG}{(g-1)}$
GA	(a - 1)(g - 1)	SCGA	$CMGA = \frac{SCGA}{(a-1)(g-1)}$
Error	(g - 1)(r - 1) a	SCE	$CME = \frac{SCE}{(g-1)(r-1)a}$
TOTAL	arg - 1	SCT	

FV = Fuentes de variación SC = Sumas de cuadrados GL = Grados de libertad CM = Cuadrados medios

3.6 Análisis estadístico de la interacción genotipo-ambiente.

Para el análisis de la interacción genotipo-ambiente se usó el Modelo Multiplicativo (ajustado por regresión), Cruz, 1990. Su modelo fue el siguiente.

$$Y_{ik} = \mu + (1 + \beta_k) A_i + G_k + d_{ik} + e_{ik}$$

donde Y_{ik} indica la sumatoria de las observaciones del k-ésimo genotipo en el i-ésimo ambiente; μ es la media general; $(1 + \beta_k)$ es el coeficiente de regresión del k-ésimo genotipo; A_i es el efecto del i-ésimo ambiente; G_k es el efecto del k-ésimo genotipo; d_{ik} es la desviación de regresión del k-ésimo genotipo en el i-ésimo ambiente; y e_{jk} es el error asociado con la media Y_{ik}

El análisis de varianza y la prueba del modelo multiplicativo se presentan en el Cuadro 5; este procedimiento (dentro del modelo multiplicativo) es el más conocido para estimar $(1 + \beta_k)$ y los estimadores de b_k y B_k pueden obtenerse con la fórmula:

$$1 + b_k = \frac{\sum (Y_{i.} - \bar{Y}_{..}) Y_{ik}}{\sum (Y_{i.} - \bar{Y}_{..})^2}$$

Cuadro 5 Análisis de varianza y prueba del modelo multiplicativo. Cruz (1990).

F.V	G.L	S.C	Fc
A	a-1		
R:A	(r-1) a		
GA	(g-1) (a-1)		
Modelo multiplicativo	(g-1)	SCNA	$F_c = \frac{SCNA/(g-1)}{SCDR/(g-1)(a-2)}$
Desviaciones del modelo	(g-1) (a-2)	SCDR	$F_c = \frac{SCDR/(g-1)(a-2)}{CME}$
Desviaciones de genotipos			
1	a-2	D ₁	$F_1 = \frac{CM1}{CME}$
2	a-2	D ₂	$F_2 = \frac{CM2}{CME}$
.			
.			
g	a-2	D _g	$F_g = \frac{CMg}{CME}$
Error	(g-1) (r-1) a	SCE	
Total	arg-1		

La expresión es similar a los coeficientes de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russel (1966), excepto por la reparametrización de coeficientes reportada por Mandel (1961), citado por Cruz (1990). La suma de cuadrados de regresión en este procedimiento se conoce como suma de cuadrados de No aditividad (SCNA). La prueba de hipótesis nula es $H_0: B_k = 0$ para $k = 1, 2, \dots, g$.

Mandel (1961), citado por Cruz (1990), demostró que la $SCNA / \sigma^2$ tiene distribución χ^2 con $g-1$ g.l. y que puede probarse con la suma de cuadrados de desviaciones de regresión.

$$SCDR = SCGA - SCNA$$

El estadístico de la prueba considera que si $F_c \geq F_{\alpha}$ se rechaza H_0 , es decir, existen diferencias significativas entre las B_k . En la prueba de nulidad de un coeficiente de regresión $H_0: B_k = 0$ indica que las B_k son iguales a cero, la hipótesis alternativa señala que son diferentes a cero ($H_a: B_k \neq 0$). El estadístico de la prueba se basa en t. La hipótesis nula se rechaza si:

$$|b_k| \geq t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{SCDR/(a-2)}{rg \sum (Y_i - Y_{..})^2}}$$

Si se concluye que el modelo multiplicativo no es adecuado se puede tratar de identificar para qué genotipos falla al observar que la SCDR se puede descomponer en g componentes, uno para cada genotipo; la descomposición se hace con la siguiente ecuación:

$$D_k = r \left[\sum_i (Y_{ik} - Y_{.k})^2 - (1 + b_k)^2 \sum_i (Y_{i.} - Y_{.})^2 \right]$$

Esto es, $\frac{D_k}{r}$ coincide con la suma de cuadrados de desviaciones del genotipo k en el cuadro

presentado por Eberhart y Russel (1966). La hipótesis de que el modelo multiplicativo es adecuado para el genotipo k se rechaza si $F_k \geq F_{\alpha}$.

El Cuadro 6 presenta la clasificación de genotipos con respecto a los coeficientes B_k y la suma de cuadrados de las desviaciones D_k ; la cual es análoga a la propuesta por Carballo y Márquez (1972).

Cuadro 6 Casos posibles al ajustar el modelo multiplicativo. (Cruz, 1990)

Situación	B_k	D_k	Descripción
1	0	0	Genotipo con sensibilidad promedio y buen ajuste (al modelo multiplicativo).
2	0	> 0	Sensibilidad promedio pero con falta de ajuste.
3	< 0	0	Respuesta mejor en ambientes desfavorables (sensibilidad negativa) y con buen ajuste.
4	< 0	> 0	Sensibilidad negativa y con falta de ajuste.
5	> 0	0	Respuesta mejor en ambientes (sensibilidad positiva) y con buen ajuste.
6	> 0	> 0	Sensibilidad positiva pero con falta de ajuste.

3.7 Estimación de la ganancia por selección.

Con el fin de estimar el progreso o ganancia en rendimiento y otros caracteres agronómicos del Tuxpeño-1 (Población 21) y del Eto Blanco (Población 32) o Diacol-V351, se aplicó un análisis de regresión lineal simple. El análisis comprende dos variables esenciales (Steel y Torrie, 1990):

1. La ordenada o variable dependiente Y , donde todo valor de Y depende de la población muestreada.

2. La abscisa o variable independiente X, en este estudio, ciclo de selección.

Cuando se va a ajustar una recta a datos consistentes en más de dos pares de valores, se elige la recta que mejor se ajuste a los datos, esto es, aquella que corresponda al mejor promedio móvil. En la recta ajustada:

$$Y = b_0 + b_1X$$

b_1 se conoce como el coeficiente de regresión, la recta se llama recta de regresión y su ecuación se denomina ecuación de regresión.

El coeficiente de regresión se determina mediante:

$$b_1 = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

La verdadera regresión de Y con respecto a X consiste en las medias de las poblaciones de los valores de Y, donde una población está determinada por el valor de X. Se hace la suposición de una línea recta o regresión lineal cuya definición matemática está dada por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_{ij}$$

donde β_0 y β_1 son parámetros que hay que estimar y X es un parámetro observable; β_0 representa el intercepto de la población Y, y β_1 es la pendiente de la recta que pasa por las medias de las poblaciones Y. En éste estudio, Y son los valores obtenidos por las variables analizadas (RG, MZPP, MZPDR y AP) y X son ciclos de selección evaluados (C0, C6, C11, C16 y C19) correspondientes a las poblaciones 21 y 32 de Tuxpeño-1 y Eto blanco.

3.8 Estimación de heterosis

Los valores de heterosis para las cruzas entre los ciclos 11, 16 y 19 se calcularon de la siguiente manera:

$$H = F_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}$$

donde: H es el valor de heterosis; F_1 es el rendimiento de la filial uno; P_1 es el rendimiento del progenitor uno; y P_2 es el rendimiento del progenitor dos; posteriormente, se calculó el porcentaje de heterosis, de la siguiente manera:

$$\% H = [(F_1 - \text{Media de progenitores}) / \text{Media de progenitores}] * 100$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de varianza.

Los análisis de varianza de cada ambiente y las 10 variables estudiadas se presentan en los cuadros 1A al 5 A del Apéndice. En dichos cuadros se incluyen los cuadrados medios de cada fuente de variación, coeficientes de variación, medias generales y diferencias mínimas significativas. Se detectaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados en todas las localidades para el rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca y días a floración, mazorcas por planta y mazorcas podridas, mientras que acame de tallo no mostró diferencias en Colima y Tlaltizapán 2001 A. Los coeficientes de variación para RG fueron bajos para este tipo de estudios, en el rango de 7.8% en Tlaltizapán 2000 B a 15% en Colima. Los coeficientes de variación más altos fueron para acame de raíz y acame de tallo con valores de 38 a 63% y 17 a 60% respectivamente. Las medias de todas las variables analizadas se presentan para cada experimento en los cuadros 6 A al 10 A.

El análisis de varianza combinado se presenta en el Cuadro 7. Como podrá notarse, para las fuentes de variación Localidades, Genotipos e Interacción Genotipos- Localidades, todas las variables mostraron diferencias significativas. Estos resultados indican que algunos de los genotipos, incluyendo los diferentes ciclos de selección mostraron respuestas diferenciales a los cambios ambientales. Adicionalmente, los resultados sugieren que a fin de entender apropiadamente las respuestas a la selección recurrente y la heterosis entre los ciclos de selección, será necesario estudiar por separado las respuestas en cada ambiente.

4.2 Evaluación de las ganancias por selección

El progreso obtenido por la selección recurrente durante 20 ciclos; en Tuxpeño-1 y Eto Blanco, se estimó tanto para cada método como de manera general. La evaluación general de la respuesta a la selección se llevó a cabo con base en un análisis de regresión lineal.

4.2.1 Rendimiento de grano.

Las respuestas directas a la selección recurrente para rendimiento de grano fueron consistentes a través de los ciclos y poblaciones. Los modelos lineales explicaron apropiadamente las respuestas en las dos poblaciones y las diferentes localidades, con excepción de Eto Blanco en Palmira, Colombia en donde el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0.065 (Cuadro 8). Para este caso, el modelo cuadrático explicó satisfactoriamente las respuestas directas a la selección con una $R^2 = 0.948$. Aún cuando el modelo lineal para Eto Blanco en Colima es relativamente satisfactorio ($R^2 = 0.406$), el modelo cuadrático explica muy apropiadamente la respuesta con una $R^2 = 0.948$.

Los coeficientes de regresión (b_1) fueron positivos y significativos, con excepción de Colima y Palmira, debido principalmente a la falta de ajuste del modelo. Los valores de los coeficientes variaron de 53 kg para Eto Blanco en Palmira hasta 184 kg para Tuxpeño-1 en Agua Fria; dichos valores corresponden a ganancias por ciclo de 1.1% y 5.4% respectivamente.

Las respuestas directas a la selección recurrente se presentan de manera gráfica en las Figuras 1 y 2 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. En dichas figuras se incluye también la respuesta promedio a la selección; el modelo lineal de regresión fue muy satisfactorio en las dos poblaciones con valores de R^2 de 0.98 y 0.96 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. De acuerdo a los resultados del Cuadro 8 y las Figuras 1 y 2, se puede considerar que los ambientes en donde se pueden expresar con mayor claridad las respuestas a la selección en ambas poblaciones, son Colima y Tlaltizapán 2000B, mientras que en el resto de las localidades los ciclos de selección no expresan sus diferencias con la misma consistencia.

Con la finalidad de evaluar la ganancia por selección en cada población y cada método, se elaboró el Cuadro 9 con los promedios para cada ciclo a través de los ambientes de prueba. El método de HC, que incluye los primeros 11 ciclos de selección, tuvo 1,668 kg/ha de ganancia total para Tuxpeño-1, correspondiente a 32.98 % de incremento total en rendimiento. Dichos valores corresponden a una tasa de 151 kg/ha equivalente a 3 %, por ciclo de selección (Cuadro 9). Por su parte, Eto Blanco tuvo 442 kg/ha de ganancia total en RG, correspondiente

a un 9.54 %. Estos valores equivalen a 0.86 %, por ciclo de selección para una tasa de incremento de más de 40 kg/ha.

Cuadro 7 Cuadrados medios de análisis combinado para Tuxpeño-1 y Eto Blanco, evaluados en cinco ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT - UdeG (2000- 2002)

Fuente de variación	RG	AP	AM	MZPP	MZPDR	ACT	ACR	FF	FM	ASI
Localidades	206.44 **	29173.47 **	17136.68 **	0.83 **	43.51 **	21.80 **	456.57 **	15023.6 **	13613.5 **	195.2 **
Repeticiones (ambientes)	2.23 **	782.28 **	162.93 NS	0.00 NS	1.91 **	0.66 NS	5.92 **	6.1 NS	11.7 **	6.5 *
Genotipos	18.06 **	6279.94 **	6106.50 **	0.09 **	11.85 **	1.73 **	6.45 **	120.9 **	80.7 **	5.6 **
Gen. / Amb.	1.11 **	216.89 *	236.02 **	0.02 **	1.71 **	0.80 **	1.88 **	7.5 **	5.3 **	6.1 **
Error	0.72	163.32	120.99	0.01	0.54	0.50	1.21	3.80	1.80	2.63
CV (%)	13.04	5.40	8.37	7.98	25.68	48.45	37.21	2.7	1.88	15.8
Media	6.489	236.67	131.48	0.98	10.61	2.64	15.95	72.0	71.3	0.26
DMS (**)	0.747	11.29	9.72	0.07	5.66	2.73	9.71	1.7	1.19	1.43

(**) Significativo al 1%

(*) Significativo al 5%

NS = no significativo

Nota: la variable MZPDR sólo presentó datos de cuatro localidades, sin incluir Palmira.

Cuadro 8 Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para el rendimiento de grano en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT - UdeG (2000- 2002)

Población	Ambiente	Modelo lineal			Modelo cuadrático			
		b_0	b_1	R^2	b_0	b_1	b_2	R^2
Eto Blanco	Agua Fría	2.394**	0.178**	0.988	2.311*	0.240	-0.003	0.997
Eto Blanco	Colima	8.079*	0.074	0.406	8.496*	-0.235	0.017	0.948
Eto Blanco	Palmira	3.878	0.053	0.065	4.834	-0.655	0.039	0.948
Eto Blanco	Tlaltizapán 2001 A	3.507**	0.107*	0.906	3.654*	-0.002	0.006	0.977
Eto Blanco	Tlaltizapán 2000 B	3.93*	0.175*	0.927	3.885	0.208	-0.002	0.930
Tuxpeño-1	Agua Fría	3.818*	0.184*	0.798	3.594	0.282	-0.005	0.816
Tuxpeño-1	Colima	7.835**	0.151*	0.894	8.053**	0.056	0.005	0.923
Tuxpeño-1	Palmira	4.304**	0.123*	0.901	4.156**	0.188	-0.003	0.921
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2001 A	4.262**	0.073*	0.793	4.261**	0.073	0.000	0.793
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2000 B	5.22**	0.148**	0.932	5.237**	0.141	0.000	0.932

* Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.05$), ** Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.01$)

Figura 1 Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)

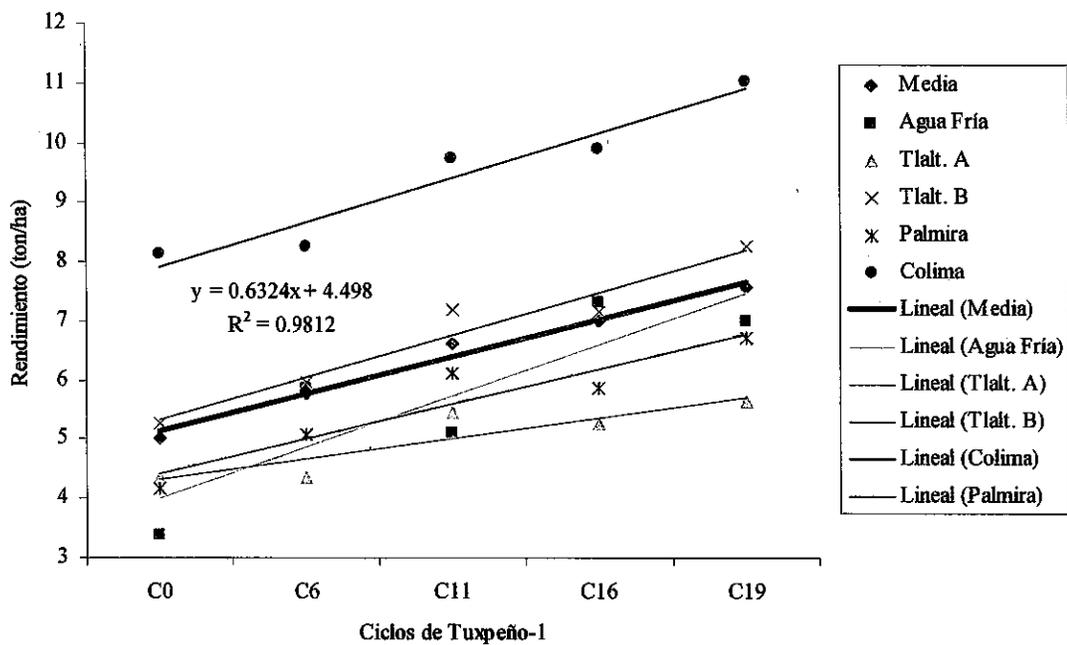
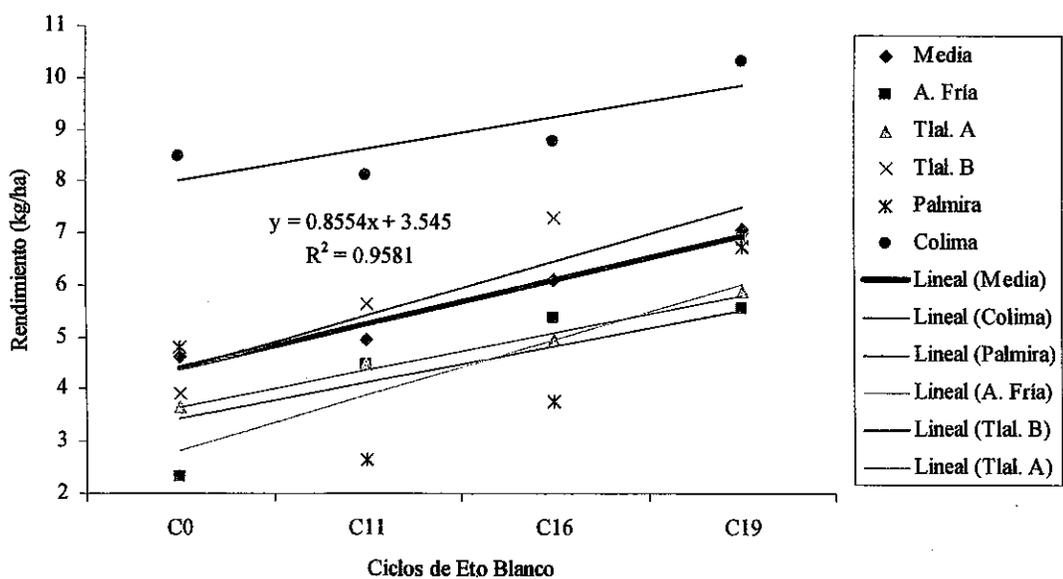


Figura 2 Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)



Respecto al método de HCR, que incluyó cinco ciclos de selección a partir del ciclo 11, se logró un aumento total en Tuxpeño-1 de 376 kg/ha (5.79 %). Dicho valor es equivalente a 1.56 %, por ciclo de selección con una tasa de 75 kg/ha. Para Eto Blanco se logró un incremento de 972 kg/ha de ganancia total (19.16 %), equivalente a 3.83 %, por ciclo de selección y una tasa de 194 kg/ha (Cuadro 9). Por su parte, el método de SRR con tres ciclos de selección a partir del ciclo 16, logró una ganancia total en Tuxpeño-1 de 620 kg/ha (8.73 %). Dicho incremento total es equivalente a 2.91 %, por ciclo de selección a una tasa de más de 206 kg/ha. En cambio, Eto Blanco tuvo una ganancia total de 1,040 kg/ha (17.2 %) que corresponde a 5.73 %, por ciclo de selección a una tasa de 347 kg/ha.

Cuadro 9 Respuesta a la selección para el rendimiento de grano (RG) en Tuxpeño-1 y Eto Blanco dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Método	Tuxpeño-1 (Población 21)	RG (ton/ha)	Eto Blanco (Población 32)	RG (ton/ha)	
HC	21c0	5.058	32c0	4.631	
	21c6	5.895	32c6	----	
	21c11	6.726	32c11	5.073	
	Ganancia total	1.668	Ganancia total	0.442	
	Ganancia/ciclo	0.152	Ganancia/ciclo	0.040	
HCR	21 c11= c0 (HCR)	6.726	32 c11= c0 (HCR)	5.073	
	21 c16 = c5 (HCR)	7.102	32 c16 = c5 (HCR)	6.045	
	Ganancia total	0.376	Ganancia total	0.972	
	Ganancia/ciclo	0.075	Ganancia/ciclo	0.194	
	Incremento total	5.59 %	Incremento total	19.16 %	
SRR	21c5 HCR = c0 SRR	7.102	32c5 HCR = c0 SRR	6.045	
	21c19 = c3 (SRR)	7.722	22c19 = c3 (SRR)	7.085	
	Ganancia total	0.620	Ganancia total	1.040	
	Ganancia/ciclo	206.7	Ganancia/ciclo	347	
	Incremento total	8.73 %	Incremento total	17.20 %	
		Incremento/ciclo de selección	2.91 %	Incremento/ciclo de selección	5.73 %
Ganancia/ciclo (3 métodos)		140 kg/ha	Ganancia/ciclo (3 métodos)	129 kg/ha	
Ganancia/ciclo (3 métodos)		2.77 %	Ganancia/ciclo (3 métodos)	2.79 %	
Significancia		**	Significancia	ns	
Ganancia total (19 ciclos)		2,664 kg/ha	Ganancia total (19 ciclos)	2,454 kg/ha	

RG = rendimiento de grano

** = significativo al 1%

La ganancia total en rendimiento de grano en Tuxpeño-1, incluyendo todos los métodos, fue de 2,664 kg/ha con 2.77 %, por ciclo de selección a una tasa de 140 kg/ha. Por su parte, en Eto Blanco los incrementos totales fueron de 2,454 kg/ha, con 2.79 % por ciclo de selección, a una tasa de 129 kg/ha.

Los resultados descritos anteriormente son similares a los reportados por varios investigadores, quienes lograron ganancias en el rendimiento de grano desde 4.4 % hasta un 18 %, por ciclo de selección. Las ganancias reportadas en otros estudios, dependieron del número de ciclos utilizados, de la población mejorada y del método utilizado (Villena *et. al.*, 1974; Johnson y Fischer, 1980; Johnson *et. al.*, 1986; Edmeades *et. al.*, 1996; Menz *et. al.*, 1999; Córdova *et. al.*, 2002; Tabanao y Rex, 2005). Lo anterior puede verse en la población Tuxpeño 21, que tuvo una ganancia de 32 % con el método de HC, mientras que en Eto Blanco fue de sólo 9.54%. Sin embargo, los métodos de HCR y SRR lograron menores ganancias en Tuxpeño-1 en comparación a las ganancias de Eto Blanco (5.79 y 8.73 % contra 19.16 y 17.2 %).

De manera general se puede decir que la respuesta lineal positiva, con aumentos constantes conforme se avanzó en el proceso de selección recurrente es un indicio claro de incrementos en las frecuencias de genes favorables sin que se logre percibir pérdida de variabilidad genética para el rendimiento de grano en las dos poblaciones estudiadas, tal como ha sido señalado en otros estudios (Villena, 1974; Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1987; López, 1995; Aguilar, 1997; Guzman y Lamkey, 2000; Paliwal, 2001; Doerksen *et. al.*, 2003).

A pesar de haberse detectado diferencias significativas para la interacción genotipo-ambiente, el comportamiento de los ciclos de selección fue similar en cada localidad (Figuras 1 y 2). De acuerdo a los resultados del Cuadro 9, el método de SRR fue más eficaz en aprovechar los diferenciales de rendimiento de las poblaciones en comparación a los métodos restantes; sin embargo, el método HC mostró incrementos inmediatos en la ganancia del RG, con los ciclos 6 y 11 lo cual implica un eficaz aprovechamiento de la varianza genética aditiva en las dos poblaciones. Estos resultados concuerdan, en forma general, con las observaciones emitidas por Márquez, 1985; Hallauer y Miranda (1987) y Córdova *et. al.*, (2000), quienes señalaron a la SR de familias de hermanos carnales como más eficiente que la SRR de familias de medios

hermanos, cuando se mejoran caracteres agronómicos y el RG de varias poblaciones de maíz, dado que se aprovecha y/o capitaliza la varianza aditiva presente en las progenies.

4.2.2 Mazorcas por planta.

Las respuestas a la selección recurrente para número de mazorcas por planta fueron por lo general consistentes a través de los ciclos y poblaciones, sin embargo son más notorias las respuestas diferenciales de los genotipos debido a la interacción con los ambientes. Los modelos lineales explicaron en su mayoría las respuestas en las dos poblaciones y las diferentes localidades, con excepción de Eto Blanco en Palmira, Colombia en donde el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0.379 (Cuadro 10). Para este caso, el modelo cuadrático explicó satisfactoriamente las respuestas directas a la selección con una $R^2 = 0.674$. Además, para Tuxpeño-1 en Colima, Palmira y Tlaltizapán 2001 A, los modelos lineales no fueron satisfactorios ($R^2 = 0.272, 0.272$ y 0.027 respectivamente), el modelo cuadrático mejoró en su ajuste con una R^2 de 0.922, 0.476 y 0.928 para Colima, Palmira y Tlaltizapán 2001A respectivamente.

Cuadro 10 Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para mazorcas por planta en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Población	Ambiente	Modelo lineal			Modelo cuadrático			
		b_0	b_1	R^2	b_0	b_1	b_2	R^2
Eto Blanco	Agua Fría	0.709**	0.0123	0.817	0.679*	0.035	-0.001	0.995
Eto Blanco	Colima	1.145**	0.006	0.487	1.145	0.006	0.000	0.487
Eto Blanco	Palmira	0.851**	0.005	0.379	0.874	-0.012	0.001	0.674
Eto Blanco	Tlaltizapán 2001 A	0.936**	0.005	0.710	0.948*	-0.004	0.001	0.864
Eto Blanco	Tlaltizapán 2000 B	0.863**	0.005	0.715	0.867*	0.002	0.000	0.739
Tuxpeño-1	Agua Fría	0.648*	0.019	0.598	0.622	0.031	-0.001	0.615
Tuxpeño-1	Colima	1.016**	0.007	0.272	1.099**	-0.030	0.002	0.922
Tuxpeño-1	Palmira	0.901**	0.005	0.272	0.935**	-0.010	0.001	0.476
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2001 A	0.994**	-0.001	0.027	1.035**	-0.019*	0.001*	0.928
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2000 B	0.744**	0.015*	0.784	0.691**	0.038	-0.001	0.942

* Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.05$), ** Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.01$)

Las respuestas directas a la selección recurrente se presentan de manera gráfica en las Figuras 3 y 4 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. En dichas figuras se incluye también la respuesta promedio a la selección; el modelo lineal de regresión fue muy satisfactorio en las dos poblaciones con valores de R^2 de 0.81 y 0.94 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco

respectivamente. De acuerdo a los resultados, se puede considerar que el ambiente en donde se pueden expresar con mayor claridad las respuestas a la selección en ambas poblaciones, es Coquimatlán, Colima, mientras que en el resto de las localidades los ciclos de selección no expresan sus diferencias con la misma claridad, observándose mayor interacción con los ambientes (Figuras 3 y 4).

El Cuadro 11 incluye las comparaciones de ganancias entre métodos. El método de HC, que incluye los primeros 11 ciclos de selección, tuvo una ganancia total para Tuxpeño-1 de 0.04 mazorcas por planta, correspondiente a 4.65 % de incremento total. Dichos valores corresponden a 0.42 % por ciclo de selección y una tasa de 0.004 mazorcas por planta. Eto Blanco tuvo una ganancia total de 0.08 MZPP o 8.89 % de incremento equivalente a 0.81 % de incremento, por ciclo de selección a una tasa de 0.007 MZPP.

Respecto al método de HCR, que incluyó cinco ciclos de selección a partir del ciclo 11, se logró un aumento total en Tuxpeño-1 de 0.1 mazorcas por planta (11.1 %). Dicho valor es equivalente a 2.22 %, por ciclo de selección con una tasa de 0.02 MZPP. Para Eto Blanco se logró un incremento de 0.02 mazorcas por planta de ganancia total (2.04 %), equivalente a 0.41 %, por ciclo de selección y una tasa de 0.004 MZPP (Cuadro 11).

Por su parte, el método de SRR con tres ciclos de selección a partir del ciclo 16, logró una ganancia total en Tuxpeño-1 de 0.05 (5%). Dicho incremento total es equivalente a 1.67 %, por ciclo de selección a una tasa de 0.017. En cambio, Eto Blanco tuvo una ganancia total de 0.04 MZPP (4%) que corresponde a 1.33 %, por ciclo de selección a una tasa de 0.01 mazorcas por planta.

La ganancia total del número de mazorcas por planta en Tuxpeño-1, incluyendo todos los métodos, fue de 0.19 equivalente a 1.16 %, por ciclo de selección a una tasa de 0.01 mazorcas por planta. Por su parte, en Eto Blanco los incrementos totales fueron de 0.14 mazorcas, con de 1.11 % por ciclo de selección, a una tasa de 0.01.

Al observar los resultados de los 3 métodos de selección, se puede deducir que los máximos incrementos del número de MZPP se tuvieron, en ambas poblaciones, con el ciclo 3 de la

SRR (ciclo 19). En dicho ciclo se tuvieron 1.05 MZPP en Tuxpeño-1 y 1.06 MZPP en Eto Blanco. La menor prolificidad correspondió al ciclo 0 con 0.86 MZPP en Tuxpeño-1 y 0.90 MZPP en Eto Blanco, lo cual indica una mejora continua de las dos poblaciones cuando han sido sometidas al método SRR (Cuadro 11).

Al comparar las ganancias entre métodos utilizados, se observó un mayor incremento de la prolificidad por ciclo de selección en Tuxpeño-1 bajo el método de HCR (2.22 %); en cambio, bajo los métodos de HC y SRR tuvo incrementos respectivos de 0.42 % y 1.67 %. Para Eto Blanco, el mayor incremento de la prolificidad por ciclo de selección fue con SRR (1.33 %), en cambio, HC y HCR sólo incrementaron el número de MZPP con tasas respectivas de 0.81 % y 0.41 % (Cuadro 11; Figuras 3 y 4). Fue evidente una mayor prolificidad de MZPP en Tuxpeño-1 que en Eto Blanco, sin embargo, las 2 poblaciones lograron, durante 19 ciclos de selección, ganancias por ciclo de selección de 0.01 MZPP; este tipo de resultados son similares a los obtenidos por Gómez (1990), citado por Godoi *et. al.* (1996), y Barrientos *et. al.* (2000) quienes encontraron, en sus respectivos estudios, valores de prolificidad significativos de 1.14 a 1.20 MZPP y ganancias totales de hasta de 37.5 % sobre el ciclo original.

4.2.3 Porcentaje de mazorcas podridas.

Las respuestas a la selección recurrente para número de mazorcas podridas fueron por lo general consistentes a través de los ciclos y poblaciones, sin embargo como anteriormente, son notorias las interacciones con los ambientes. Los modelos lineales explicaron en su mayoría las respuestas en las dos poblaciones y las diferentes localidades, con excepción de Eto Blanco en Colima en donde el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0.10 (Cuadro 12). Además, para Tuxpeño-1 en Colima y Tlaltizapán 2000 B, los modelos lineales no fueron satisfactorios ($R^2 = 0.282$ y 0.04 respectivamente) Para estos casos, el modelo cuadrático explicó de mejor manera las respuestas directas a la selección únicamente en Tlaltizapán 2000 B con una $R^2 = 0.574$.

Figura 3 Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)

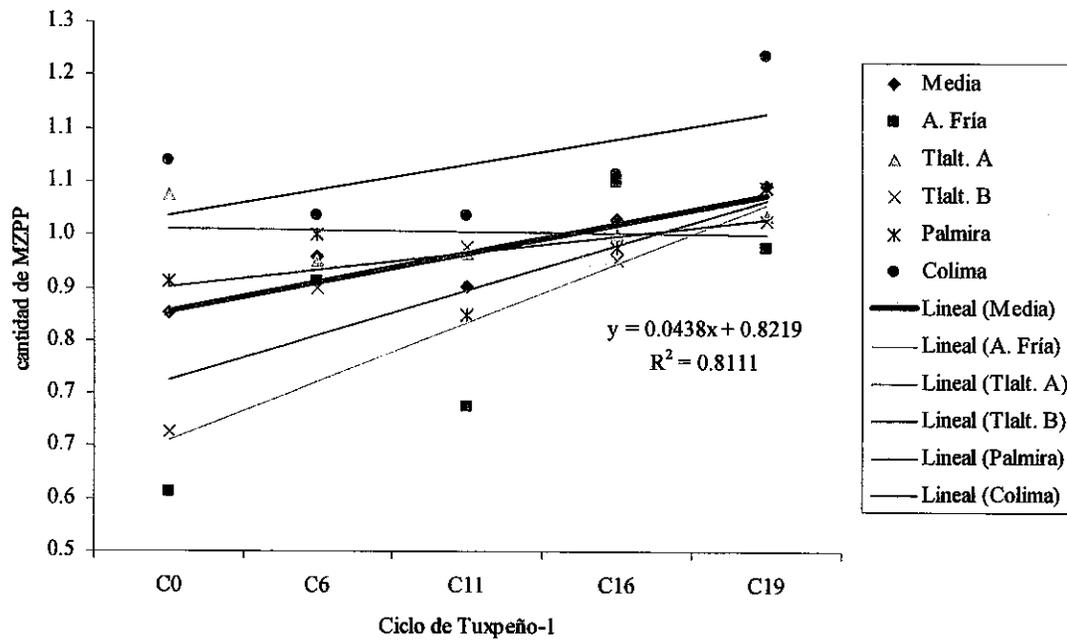
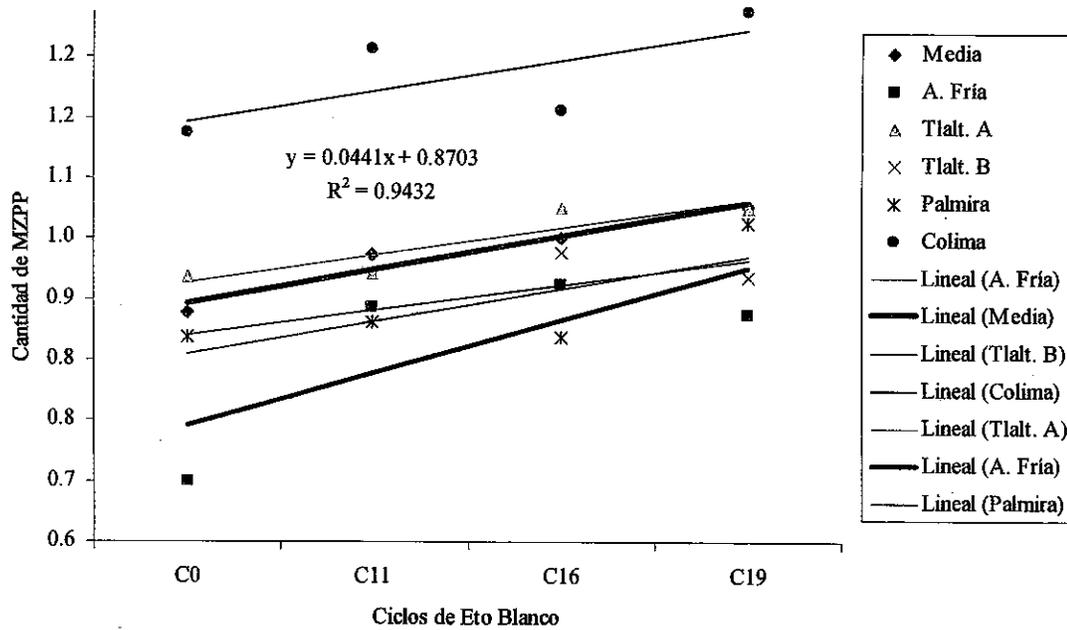


Figura 4 Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)



Cuadro 11 Respuesta a la selección, prolificidad, de ciclos de Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en 4 ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Método	Tuxpeño-1 (Población 21)	MZPP (número)	Eto Blanco (Población 32)	MZPP (número)
HC	21c0	0.86	32c0	0.90
	21c6	0.95	32c6
	21c11	0.90	32c11	0.98
	Ganancia total	0.04	Ganancia total	0.08
	Ganancia/ciclo	0.0004	Ganancia/ciclo	0.007
	Incremento total	4.65 %	Incremento total	8.89 %
	Incremento/ciclo de selección	0.42 %	Incremento/ciclo de selección	0.81 %
HCR	21 c11= c0 (HCR)	0.90	32 c11= c0 (HCR)	0.98
	21 c16 = c5 (HCR)	1.00	32 c16 = c5 (HCR)	1.00
	Ganancia total	0.10	Ganancia total	0.02
	Ganancia/ciclo	0.02	Ganancia/ciclo	0.004
	Incremento total	11.11 %	Incremento total	2.04 %
	Incremento/ciclo de selección	2.22 %	Incremento/ciclo de selección	0.41 %
SRR	21c5 HCR = c0 SRR	1.00	32c5 HCR = c0 SRR	1.00
	21c19 = c3 (SRR)	1.05	22c19 = c3 (SRR)	1.04
	Ganancia total	0.05	Ganancia total	0.04
	Ganancia/ciclo	0.017	Ganancia/ciclo	0.01
	Incremento total	5 %	Incremento total	4 %
	Incremento/ciclo de selección	1.67 %	Incremento/ciclo de selección	1.33 %
	Ganancia/ciclo (3 métodos)	0.01	Ganancia/ciclo (3 métodos)	0.01
	Ganancia/ciclo (3 métodos)	1.16 %	Ganancia/ciclo (3 métodos)	1.11 %
	Significancia	*	Significancia	**
	Ganancia total (19 ciclos)	0.19	Ganancia total (19 ciclos)	0.14

MZPP = número de mazorcas por planta

** = significativo al 1%

* = significativo al 5%

Cuadro 12 Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para mazorcas podridas en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Población	Ambiente	Modelo lineal			Modelo cuadrático			
		b ₀	b ₁	R ²	b ₀	b ₁	b ₂	R ²
Eto Blanco	Agua Fría	36.843*	-1.457 *	0.892	39.248*	-3.238	0.098	0.994
Eto Blanco	Colima	6.441	0.073	0.100	6.748	-0.154	0.013	0.175
Eto Blanco	Tlaltizapán 2001 A	26.039*	-1.192*	0.944	25.214	-0.582	-0.034	0.963
Eto Blanco	Tlaltizapán 2000 B	14.881*	-0.567	0.877	13.849**	0.198	-0.042*	1.000
Tuxpeño-1	Agua Fría	24.362*	-1.065	0.672	27.125	-2.270	0.063	0.742
Tuxpeño-1	Colima	21.577	-0.617	0.282	21.077	-0.398	-0.011	0.285
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2001 A	27.213	-1.514	0.583	35.477*	-5.119	0.189	0.855
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2000 B	7.441	-0.169	0.040	2.501	1.986	-0.113	0.574

* Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.05$), ** Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.01$)

Las respuestas directas a la selección recurrente se presentan de manera gráfica en las Figuras 5 y 6 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. En dichas figuras se incluye también la respuesta promedio a la selección; el modelo lineal de regresión fue muy satisfactorio en las dos poblaciones con valores de R^2 de 0.79 y 0.88 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. De acuerdo a los resultados, se puede considerar que en Agua Fría se pueden expresar con mayor claridad las respuestas a la selección para sanidad de mazorca en ambas poblaciones, especialmente en Eto Blanco (Figuras 5 y 6).

Las ganancias por selección en cada población y cada método, respecto a pudriciones de mazorca se presentan el Cuadro 13 con los promedios para cada ciclo a través de los ambientes de prueba. El método de HC, que incluye los primeros 11 ciclos de selección, tuvo una reducción de pudriciones de 46.4 % total para Tuxpeño-1, correspondiente a 4.22 % por ciclo de selección. Por su parte, Eto Blanco tuvo una reducción total en pudriciones de 52.33 % correspondiente a un 4.76 % por ciclo.

Respecto al método de HCR, que incluyó cinco ciclos de selección a partir del ciclo 11, se logró una reducción total de pudrición de mazorca en Tuxpeño-1 de 69 %, equivalente a 13.8 % por ciclo de selección. Para Eto Blanco se logró una reducción total de 21.54 %, equivalente a 4.3 %, por ciclo de selección.

Por su parte, el método de SRR con tres ciclos de selección a partir del ciclo 16, logró un incremento de pudrición de mazorca en Tuxpeño-1 de 58.6 % respecto al ciclo 16, correspondiente a 19.5 % por ciclo de selección. Eto Blanco tuvo una reducción total de pudriciones de mazorca de 15.5 % que corresponde a 5.16 %, por ciclo de selección.

Tuxpeño-1 tuvo un decremento por ciclo de selección de 0.82 % a través de métodos, equivalente a una tasa negativa de 3.74 %, además, presentó disminución total de -15.65 %, durante 19 ciclos de selección (Cuadro 13 y Figura 5); por su parte, Eto Blanco tuvo una disminución de -0.76 %, por ciclo de selección a través de los 3 métodos ó un decremento de -3.6 %, por ciclo; con una disminución total de -14.52 %, durante 19 ciclos de selección (Cuadro 13 y Figura 6).

Figura 5 Respuesta a la selección, porcentaje de pudrición de mazorca, en ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) en 4 ambientes de evaluación de México. CIMMYT - UdeG (2000-02)

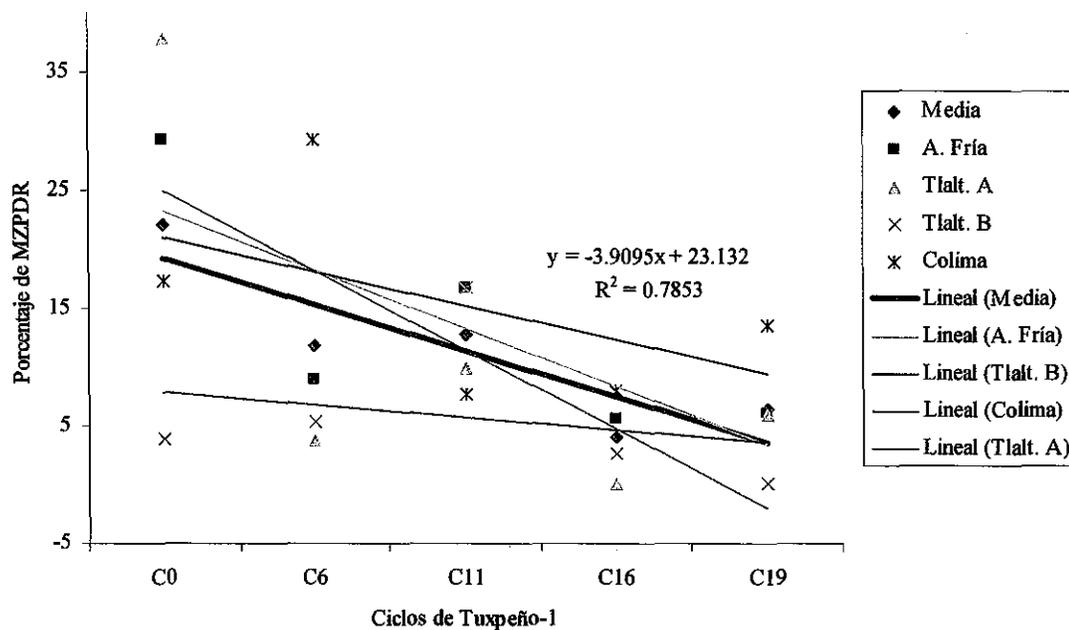
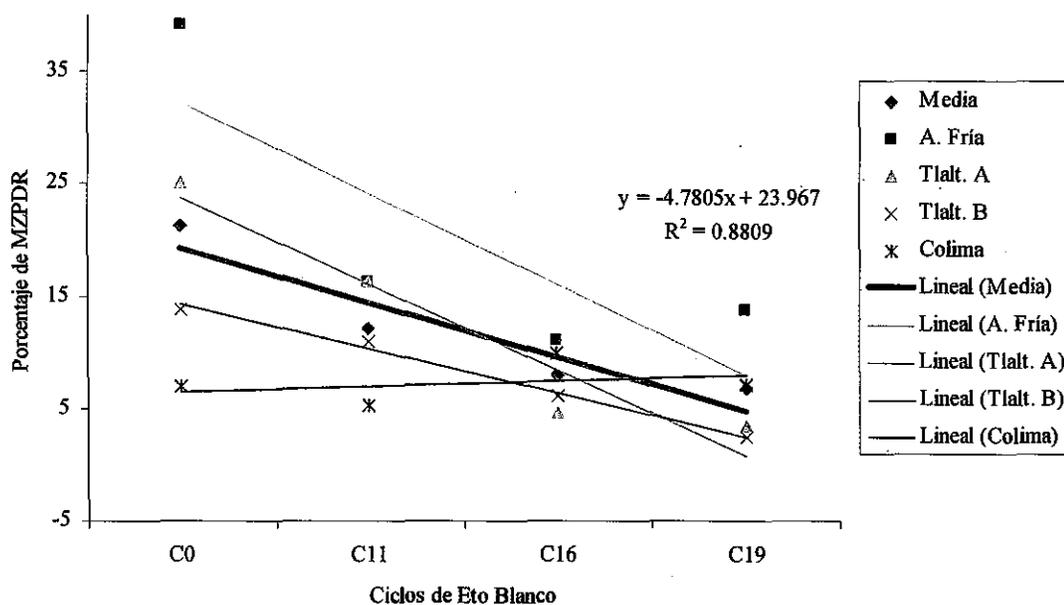


Figura 6 Respuesta a la selección, porcentaje de pudrición de mazorca, de ciclos de Eto Blanco (población 32) en 4 ambientes de evaluación de México. CIMMYT - UdeG (2000-02)



Los resultados de este trabajo respecto a pudrición de mazorca son muy similares a los encontrados por Villena *et al.* (1974), Johnson *et al.* (1986) y Ramírez *et al.* (2000), calculados en 0.87 %, por ciclo de selección. Asimismo, al hacer una comparación con otras variables estudiadas por Villena y Johnson (1973), acame de raíz, y por Córdova *et al.* (2002), en achaparramiento del maíz, se puede señalar que las ganancias medias significativas o incrementos medios de la resistencia en esos caracteres son similares a las obtenidas en este estudio.

Cuadro 13 Respuesta a la selección, pudrición de mazorca, de ciclos Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en 4 ambientes de México. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Método	Tuxpeño-1 (Población 21)	MZPDR (%)	Eto Blanco (Población 32)	MZPDR (%)
HC	21c0	22.04	32c0	21.23
	21c6	11.43	32c6
	21c11	11.82	32c11	10.12
	Ganancia total	-10.22	Ganancia total	-11.11
	Ganancia/ciclo	-0.93	Ganancia/ciclo	-1.01
HCR	21 c11= c0 (HCR)	11.82	32 c11= c0 (HCR)	10.12
	21 c16 = c5 (HCR)	4.03	32 c16 = c5 (HCR)	7.94
	Ganancia total	-7.79	Ganancia total	-2.18
	Ganancia/ciclo	-1.56	Ganancia/ciclo	-0.44
	Decremento total	-69.06 %	Decremento total	-21.54 %
SRR	21c5 HCR = c0 SRR	4.03	32c5 HCR = c0 SRR	7.94
	21c19 = c3 (SRR)	6.39	22c19 = c3 (SRR)	6.71
	Ganancia total	2.36	Ganancia total	-1.23
	Ganancia/ciclo	0.79	Ganancia/ciclo	-0.41
	Incremento total	58.56 %	Decremento total	-15.49 %
		19.52 %	Decremento/ciclo de selección	
			-5.16 %	
Ganancia/ciclo (3 métodos)		-0.82 %	Ganancia/ciclo (3 métodos)	
Ganancia/ciclo (3 métodos)		3.74 %	Ganancia/ciclo (3 métodos)	
Significancia		*	Significancia	
Ganancia total (19 ciclos)		-15.65 %	Ganancia total (19 ciclos)	
			-14.52 %	

MZPDR = porcentaje de mazorca podrida

** = significativo al 1%

* = significativo al 5%

4.2.4 Altura de planta.

Las respuestas a la selección recurrente para altura de planta fueron por lo general consistentes a través de los ciclos y poblaciones. En todos los ambientes se observaron reducciones en altura de planta para ambas poblaciones con coeficientes de regresión (b_1) negativos. Los modelos lineales explicaron de manera muy satisfactoria las respuestas en Eto

Blanco con valores de R^2 superiores a 0.6. Por su parte, en Tuxpeño-1, en ninguno de los ambientes el modelo lineal fue satisfactorio; los modelos cuadráticos mejoraron significativamente el ajuste con valores de R^2 superiores a 0.49, con excepción de Tlaltizapán 2001 A en donde el valor de R^2 fue de 0.053 (Cuadro 14). Las respuestas directas a la selección recurrente se presentan de manera gráfica en las Figuras 7 y 8 para Tuxpeño-1 y Eto Blanco respectivamente. En dichas figuras se incluye también la respuesta promedio a la selección; el modelo lineal de regresión fue muy satisfactorio únicamente en Eto Blanco con valores de R^2 de 0.9. De acuerdo a las figuras 7 y 8, se puede considerar que en Agua Fría se pueden expresar con mayor claridad las respuestas a la selección para altura de planta en ambas poblaciones.

Cuadro 14 Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para altura de planta en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Población	Ambiente	Modelo lineal			Modelo cuadrático			
		b_0	b_1	R^2	b_0	b_1	b_2	R^2
Eto Blanco	Agua Fría	273.577**	-1.311	0.493	278.679*	-5.091	0.208	0.806
Eto Blanco	Colima	272.928**	-3.146*	0.892	278.172**	-7.031	0.214	0.996
Eto Blanco	Palmira	275.129**	-4.337	0.824	284.902**	-11.577*	0.398*	0.999
Eto Blanco	Tlaltizapán 2001 A	256.27**	-2.567	0.605	249.231	2.648	-0.287	0.796
Eto Blanco	Tlaltizapán 2000 B	229.993**	-1.565	0.861	231.455*	-2.648	0.060	0.893
Tuxpeño-1	Agua Fría	272.211**	-0.809	0.072	287.86**	-7.636	0.358	0.491
Tuxpeño-1	Colima	245.465**	-1.949	0.188	270.055*	-12.677	0.562	0.656
Tuxpeño-1	Palmira	236.091**	-2.182	0.240	263.694**	-14.224	0.631	0.838
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2001 A	229.775**	-0.805	0.029	235.733*	-3.405	0.136	0.053
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2000 B	233.818**	-1.636	0.139	263.781**	-14.708	0.685	0.868

* Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.05$), ** Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.01$)

Las respuestas a la selección en cada población y cada método, respecto a altura de planta se presentan el Cuadro 15. El método de HC, que incluye los primeros 11 ciclos de selección, tuvo una reducción en altura de 54 cm, equivalente a un total de 19.5 % para Tuxpeño-1. Estos valores corresponden a 1.8% por ciclo de selección a una tasa negativa de 2.84 cm. Por su parte, Eto Blanco tuvo una reducción total en altura de planta de 15.53 % correspondiente a un 1.41 % por ciclo, a una tasa negativa de 3.72 cm.

El método de HCR (5 ciclos de selección a partir del ciclo 11) ocasionó una reducción en altura de planta en Tuxpeño-1 de 1 cm sobre la AP del ciclo 11 (ciclo 0 de HCR), equivalente a un decremento total de 0.46 %. Esos resultados equivalen a una disminución de 0.09 %, por

ciclo de selección o tasa de disminución de 0.20 cm; en cambio, Eto 32 redujo su AP en 11 cm totales sobre la AP del ciclo 11 o un 4.94 % equivalente a una tasa de reducción de 0.99 %, por ciclo de selección o una tasa de disminución de 2.2 cm (Cuadro 15).

En cuanto al método de SRR, en Tuxpeño-1 se logró una ganancia total de 13 cm de altura sobre el ciclo 16, con un aumento total de 5.99 %, equivalente a una tasa de incremento de 2 %, por ciclo de selección (4.33 cm). De manera similar, en Eto Blanco se tuvo una ganancia total de 8 cm sobre el ciclo 16 o un aumento total de 3.77 % equivalente a una tasa de incremento de 1.26 % (2.67 cm). Aún cuando los resultados anteriores significaron un retroceso en los objetivos de la selección recurrente para reducir la AP en ambas poblaciones, al comparar la AP del ciclo 19 con los ciclos 11 y 16, puede apreciarse que la AP del ciclo 19 no aumentó significativamente (217 contra 230 cm), por tanto, puede considerarse aceptable la AP del ciclo 19 (Cuadro 15).

Los resultados anteriores indican que la mejor eficiencia de la selección recurrente para lograr reducciones en la altura de planta fue con base en el método de HC, ya que logró reducir en buena proporción la AP de ambas poblaciones en forma inmediata, sobre el ciclo 0. Por otra parte, los resultados obtenidos indican que la reducción de AP de ambas poblaciones no afectó su rendimiento de grano; sino por lo contrario, el RG fue significativamente superior en los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y numéricamente mejor en los ciclos de Eto Blanco (Cuadros 9 y 15; Figuras 7 y 8).

En ambas poblaciones, se observó una disminución rápida de la AP a través de los métodos de selección utilizados. En promedio, Tuxpeño-1 tuvo una reducción de 2.2 cm, por ciclo de selección, a través de los tres métodos, equivalente a una tasa de reducción de 0.78 %. En total se tuvo una reducción de 42 cm durante sus 19 ciclos de selección efectuados (Cuadro 15 y Figura 7). Por su parte Eto Blanco tuvo una reducción en altura de planta de 2.31 cm, por ciclo de selección a través de los tres métodos, equivalente a una tasa de reducción de 0.88 %. La reducción durante 19 ciclos de selección efectuados fue de un total de 44 cm (Cuadro 15 y Figura 8).

Resultados similares a los obtenidos en el presente estudio fueron reportados por Villena *et al.* (1974); Johnson y Fischer (1980); Johnson *et al.* (1986); Ramírez *et al.* (2000), quienes al

mejorar diferentes poblaciones encontraron reducciones significativas en altura de planta con el uso de familias de HC. Estos autores señalan valores y porcentajes de reducción que van de 0.97 % a 11.5 % y de 5.83 cm a 7.48 cm por ciclo de selección.

Por otra parte las Figuras 9 y 10 presentan las líneas de regresión de cada ciclo de selección, como respuesta a los cambios ambientales para la altura de planta. Los resultados sugieren en forma general que todos los ciclos de ambas poblaciones fueron inestables a través de los ambientes de evaluación. Las poblaciones originales (ciclo 0) fueron inconsistentes, al igual que los demás ciclos; sin embargo, éstos presentaron las mayores AP. Por su parte, los ciclos 6 y 16 de Tuxpeño 21 y el ciclo 16 de Eto 32 presentaron las menores AP a través de ambientes.

Cuadro 15 Respuesta a la selección, altura de planta, de ciclos Tuxpeño-1 (población 21) y Eto Blanco (Población 32), dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Método	Tuxpeño-1 (Población 21)	AP (cm)	Eto Blanco (Población 32)	AP (cm)
HC	21c0	272	32c0	264
	21c6	191	32c6	----
	21c11	218	32c11	223
	Ganancia total	- 54	Ganancia total	- 41
	Ganancia/ciclo	- 2.84	Ganancia/ciclo	- 3.72
	Decremento total	19.85 %	Decremento total	15.53 %
	Decremento/ciclo de selección	1.80 %	Decremento/ciclo de selección	1.41 %
HCR	21 c11= c0 (HCR)	218	32 c11= c0 (HCR)	223
	21 c16 = c5 (HCR)	217	32 c16 = c5 (HCR)	212
	Ganancia total	-1	Ganancia total	- 11
	Ganancia/ciclo	- 0.20	Ganancia/ciclo	- 2.2
	Decremento total	0.46 %	Decremento total	4.94 %
	Decremento/ciclo de selección	0.09 %	Decremento/ciclo de selección	0.99 %
SRR	21c5 HCR = c0 SRR	217	32c5 HCR = c0 SRR	212
	21c19 = c3 (SRR)	230	22c19 = c3 (SRR)	220
	Ganancia total	13	Ganancia total	8
	Ganancia/ciclo	4.33	Ganancia/ciclo	2.67
	Incremento total	5.99 %	Incremento total	3.77 %
	Incremento/ciclo de selección	2 %	Incremento/ciclo de selección	1.26 %
	Ganancia/ciclo (3 métodos)	- 2.12	Ganancia/ciclo (3 métodos)	- 2.31
	Ganancia/ciclo (3 métodos)	- 0.78 %	Ganancia/ciclo (3 métodos)	- 0.88 %
	Significancia	ns	Significancia	Ns
	Ganancia total (19 ciclos)	- 42 cm	Ganancia total (19 ciclos)	- 44 cm

AP = altura de planta

ns = no significativo

Figura 7 Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) en 5 ambientes de evaluación de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)

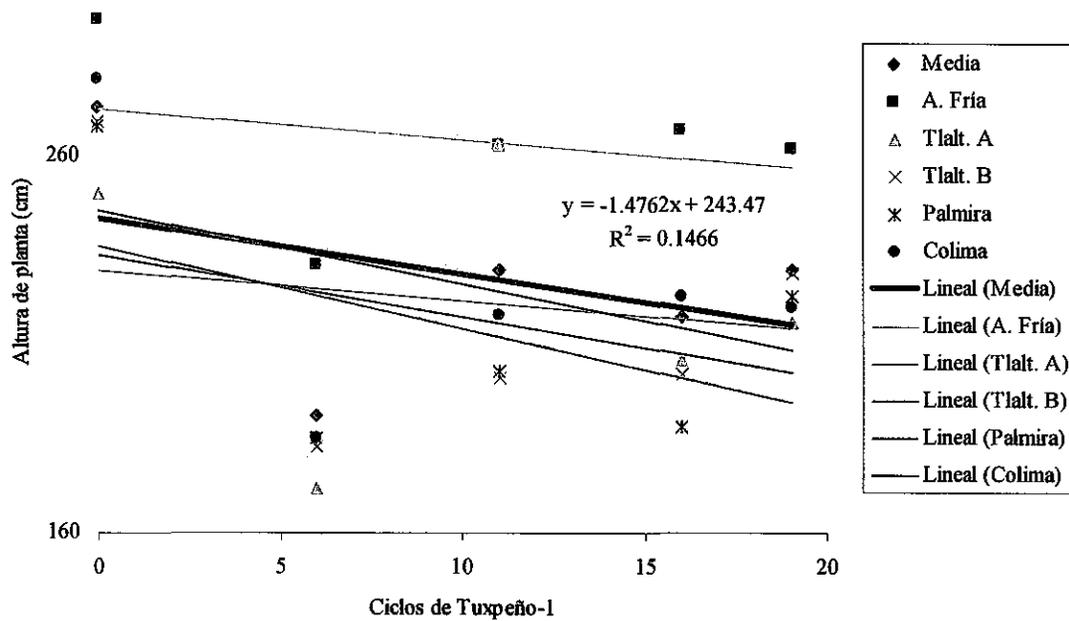


Figura 8 Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Eto Blanco (Población 32), en 5 ambientes de evaluación de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02)

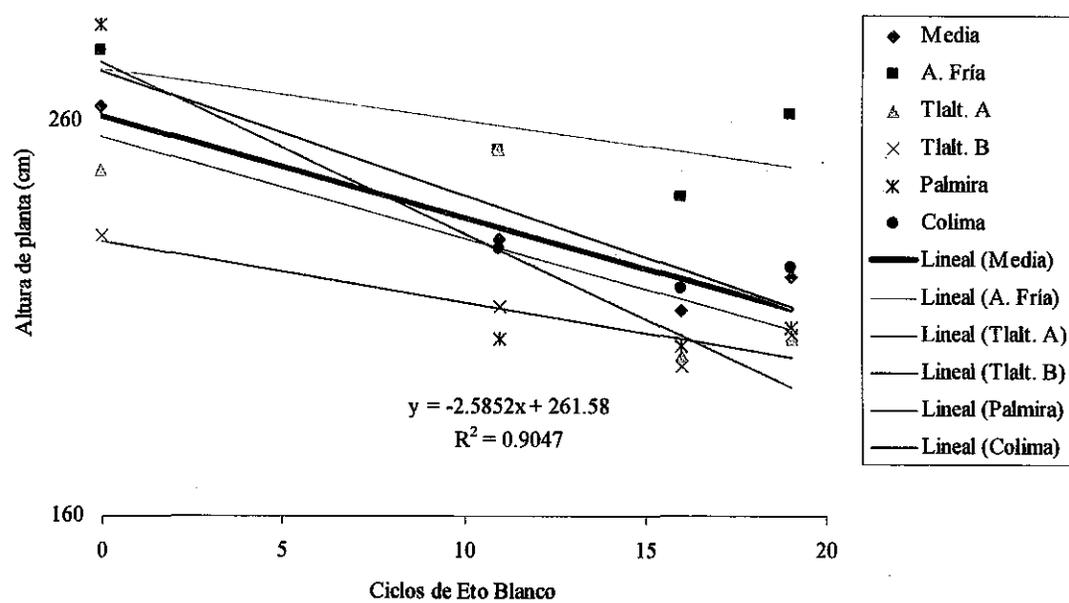
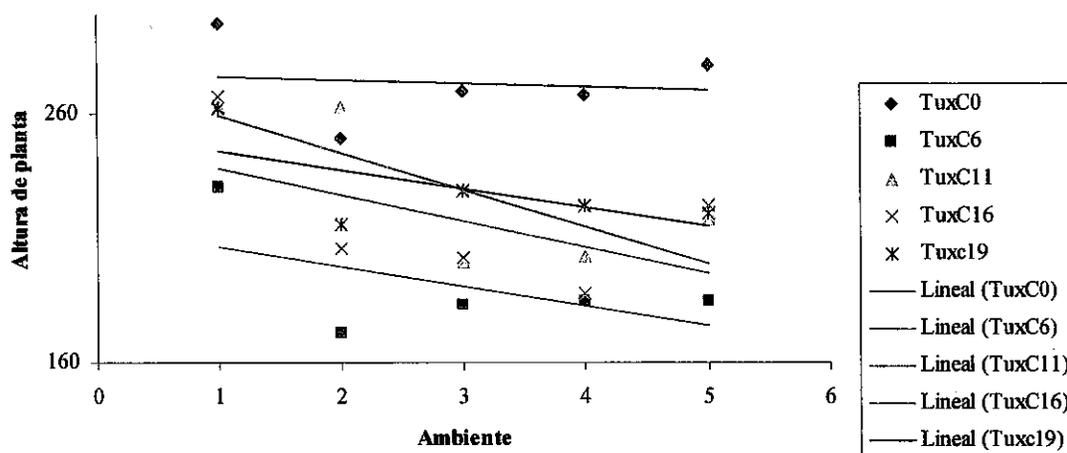
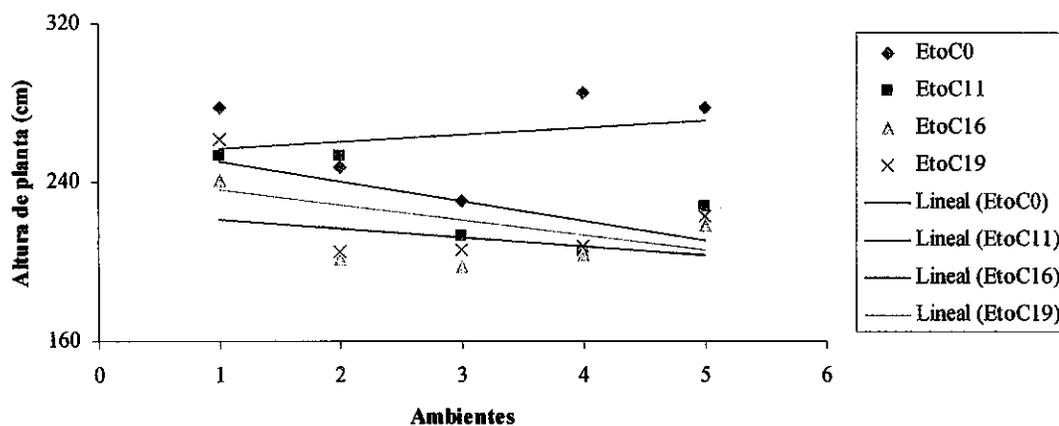


Figura 9 Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Tuxpeño-I
(Población 21) a través de 5 ambientes de evaluación. CIMMYT - UdeG
(2000-02)



1 = A. Fria, 2 = Tlalt. 2001A, 3 = Tlalt. 2000B, 4 = Palmira,
5 = Colima

Figura 10 Respuesta a la selección, altura de planta, en ciclos de Eto Blanco (Población 32) a
través de cinco ambientes de evaluación.
CIMMYT - UdeG (2000-02)



1 = Agua Fria, 2 = Tlalt. 2001 A, 3 = Tlalt. 2000B, 4 = Palmira,
5 = Colima

Los resultados de esta parte del estudio son una clara evidencia de que la SRR fue altamente eficiente en incrementar las medias del rendimiento de grano y el número de mazorcas por planta, y en reducir el porcentaje de mazorca podrida y la altura de planta. Es importante señalar que el número de mazorcas por planta es un componente importante del rendimiento de grano de ambas poblaciones, ya que los ciclos con mayor número de MZPP tuvieron un mayor rendimiento. Resultados similares han sido obtenidos por García (2000) y por De León y Coors (2002), quienes indicaron la importancia del número de mazorcas por planta como componente esencial de rendimiento, especialmente en ambientes de estrés; al parecer el incremento en prolificidad confiere grandes ventajas cuando se incrementa la competencia entre plantas debido a factores como la sequía y mayores densidades de población. Asimismo ocurrió con el porcentaje de mazorcas podridas, donde el menor rendimiento correspondió a los ciclos con mayores porcentajes de pudrición (Cuadros 11 y 13 Figuras 1 a 6).

4.2.5 Respuesta de métodos de selección y cruzas cíclicas.

Los métodos de selección que aprovechan tanto los efectos genéticos aditivos como los no-aditivos han sido de gran utilidad dado que es posible mejorar las poblaciones *per se* y hacen especial énfasis en el mejorar el comportamiento de las cruzas entre poblaciones. Es importante recordar que las cruzas entre Tuxpeño y Eto han sido reconocidas desde hace varios años como el patrón heterótico más popular en los programas tropicales de mejoramiento genético.

En esta sección se presentan los resultados relativos a la respuesta de las cruzas entre poblaciones en las diferentes etapas de la selección. Los resultados se encuentran reportados en el Cuadro 16 y las figuras 11, 12 y 13. Se usó el análisis de regresión lineal en los datos promedio de rendimiento de grano (RG), número de mazorcas por planta (MZPP) y porcentaje de mazorcas podridas (MZPDR). Los resultados de la cruce (Tuxpeño-1 c0 x Eto Blanco c0) para las tres variables del estudio, fueron calculados en forma lineal en base a los resultados de las demás cruzas

El rendimiento tuvo un valor del coeficiente de regresión (b_1) positivo y significativo con un ajuste del modelo lineal muy satisfactorio ($R^2 = 0.92$). Los modelos de regresión lineal para mazorcas podridas y mazorcas por planta tuvieron un ajuste adecuado, con valores de R^2 de 0.87 y 0.78 respectivamente; sin embargo, los coeficientes de regresión (b_1) no resultaron

significativos (Cuadro 16). Como era de esperarse, a medida que se lograban avances por selección en las dos poblaciones, también se lograron mayores rendimientos en sus cruzas. Esto es muy evidente en la crusa entre los ciclos 19, los que ya habían pasado por tres ciclos de selección recíproca recurrente. El cruzamiento entre ciclos 19 presentó una ganancia total en rendimiento de grano, respecto al ciclo 11 de 1,132 kg/ha; esto es, 16 % de incremento total equivalente a 2 % por método a una tasa de incremento de 141.5 kg/ha. La diferencia de la crusa entre los ciclos 11 con respecto a la crusa entre los ciclos 16 fue de únicamente 93 kg/ha (1.3 %). Por su parte la crusa entre ciclos 19 superó en 14.5 %, equivalente a 346 kg/ha (4.8 %) por ciclo de selección a la crusa entre los ciclos 16.

De la misma manera, en mazorcas por planta y pudriciones de mazorca, los mejores avances se lograron cuando la selección fue hecha con base en la SRR. Para el caso de mazorcas por planta, los valores promedio son iguales entre las cruzas de los ciclos 11 y ciclos 16 (1.03 mazorcas por planta), mientras que en la crusa entre ciclos 19 (1.12), se logró un avance de 2.9 % por ciclo. El caso de mazorcas podridas fue un poco diferente y se lograron avances importantes en las diferentes etapas de selección; hubo una reducción de 8 % al 5.5 % entre ciclos 11 al 16 y de 4.2 % en la crusa entre ciclos 19. La reducción total para pudriciones de mazorca fue de 24.19 % equivalente a -8.18 %, por ciclo de selección a una tasa negativa de 0.45 % (Cuadro 16).

Cuadro 16 Ganancia entre métodos y por ciclo de selección del patrón heterótico Tuxpeño x Eto. Genotipos evaluados en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT - UdeG (2000 a 2002)

Pedigrí	RG (ton/ha)	MZPP (número)	MZPDR (%)
POB21 C11 (HC) x POB32 C11 (HC)	7.087	1.03	8.07
POB21 C3 (SRR) x POB32 C3 (SRR)	8.219	1.12	4.18
Ganancia entre 3 métodos de selección	1,132 kg/ha	0.09	-3.89%
Ganancia (%) entre 3 métodos de selección	16	8.74	-48.2
Significancia	*	ns	ns
POB21 C5 (HCR) x POB32 C5 (HCR)	7.180	1.03	5.54
POB21 C3 (SRR) x POB32 C3 (SRR)	8.219	1.12	4.18
Ganancia por ciclo de selección	346 kg/ha	0.03	-0.45%
Ganancia (%) por ciclo de selección	4.82	2.9	-8.18
Significancia basada (DMS) 5%	*	*	*
Ganancia por método (SRR)	1,039 kg/ha	0.09	-1.36 %

* = significativo al 5%

ns = no significativo

Los resultados anteriores concuerdan en gran medida con objetivos establecidos por el programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT, es decir, lograr incrementos en rendimiento y en caracteres de importancia económica en cada una de las poblaciones al usar métodos de selección como HC y HCR y al mismo tiempo, mejorar el comportamiento de la cruce entre las poblaciones. Estos resultados concuerdan en gran parte con resultados de Villena *et. al.* (1974); Johnson y Fischer (1980); Johnson *et. al.* (1986); Edmeades *et. al.* (1996); Menz *et. al.* (1999); Guzmán y Lamkey (2000); Córdova *et. al.* (2002); y Tabanao y Rex (2005).

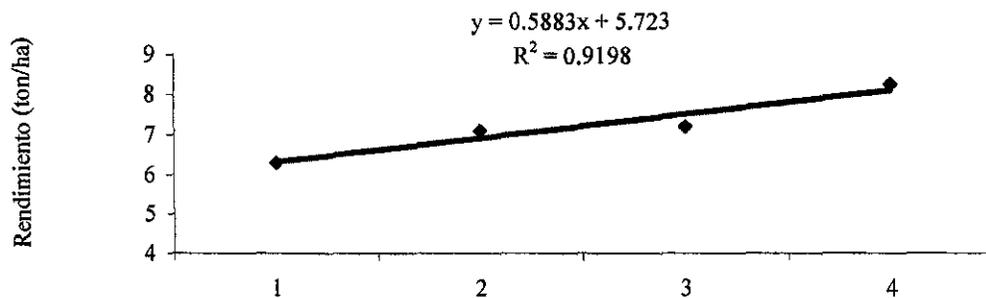
Por otra parte, los resultados que aquí se presentan indican que la ganancia por ciclo de selección en las poblaciones y en sus cruces se debe a los métodos aplicados en forma efectiva para capitalizar al máximo las varianzas genéticas existentes. Además, se obtuvieron evidencias concretas en el sentido de que los métodos de mejoramiento deben evolucionar a medida que el progreso por selección evoluciona. De la misma manera, la necesidad de nuevos productos: variedades sintéticas e híbridos definirá nuevas metas congruentes con los proyectos de investigación.

4.2.6 Respuesta a la selección y heterosis.

Aún cuando la SRR es el método que pone énfasis en el máximo uso de la aptitud combinatoria general y específica (efectos genéticos aditivos y no-aditivos), se espera que el mejoramiento de las poblaciones por HC también pueda contribuir a incrementar la frecuencia de genes favorables en las poblaciones y mejorar la respuesta a la heterosis. El Cuadro 16 presenta las ganancias porcentuales de heterosis en los tres métodos de selección, aplicados al patrón heterótico Tuxpeño x Eto en RG, número de MZPP y porcentaje de MZPDR.

En rendimiento de grano, la cruce entre los ciclos 11 (con base a selección de HC) presentó 21.08 % de ganancia total en heterosis equivalente a 1.92 %, por ciclo de selección. La cruce entre los ciclos 16 basada en el método HCR tuvo una ganancia total de 8.56 % en heterosis equivalente a 1.71 %, por ciclo de selección. Por su parte la cruce de los ciclos 19 derivada del uso de el método SRR, tuvo 10.84 % de ganancia total en heterosis, equivalente a 3.61 %, por ciclo de selección.

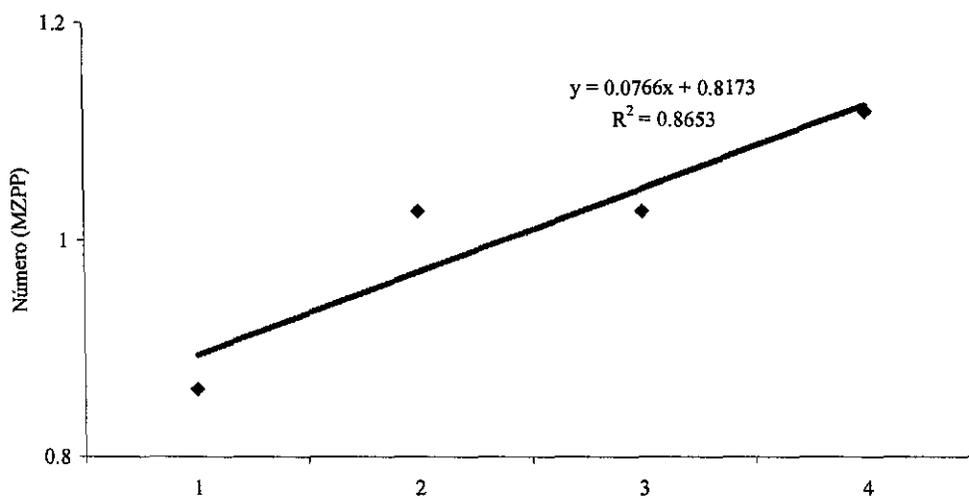
Figura 11 Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, rendimiento de grano, en cruzas del patrón heterótico Tuxpeño x Eto, evaluadas en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02).



Cruzas entre ciclos Tuxpeño-1 x Eto Blanco

1 = Tuxpeño-1 c0 x Eto Blanco c0 2 = Tuxpeño-1 c11 x Eto Blanco c11
 3 = Tuxpeño-1c16 x Eto Blanco c16 4 = Tuxpeño-1c19 x Eto Blanco c19

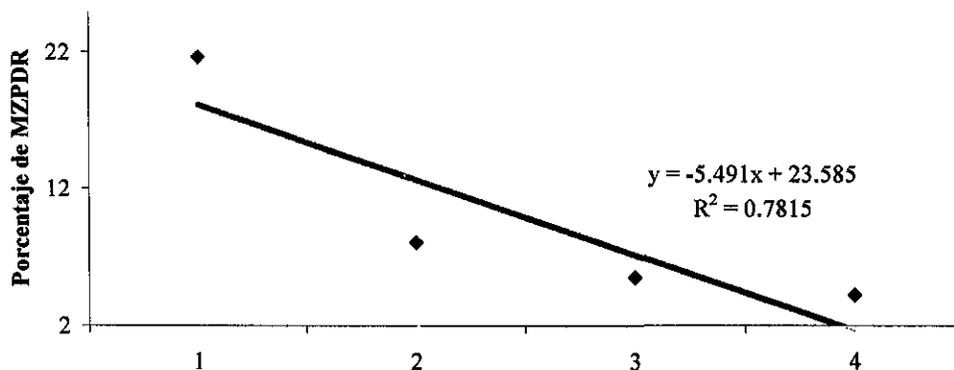
Figura 12 Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, número de mazorcas por planta, en cruzas del patrón heterótico Tux.peño x Eto evaluadas en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000 a 2002)



Cruzas entre ciclos de Tuxpeño-1 y Eto Blanco

1 = Tuxpeño-1 c0 x Eto Blanco c0 2 = Tuxpeño-1c11 x Eto Blanco c11
 3 = Tuxpeño-1 c16 x Eto Blanco c16 4 = Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19

Figura 13 Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección , porcentaje de mazorcas podridas, en cruzas del patrón heterótico Tuxpeño x Eto evaluadas en 4 ambientes de México. CIMMYT - UdeG (2000- 02)



Cruzas entre ciclos de Tuxpeño-1 y Eto Blanco

1 = Tuxpeño-1 c0 x Eto Blanco c0 2 = Tuxpeño-1 c11 x Eto Blanco c11
 3 = Tuxpeño-1 c16 x Eto Blanco c16 4 = Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19

El mismo tipo de respuesta se presentó en las variables: prolificidad y pudrición de mazorca, ya que las cruzas basadas en el método de HC tuvieron ganancias en heterosis de 9.57 % y -25.10 % equivalentes a 0.87 y -2.28 %, por ciclo de selección, respectivamente. La craza entre los ciclos 16 basada en el método HCR tuvo ganancias respectivas en heterosis de 3 y -7.44 % equivalentes a 0.60 y -1.49 %, por ciclo de selección. Por su parte la craza entre los ciclos 19, obtenida con base en el método SRR tuvo ganancias respectivas en heterosis de 7.18 y -36.18 % equivalentes a 2.39 y -12.06 %, por ciclo de selección. En resumen, las mejores respuestas heteróticas acumuladas resultaron de cruzas entre poblaciones mejoradas con base en el método de HC cuyas ganancias para el rendimiento de grano y mazorcas por planta fueron 21.08 y 9.57 % equivalentes a ganancias en heterosis por ciclo de 1.92 y 0.87 %, respectivamente. Sin embargo, la mejor respuesta en heterosis del porcentaje de mazorcas podridas fue para la craza entre poblaciones mejoradas del método SRR (uso de MH) cuya ganancia fue de -36.18 % equivalente a una ganancia en heterosis por ciclo de -12.06 % (Cuadro 17). Las mejores respuestas heteróticas por ciclo de selección fueron para las cruzas

del método SRR en las tres variables, con valores de 3.61 % en RG, 2.39 % en Mzpp y -12.06 % en porcentaje de MZPDR.

Cuadro 17 Ganancias porcentuales en heterosis para rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y porcentaje de mazorcas podridas en cruces de métodos de selección cíclica, evaluadas por CIMMYT - UdeG (2000-2002) en 4 ambientes de México y uno de Colombia

Cruza	RG (ton/ha)	H (%)	H / ciclo (%)
POB21 C11 (HC) x POB32 C11 (HC)	7.087	21.08	1.92
POB21C5(HCR) x POB32C5(HCR)	7.180	8.56	1.71
POB21C3(SRR) x POB32C3(SRR)	8.219	10.84	3.61
Cruza	Número (mzpp)	H (%)	H / ciclo (%)
POB21 C11 (HC) x POB32 C11 (HC)	1.03	9.57	0.87
POB21C5(HCR) x POB32C5(HCR)	1.03	3.00	0.60
POB21C3(SRR) x POB32C3(SRR)	1.12	7.18	2.39
Cruza	Porcentaje (mzpdrr)	H (%)	H / ciclo (%)
POB21 C11 (HC) x POB32 C11 (HC)	8.07	-25.10	-2.28
POB21C5(HCR) x POB32C5(HCR)	5.54	-7.44	-1.49
POB21C3(SRR) x POB32C3(SRR)	4.18	-36.18	-12.06

Pob 21c11 = c0 (HCR)

Pob 21c5 (HCR) = c0 (SRR)

Pob 21c3 (SRR) = Pob 21c19

Pob 32c11 = c0 (HCR)

Pob 32c5 (HCR) = c0 (SRR)

H = heterosis en porcentaje

H / ciclo = heterosis por ciclo en porcentaje

Pob 32c3 (MHRR) = Pob 32c19

Los resultados sobre heterosis hicieron evidente el acierto logrado por el programa de mejoramiento del CIMMYT con la constante modificación y ajuste de los métodos de selección; eso dio como respuesta una acumulación de genes favorables para estas características y su consecuente manifestación en los ciclos de selección avanzados. Esto mismo ha sido reportado por varios investigadores (Falconer, 1972; Villena *et. al.*, 1974; Márquez, 1985; Hallauer y Miranda, 1987; López, 1995; Aguilar, 1997; Guzman y Lamkey, 2000; Paliwal, 2001; Doerksen *et. al.*, 2003, entre otros).

Es importante continuar aplicando los métodos de SRR en ambas poblaciones en programas de hibridación donde se empleen probadores sobresalientes, dado que se podrían obtener híbridos tropicales rendidores y estables que puedan ser evaluados en múltiples localidades,

tal y como lo sugieren (Vasal *et. al.*, 1982; Márquez, 1985). Estos autores han reportado resultados de gran cantidad de estudios que han mostrado la eficiencia de la SRR en el mejoramiento de poblaciones; así mismo, han indicado la combinación favorable entre poblaciones de Tuxpeño PB y Eto PB e información sobre la aptitud combinatoria del germoplasma generado. Por dichas razones, sugirieron el aprovechamiento inmediato en híbridos simples, trilineales o dobles.

Hallauer y Miranda (1988), citados por Moreno *et. al.* (2004), dividieron las metodologías de selección, en intra e interpoblacionales e indicaron que en las primeras se aprovecha la varianza genética aditiva (σ^2_A) y en las segundas las varianzas aditiva y de dominancia (σ^2_D). Esos conceptos teóricos se han demostrado en este estudio, con los avances en las poblaciones y sus cruzas con base en las metodologías de SR y SRR. Los resultados obtenidos sobre heterosis concuerdan en gran medida con los resultados de Robinson *et. al.* (1956), quienes encontraron que el rendimiento promedio de las cruzas que evaluaron fue aproximadamente 20 % superior a la media de los progenitores; observaron la efectividad de la hibridación en el incremento del rendimiento de grano con 15 % a 20 % y consideraron la heterosis como indicador de diversidad genética entre poblaciones básicas, además de señalar la presencia de suficiente variabilidad genética, después de varios ciclos de SRR. Por otra parte, los resultados de Menz *et. al.* (1999) señalaron la eficacia de los métodos de la SRR para incrementar la heterosis expresada en cruzas de poblaciones.

4.3 Estabilidad de caracteres (modelo multiplicativo).

Se realizó el análisis de estabilidad en las variables rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y porcentaje de mazorcas podridas. Con la finalidad de explicar en detalle la interacción genotipo ambiente, se usó el modelo multiplicativo ajustado por regresión (Westcott, 1986, citado por Cruz, 1990); los resultados obtenidos se presentan a continuación. Cabe señalar que el porcentaje de MZPDR sólo se evaluó en las cuatro localidades de México y no se incluyeron los datos de Palmira, Colombia.

4.3.1 Análisis de varianza.

Se llevó a cabo un análisis de varianza conjunto para las variables rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y porcentaje de mazorcas podridas; el cual incluyó 32

genotipos en cinco ambientes (las dos primeras variables) y solamente cuatro ambientes para la tercera variable. Los resultados se presentan en los Cuadros 18, 19 y 20 e indican diferencias altamente significativas (**) entre ambientes (A) y entre genotipos (G), y diferencias significativas (*) entre las IGA de las tres variables analizadas.

Cuadro 18 Análisis de varianza conjunto, rendimiento de grano, de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft (0.05)	Ft (0.01)
A	4	845.286	211.322	92.778 **	2.37	3.32
R:A	5	11.389	2.278			
G	31	572.990	18.484	25.232 **	1.45	1.69
GA	124	141.396	1.140	1.557 **	1.21	1.31
Error	155	113.543	0.733			
Total	319	1684.605				

** = Significancia al 1%

Cuadro 19 Análisis de varianza conjunto, número de mazorcas por planta, de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft (0.05)	Ft (0.01)
A	4	3.302	0.826	10.251**	2.37	3.32
R:A	5	0.403	0.081			
G	31	2.652	0.086	14.018**	1.45	1.69
GA	124	2.084	0.017	2.753**	1.21	1.31
Error	155	0.946	0.006			
Total	319	9.387				

**Significativo al 1%

Cuadro 20 Análisis de varianza conjunto en porcentaje de mazorcas podridas de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000- 2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%
A	3	131.411	43.804	22.969 **	2.68	3.78
R:A	4	7.628	1.907			
G	31	367.575	11.857	21.808 **	1.55	1.86
GA	93	159.785	1.718	3.160 **	1.40	1.60
Error	124	67.422	0.544			
Total	255	733.820				

**Significativo al 1%

4.3.2 Prueba del modelo multiplicativo.

La prueba del modelo multiplicativo, para evaluar el ajuste por regresión se presenta en los Cuadros 21, 22 y 23 para RG, MZPP y MZDPR respectivamente. En los análisis para las tres variables se encontró que no existen diferencias significativas entre las respuestas de los genotipos (coeficientes de regresión b_K). Así mismo resultó significativa la falta de ajuste del modelo para las tres variables; el modelo multiplicativo ajustado por regresión únicamente explicó, respectivamente el 23, 39 y 17.31 % de la SC para las IGA del RG, número de MZPP y porcentaje de MZPDR. Es importante señalar que SC de la NA debería ser mayor al 70% de la SC de las IGA, para poder ser altamente recomendable el uso del modelo multiplicativo (Cruz, 1990).

Cuadro 21 Cuadro de análisis de interacción G/A, prueba del modelo multiplicativo, para rendimiento de grano de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Ft (0.05)	Ft (0.01)
GA	124	141.396				
NA	31	33.833	1.091	0.943ns	1.45	1.69
DR	93	107.564	1.157	1.579 **	1.22	1.32
ERROR	155	113.543	0.733			

**Significativo al 1% ns = no significativo NA = no aditividad DR = desviaciones de regresión
 Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó un 23% de la SC de la interacción (GA)

Cuadro 22 Cuadro de análisis de interacción G/A, prueba del modelo multiplicativo, para número de mazorcas por planta de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	F (5%)	F (1%)
GA	124	2.084				
NA	31	0.818	0.026	1.939ns	1.45	1.69
DR	93	1.266	0.014	2.230 **	1.22	1.32
ERROR	155	0.946	0.006			

**Significativo al 1% ns = no significativo NA = no aditividad DR = desviaciones de regresión
 Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó 39% de la SC de la interacción GA

Cuadro 23 Cuadro de análisis de IGA, prueba del modelo multiplicativo, para el porcentaje de mazorcas podridas de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	F5%	F1%
GA	93	159.785				
NA	31	27.654	0.892	0.419ns	1.55	1.86
DR	62	132.131	2.131	3.920 **	1.40	1.63
ERROR	124	67.422	0.544			

**Significativo al 1% ns = no significativo NA = No aditividad DR = Desviaciones de regresión
 Nota: la suma de cuadrados de NA solo explicó 17.31% de la SC de interacción GA

4.3.3 Estabilidad en rendimiento de grano.

El cuadro general de ANVA para el modelo multiplicativo, Cuadro 24, mostró diferencia altamente significativa (**) entre A y G, diferencia significativa (**) entre D_K y no presentó diferencia significativa entre los coeficientes de regresión b_K ; el cuadro contiene también, un desglose de las D_K de genotipos y la significancia de las mismas. Cabe recordar que en este estudio se empleó la clasificación de Talbot (1982), citado por Cruz (1990). Esta clasificación es análoga a la de Carballo y Márquez (1970) y se presenta en el Cuadro 6.

El Cuadro 25 indica los genotipos que tuvieron medias de rendimiento diferentes estadísticamente al resto. Así mismo, se indican las diferencias entre genotipos debido a sus correspondientes coeficientes de regresión (b_K) y desviaciones (D_K) de regresión. La media general fue 6.570 ton/ha con una DMS (5%) de 726 kg/ha y hubo un coeficiente de variación de 12.36% que indicó un manejo aceptable de las condiciones experimentales.

Dentro del grupo significativo; cinco genotipos fueron iguales en RG y superiores al resto; El mejor rendimiento (8.666 ton/ha) lo tuvo la entrada 14 (Tuxpeño-1 c19 x CML449), la cual presentó su mejor respuesta en ambientes favorables (sensibilidad positiva y buen ajuste al modelo multiplicativo); le siguió en importancia la cruz 11 (Tuxpeño-1 c6 x CML449) con sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo; asimismo, los tres genotipos restantes presentaron sensibilidad promedio pero no se ajustaron al modelo multiplicativo. El testigo 18 (CML448 x CML449) y la cruz 32 (Vall-380 x CML448), a pesar haber quedado fuera de la significancia, respondieron a ambientes desfavorables por su sensibilidad negativa y buen

ajuste al modelo multiplicativo. El ciclo cero de Tuxpeño-1 tuvo sensibilidad y buen ajuste al modelo, mientras que, el ciclo cero de Eto Blanco presentó sensibilidad media y falta de ajuste al modelo.

Cuadro 24 Análisis general de variación de modelo multiplicativo, rendimiento de grano (ton/ha), de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 y Eto Blanco evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000- 2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%
A	4	845.286	211.322	92.778 **	2.37	3.32
R:A	5	11.389	2.278			
G	31	572.990	18.484	25.232 **	1.45	1.69
G/A	124	141.396				
NA	31	33.833	1.091	0.944 ns	1.45	1.69
DR	93	107.564	1.157	1.579 **	1.22	1.32
Desviaciones de Genotipos						
1	3	1.5298	0.510	0.696 ns	2.63	3.95
2	3	1.2186	0.406	0.554 ns	2.63	3.95
3	3	3.2324	1.077	1.470 ns	2.63	3.95
4	3	0.9727	0.324	0.442 ns	2.63	3.95
5	3	6.1190	2.040	2.783 *	2.63	3.95
6	3	5.3530	1.784	2.434 ns	2.63	3.95
7	3	2.3271	0.776	1.058 ns	2.63	3.95
8	3	1.4768	0.492	0.672 ns	2.63	3.95
9	3	5.8544	1.951	2.662 *	2.63	3.95
10	3	5.8741	1.958	2.671 *	2.63	3.95
11	3	0.2734	0.091	0.124 ns	2.63	3.95
12	3	5.5856	1.862	2.540 ns	2.63	3.95
13	3	6.2251	2.075	2.831 *	2.63	3.95
14	3	1.5391	0.513	0.700 ns	2.63	3.95
15	3	0.1845	0.061	0.084 ns	2.63	3.95
16	3	1.3882	0.463	0.631 ns	2.63	3.95
17	3	3.4780	1.159	1.582 ns	2.63	3.95
18	3	4.9678	1.656	2.259 ns	2.63	3.95
19	3	2.0751	0.692	0.944 ns	2.63	3.95
20	3	9.6478	3.216	4.387 **	2.63	3.95
21	3	6.2375	2.079	2.837 *	2.63	3.95
22	3	7.5101	2.503	3.415 *	2.63	3.95
23	3	2.8437	0.948	1.293 ns	2.63	3.95
24	3	3.6367	1.212	1.654 ns	2.63	3.95
25	3	3.4804	1.160	1.583 ns	2.63	3.95
26	3	4.4876	1.496	2.041 ns	2.63	3.95
27	3	2.9827	0.994	1.356 ns	2.63	3.95
28	3	2.1390	0.713	0.973 ns	2.63	3.95
29	3	1.3747	0.458	0.625 ns	2.63	3.95
30	3	2.5550	0.852	1.162 ns	2.63	3.95
31	3	0.8065	0.269	0.367 ns	2.63	3.95
32	3	0.1871	0.062	0.085 ns	2.63	3.95
ERROR	155	113.543	0.733			
TOTAL	319					

**Significativo al 1%

*Significativo al 5%

ns = no significativo

Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó un 23% de la SC de IGA

Casi todos los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y Eto Blanco fueron de sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo, excepto el ciclo 11 de Eto Blanco que fue medianamente sensible y no se ajustó al modelo. Por último, las colectas presentaron sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo pero tuvieron un RG menor a la media del experimento (Cuadro 25).

4.3.4 Estabilidad en número de mazorcas.

El cuadro general de ANVA para el modelo multiplicativo (Cuadro 26) mostró diferencia altamente significativa (**) entre A y G, diferencia significativa (**) entre D_k , y no presentó diferencia significativa entre coeficientes b_k (NA); también, presenta el desglose de las desviaciones de los genotipos y la significancia de las mismas. El Cuadro 27 muestra la diferencia estadística (*) del número de MZPP y sus correspondientes coeficientes (b_k) y desviaciones de regresión (D_k). En virtud de la significancia obtenida por el modelo multiplicativo para el RG (b_k y D_k), también sobresalieron tres genotipos detectados en RG. Los resultados indican a tres cruzas superiores al resto e iguales entre sí; la cruz 10 (Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19), 14 (Tuxpeño-1 c19 x CML449) y el testigo 18 (CML448 x CML449), que tuvieron los mayores valores de prolificidad (1.10 a 1.15 MZPP).

De acuerdo a las situaciones posibles del ajuste al modelo multiplicativo, el testigo CML448 x CML449 fue el más sobresaliente en prolificidad de mazorca; sin embargo, presentó sensibilidad positiva y falta de ajuste al modelo, le siguieron los genotipos 10 (Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19) y 14 (Tuxpeño-1 c19 x CML449) con sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo multiplicativo (Cuadro 27). Por su parte, Tuxpeño-1 c0 se comportó en forma similar al testigo, en cambio Eto Blanco c0 tuvo sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo; sin embargo, los ciclos 0 de Tuxpeño-1 y Eto Blanco tuvieron menos de una MZPP y fueron considerados como inadecuados para esta característica. Las colectas evaluadas (entradas 23, 25 y 29) no superaron las expectativas y tuvieron menor cantidad de MZPP en comparación a la media.

Cuadro 25 Respuesta en rendimiento (ton/ha) por análisis multiplicativo, coeficientes (b_k) y desviaciones (D_k) de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Colima, Puebla y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002)

Entrada	Genotipo	ton/ha	b_k	D_k
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	8.666	0.435	1.539
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	8.219	0.057	5.874
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	8.018	0.019	6.225
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	7.967	0.186	0.273
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	7.954	0.190	6.237
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	7.850	-0.092	5.586
24	VER-39 X CML449	7.663	0.108	3.637
4	TUXPEÑO-1 C19	7.660	0.050	0.973
17	ETO BLANCO C19 X CML448	7.629	0.165	3.478
18	CML448 X CML449	7.571	-0.419	4.968
16	ETO BLANCO C16 X CML448	7.467	0.227	1.388
15	ETO BLANCOC11 X CML448	7.281	-0.115	0.184
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	7.180	0.010	5.854
7	ETO BLANCOC19	7.170	0.106	2.327
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	7.087	0.014	1.477
3	TUXPEÑO-1 C16	7.070	-0.123	3.232
28	V-520-C X CML449	7.066	0.181	2.139
26	MICH-166 X CML449	6.775	0.200	4.488
2	TUXPEÑO-1 C11	6.704	-0.022	1.219
30	TOLI-322 X CML448	6.693	-0.113	2.555
22	ETO BLANCO C0 X CML448	6.442	-0.062	7.510
6	ETO BLANCO C16	6.158	0.116	5.353
1	TUXPEÑO-1 C6	5.842	-0.293	1.530
32	VALL-380 X CML448	5.164	-0.433	0.187
19	TUXPEÑO-1 Cielo 0	5.075	-0.005	2.075
5	ETO BLANCO C11	5.002	-0.079	6.119
25	MICH-166	4.983	0.285	3.480
20	ETO BLANCO Cielo 0	4.671	0.180	9.648
27	V-520-C	4.589	-0.096	2.983
23	VER-39	4.519	-0.382	2.844
29	TOLI-322	4.259	-0.101	1.375
31	VALL-380	3.703	-0.195	0.806

DMS_(5%) = 0.726 ton/ha

Media = 6.570 ton/ha

C.V. = 12.36%

b_k (5%) = 0.410

Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales entre si

Cuadro 26 Análisis general de variación, modelo multiplicativo, para el número de mazorcas por planta de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas evaluados en cinco ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000-2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%
A	4	3.302	0.826	10.251 **	2.37	3.32
R:A	5	0.403	0.081			
G	31	2.652	0.086	14.018 **	1.45	1.69
GA	124	2.084				
NA	31	0.818	0.026	1.939 ns	1.45	1.69
DR	93	1.266	0.014	2.230 **	1.22	1.32
Desviaciones de Genotipos						
1	3	0.003	0.001	0.183 ns	2.63	4.05
2	3	0.039	0.013	2.166 ns	2.63	4.05
3	3	0.027	0.009	1.513 ns	2.63	4.05
4	3	0.007	0.002	0.366 ns	2.63	4.05
5	3	0.045	0.015	2.510 ns	2.63	4.05
6	3	0.043	0.014	2.375 ns	2.63	4.05
7	3	0.006	0.002	0.325 ns	2.63	4.05
8	3	0.002	0.001	0.136 ns	2.63	4.05
9	3	0.001	0.000	0.068 ns	2.63	4.05
10	3	0.037	0.012	2.057 ns	2.63	4.05
11	3	0.022	0.007	1.218 ns	2.63	4.05
12	3	0.004	0.001	0.220 ns	2.63	4.05
13	3	0.022	0.007	1.208 ns	2.63	4.05
14	3	0.033	0.011	1.824 ns	2.63	4.05
15	3	0.003	0.001	0.173 ns	2.63	4.05
16	3	0.032	0.011	1.801 ns	2.63	4.05
17	3	0.015	0.005	0.846 ns	2.63	4.05
18	3	0.241	0.080	13.390 **	2.63	4.05
19	3	0.115	0.038	6.368 **	2.63	4.05
20	3	0.014	0.005	0.791 ns	2.63	4.05
21	3	0.073	0.024	4.046 *	2.63	4.05
22	3	0.007	0.002	0.409 ns	2.63	4.05
23	3	0.101	0.034	5.604 **	2.63	4.05
24	3	0.093	0.031	5.159 **	2.63	4.05
25	3	0.089	0.030	4.936 **	2.63	4.05
26	3	0.004	0.001	0.220 ns	2.63	4.05
27	3	0.027	0.009	1.489 ns	2.63	4.05
28	3	0.024	0.008	1.342 ns	2.63	4.05
29	3	0.086	0.029	4.774 **	2.63	4.05
30	3	0.000	0.000	0.005 ns	2.63	4.05
31	3	0.029	0.010	1.622 ns	2.63	4.05
32	3	0.021	0.007	1.180 ns	2.63	4.05
ERROR	155	0.946	0.006			
TOTAL	319					

**Significativo al 1%

*Significativo al 5%

NS = No significativo

Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó 39% de la SC de la interacción G/A

Cuadro 27 Respuesta del número de mazorcas por planta, coeficientes b_k y desviaciones D_k de regresión de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Pob21), Eto Blanco (Pob32) y colectas, evaluados en 5 ambientes de México y Colombia (Palmira, Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000-2002)

Entrada	Genotipo	MZPP	b_k	D_k
18	CML448 X CML449	1.145	1.674	0.2410
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	1.118	-0.556	0.0370
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	1.103	0.325	0.0328
24	VER-39 X CML449	1.072	-0.170	0.0929
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	1.067	0.324	0.0728
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	1.059	-0.043	0.0219
4	TUXPEÑO-1 C19	1.055	-0.036	0.0066
15	ETO BLANCO C11 X CML448	1.051	0.191	0.0031
7	ETO BLANCO C19	1.042	0.343	0.0058
17	ETO BLANCO C19 X CML448	1.041	-0.169	0.0152
16	ETO BLANCO C16 X CML448	1.039	0.408	0.0324
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	1.027	-0.066	0.0025
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	1.027	-0.221	0.0012
30	TOLI-322 X CML448	1.010	-0.104	0.0001
3	TUXPEÑO-1 C16	1.000	-0.855	0.0272
6	ETO BLANCO C16	0.998	-0.257	0.0427
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	0.984	-0.274	0.0217
5	ETO BLANCO C11	0.980	0.195	0.0452
28	V-520-C X CML449	0.979	-0.079	0.0242
26	MICH-166 X CML449	0.976	0.927	0.0040
22	ETO BLANCO C0 X CML448	0.958	-0.605	0.0074
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	0.952	-0.539	0.0040
1	TUXPEÑO-1 C6	0.948	-0.632	0.0033
20	ETO BLANCO Ciclo 0	0.902	0.400	0.0142
2	TUXPEÑO-1 C11	0.900	-0.221	0.0390
32	VALL-380 X CML448	0.889	-0.384	0.0212
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	0.860	0.620	0.1146
29	TOLI-322	0.850	-0.242	0.0859
23	VER-39	0.848	0.206	0.1009
31	VALL-380	0.830	-0.157	0.0292
27	V-520-C	0.817	-0.482	0.0268
25	MICH-166	0.798	0.480	0.0889
DMS (5%) = 0.070 (MZPP)		Media = 0.98 MZPP	C.V. = 7.77%	
B _k (5%) = 0.616		Cantidades en negrita (estadísticamente iguales)		

Los ciclos avanzados de ambas poblaciones; principalmente de métodos como HCR y SRR tuvieron sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo, excepto Tuxpeño-1 c16, además superaron la media del número de MZPP del experimento (0.98), Ver Cuadro 23. Los demás ciclos de selección variaron en cuanto a su sensibilidad y ajuste al modelo a través de localidades y tuvieron valores de prolificidad menores a la media, así se observó a los ciclos 6 y 16 de Tuxpeño-1 considerados por su b_k y D_k como de buena respuesta a ambientes

desfavorables o de sensibilidad negativa y buen ajuste al modelo. La DMS (*) fue 0.07 MZPP, la media fue 0.98 MZPP y se obtuvo un CV de 7.77% (Cuadro 27).

4.3.5 Estabilidad en porcentaje de mazorcas podridas.

El Cuadro 28 presenta el análisis general de variación con diferencias altamente significativas (**) entre A, G y D_K ; sin embargo, no hubo diferencia significativa entre regresiones b_K o (NA). Los resultados basados en las diferencias significativas de los coeficientes b_K y D_K aparecen en el Cuadro 29; los menores porcentajes de pudrición de mazorca fueron obtenidos por un grupo de siete genotipos estadísticamente iguales entre sí (*) y superiores al resto. La cruce testigo 18 (CML448 x CML449) fue el mejor genotipo con 1.39 % de MZPDR; le siguieron en importancia las cruces 11 (Tuxpeño-1 c6 x CML449), 14 (Tuxpeño-1 c19 x CML449), 21 (Tuxpeño-1 c0 x CML449), 17 (Eto Blancoc19 x CML4489) y 22 (Eto Blanco c0 x CML448) cuyos porcentajes de MZPDR van de 2.87 a 3.84 %. Asimismo, el ciclo 16 de Tuxpeño-1 formó parte del grupo superior con 4 % de pudrición. Sin embargo, dentro del grupo significativo las entradas 11 y 14 sobresalieron en RG y ahora quedaron caracterizadas por su tolerancia y/o resistencia a la pudrición de la mazorca (Cuadros 29). Tuxpeño-1 c0 y Eto Blanco c0 pudrieron la mazorca en forma significativa, más de 20 %, y quedaron clasificados como de sensibilidad promedio pero sin buen ajuste al modelo multiplicativo. Los demás ciclos de selección avanzados variaron en sensibilidad y ajuste al modelo a través de las localidades y solamente Tuxpeño-1 c19, Eto Blanco c19 y Eto Blanco c16 tuvieron porcentajes de MZPDR menores a la media del experimento (10.6 %). Las colectas incluidas en el estudio variaron en sensibilidad y ajuste al modelo a través de las localidades y tuvieron más de 15% de MZPDR (Cuadro 29).

Al ajustar éste carácter, de acuerdo a las situaciones posibles, los genotipos del grupo significativo quedaron clasificados como de sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo, excepto Tuxpeño-1 c16 y la cruce 11 (Tuxpeño-1 c6 x CML449) que no se ajustaron al modelo. Los genotipos restantes presentaron sensibilidad promedio y se ajustaron bien al modelo, excepto 10 genotipos que no lo hicieron (Cuadro 29). El ciclo avanzado Tuxpeño-1 c19 (SRR) tuvo sensibilidad promedio y falta de ajuste al modelo, en cambio, Eto Blanco c19 presentó sensibilidad promedio y buen ajuste al modelo (Cuadro 29). La localidad de Tlaltizapán 2000 B fue estadísticamente el ambiente con menor porcentaje de MZPDR

(3.33%) y el ambiente que presentó el mayor porcentaje de MZPDR fue Agua Fría con más de 12 %. La DMS fue de 0.74 % y se obtuvo un CV de poco más de 25 % para esta variable (Cuadro 29).

Cuadro 28 Análisis general de variación, modelo multiplicativo, para el porcentaje de mazorca podrida de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1, Eto Blanco y colectas, evaluados en cuatro ambientes de México (Puebla, Colima y dos en Morelos). CIMMYT – UdeG (2000 – 2002)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Ft (0.05)	Ft (0.01)
A	3	131.411	43.804	22.969 **	2.68	3.78
R:A	4	7.628	1.907			
G	31	367.575	11.857	11.857 **	1.55	1.86
GA	93	159.785				
NA	31	27.654	0.892	0.419 ns	1.55	1.86
DR	62	132.131	2.131	3.920 **	1.43	1.66
Desviaciones de Genotipos						
1	2	12.9849	6.492	11.935 **	3.06	4.78
2	2	0.8580	0.429	0.789 ns	3.06	4.78
3	2	5.1710	2.585	4.753 *	3.06	4.78
4	2	4.3766	2.188	4.023 *	3.06	4.78
5	2	3.4675	1.734	3.187 *	3.06	4.78
6	2	1.2917	0.646	1.187 ns	3.06	4.78
7	2	1.7026	0.851	1.565 ns	3.06	4.78
8	2	1.5505	0.775	1.425 ns	3.06	4.78
9	2	5.7537	2.877	5.288 **	3.06	4.78
10	2	0.0052	0.003	0.005 ns	3.06	4.78
11	2	3.6692	1.835	3.372 *	3.06	4.78
12	2	1.3398	0.670	1.231 ns	3.06	4.78
13	2	2.0407	1.020	1.876 ns	3.06	4.78
14	2	0.4388	0.219	0.403 ns	3.06	4.78
15	2	1.9264	0.963	1.771 ns	3.06	4.78
16	2	1.6035	0.802	1.474 ns	3.06	4.78
17	2	0.3731	0.187	0.343 ns	3.06	4.78
18	2	2.7339	1.367	2.513 ns	3.06	4.78
19	2	4.2230	2.111	3.881 *	3.06	4.78
20	2	9.4065	4.703	8.646 **	3.06	4.78
21	2	1.3756	0.688	1.264 ns	3.06	4.78
22	2	0.3027	0.151	0.278 ns	3.06	4.78
23	2	3.2806	1.640	3.015 ns	3.06	4.78
24	2	0.1039	0.052	0.095 ns	3.06	4.78
25	2	10.7903	5.395	9.918 **	3.06	4.78
26	2	1.5366	0.768	1.412 ns	3.06	4.78
27	2	1.6524	0.826	1.519 ns	3.06	4.78
28	2	2.0791	1.040	1.911 ns	3.06	4.78
29	2	21.4909	10.745	19.753 **	3.06	4.78
30	2	0.5309	0.265	0.488 ns	3.06	4.78
31	2	18.4138	9.207	16.924 **	3.06	4.78
32	2	5.6579	2.829	5.200 **	3.06	4.78
ERROR	124	67.422	0.544			
TOTAL	255					

**Significativo al 1%

*Significativo al 5%

ns = No significativo

Nota: la suma de cuadrados de NA sólo explicó 17.31% de la SC de la interacción G/A

Los resultados obtenidos del análisis de estabilidad, indican que hay gran diversidad de comportamiento y reacciones a los cambios ambientales de los genotipos, dependiendo del carácter bajo estudio. Los cinco genotipos del grupo superior en rendimiento de grano tuvieron un comportamiento muy diferente a través de ambientes; el mejor genotipo tuvo buena respuesta en los mejores ambientes y buen ajuste del modelo lineal. De los cuatro genotipos restantes, todos tuvieron sensibilidad promedio, sin embargo tres de ellos no tuvieron buen ajuste al modelo lineal, lo que indica gran inconsistencia a los cambios ambientales. Resultados similares fueron reportados por Eberhart y Russell (1966); García (2000); Carrizales (2000); y Kang (2001). Por su parte, los tres genotipos sobresalientes en número de MZPP también mostraron grandes diferencias a través de los ambientes. Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19 (SRR) fue el más estable de los tres mientras que el testigo CML448 x CML449 tuvo una mejor respuesta en ambientes buenos, para esta característica (Palmira y Colima) y con un menor número de MZPP en ambientes malos (Agua Fría, Tlaltizapán 2000B y 2001A), sin embargo no tuvo buen ajuste al modelo lineal. Por otra parte, se puede señalar que los siete genotipos con menor porcentaje de MZPDR tuvieron un comportamiento similar a través de ambientes de evaluación, sin embargo, sólo cinco de éstos tuvieron un buen ajuste del modelo lineal y sensibilidad promedio.

Los resultados para rendimiento de grano, número de mazorcas por planta y porcentaje de mazorcas podridas son similares a las observaciones hechas por varios investigadores como Márquez (1974, 1992) y Cruz (1989), que consideraron a la IGA como el comportamiento relativo diferencial de los genotipos bajo diferentes ambientes; entendiéndose por ambiente el complejo climático, edáfico y tecnológico que actúa sobre el genotipo. De la misma forma, las diferencias a través de ambientes indican una fuerte IGA con efectos importantes de la selección en la heredabilidad de los caracteres. Es claro el incremento de la varianza fenotípica debido principalmente a incrementos de la varianza por IGA. La heredabilidad juega un papel clave en la determinación del avance genético por selección y una IGA grande le afecta negativamente (Márquez, 1992; Kang, 2001).

Por el tipo de resultados obtenidos se sugiere trabajar con ciclos avanzados que tengan sensibilidad promedio, se ajusten bien al modelo multiplicativo y ofrezcan resultados significativos en RG, prolificidad de mazorca y reducción en el porcentaje de la pudrición de mazorca (ver resultados sobre ganancia en selección para RG, número de MZPP y porcentaje de MZPDR). En dichos materiales se podrían derivar líneas en las que se acumulen genes

favorables para ser usadas en programas de cruzamiento y producir genotipos genéticamente estables. De la misma manera, con la información obtenida sería posible generar híbridos específicos para ambientes con gran potencial de rendimiento y que puedan presentar estabilidad en ambientes de estrés.

Cuadro 29 Respuesta de pudrición de mazorca (%), coeficientes b_k y desviaciones de regresión de 32 genotipos de maíz Tuxpeño-1 (Pob21), Eto Blanco (Pob32) y colectas, evaluados en 4 ambientes de México (Puebla, Colima y 2 en Morelos). CIMMYT - UdeG (2000 - 2002)

Entrada	Genotipo	% MZPDR	b_k	D_k
18	CML448 X CML449	1.39	-0.745	2.734
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	2.87	-0.195	3.669
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	3.05	-0.026	0.439
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	3.32	-0.024	1.376
17	ETO BLANCO C19 X CML448	3.30	-0.057	0.373
22	ETO BLANCO C0 X CML448	3.84	-0.044	0.303
3	TUXPEÑO-1 C16	4.03	-0.802	5.171
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	4.97	0.308	2.041
28	V-520-C X CML449	5.32	0.415	2.079
15	ETO BLANCO C11 X CML448	4.38	-0.044	1.926
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	4.18	-0.249	0.005
16	ETO BLANCO C16 X CML448	5.05	0.219	1.603
30	TOLI-322 X CML448	5.04	0.288	0.531
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	6.07	0.220	1.340
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	5.54	-0.262	5.754
4	TUXPEÑO-1 C19	6.39	0.075	4.377
7	ETO BLANCO C19	6.71	-0.009	1.703
24	VER-39 X CML449	7.54	0.264	0.104
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	8.07	-0.118	1.550
6	ETO BLANCO C16	7.94	-0.685	1.292
26	MICH-166 X CML449	11.08	0.745	1.537
5	ETO BLANCO C11	10.12	-0.818	3.468
1	TUXPEÑO-1 C6	11.82	-0.702	12.985
2	TUXPEÑO-1 C11	11.43	-0.529	0.858
23	VER-39	15.53	-0.135	3.281
32	VALL-380 X CML448	18.24	0.191	5.658
19	TUXPEÑO-1 Cielo 0	22.04	1.076	4.223
20	ETO BLANCO Cielo 0	21.23	0.162	9.407
27	V-520-C	22.84	0.238	1.652
25	MICH-166	27.62	0.939	10.790
29	TOLI-322	29.26	0.411	21.491
31	VALL-380	39.21	-0.105	18.414
DMS (5%) = 0.74 (MZPDR)		Media = 10.61% (MZPDR)		C.V. = 25.68%
b_k (5%) = 1.42		Cantidades en negrita son estadísticamente iguales		

V. CONCLUSIONES

La selección recurrente fue efectiva para mejorar las poblaciones Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto Blanco (Población 32) tanto para el rendimiento de grano, como prolificidad y reducir favorablemente las pudriciones de mazorca y altura de planta. Todo indica que las ganancias significativas logradas, conforme se avanzó la selección, se relacionan con la acumulación sostenida de genes favorables.

En general, se observaron respuestas lineales favorables en las dos poblaciones a los métodos de selección, sin embargo, la interacción genotipo-ambiente puede enmascarar otro tipo de respuestas. En este estudio se pudo comprobar que en ciertos ambientes, la respuesta a la selección puede mostrar respuestas negativas y el modelo que mejor se ajusta a los datos es de otro tipo, predominando el tipo cuadrático. Los resultados en ciertas condiciones ambientales pueden ser de gran utilidad en revelar criterios de selección extremos o inadecuados, tales como intensidades demasiado altas o énfasis en caracteres correlacionados que alteran negativamente variables de interés.

Aún cuando el presente estudio no se diseñó para comparar métodos de selección, los resultados indican que el método de hermanos carnales fue eficiente dado que se incrementó rápidamente el rendimiento de grano sobre las poblaciones originales haciendo un buen aprovechamiento de la varianza genética aditiva. De la misma manera el método de hermanos carnales tuvo un efecto muy importante en modificar la altura de planta ya que la redujo inmediatamente en ambas poblaciones. Por su parte, la selección recíproca recurrente aprovechó de manera muy eficiente tanto los efectos aditivos como los no aditivos tanto en rendimiento de grano y prolificidad, en ambas poblaciones, en comparación a los otros dos métodos. Así mismo esa metodología fue efectiva en aumentar los efectos heteróticos en cruza hechas entre ciclos avanzados de ambas poblaciones.

Un aspecto de gran importancia en este trabajo es que las diferentes estrategias de selección mostraron respuestas favorables en varios caracteres y no se detectaron indicios de reducciones drásticas en la variabilidad genética, ni se esperaba llegar en pocos ciclos a un límite en las respuestas favorables. La reducción de la altura de planta y pudriciones de mazorca en ambas poblaciones no afectó el rendimiento de grano de éstas; en cambio, el

rendimiento de grano fue significativamente superior en los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y Eto Blanco. Por otra parte se pudo determinar que el número de mazorcas por planta es un componente esencial del rendimiento, especialmente en ambientes de estrés; al parecer el incremento en prolificidad confiere grandes ventajas cuando se incrementa la competencia entre plantas debido a factores adversos como la sequía y mayores densidades de población.

El fenómeno de la interacción genotipo-ambiente limita en cierta medida el entendimiento de las respuestas a la selección recurrente y la elección de genotipos con fines de recomendaciones a los agricultores. En este trabajo se usó el modelo multiplicativo ajustado por regresión, sin embargo, no fue eficaz en explicar las interacciones para los caracteres evaluados, en todos los genotipos. En trabajos futuros será requerido elegir de manera muy cuidadosa un mayor número de ambientes y explorar métodos de análisis adicionales.

Referente a las localidades de evaluación, puede señalarse que los mejores ambientes en RG y prolificidad son Colima y Tlaltizapán 2000B; en cambio, Agua Fría, Tlaltizapán 2001A y Palmira fueron inferiores para esta característica. Tlaltizapán 2000 B y Colima son ambientes con menores porcentajes de MZPDR; en cambio Agua Fría y Tlaltizapán 2000A son ambientes con mayores porcentajes de pudrición. Las mayores AP de los ciclos Tuxpeño-1 fueron en ambientes de Agua Fría y Colima y las menores AP fueron Tlaltizapán (2000 B y 2001 A); asimismo, Eto 32 presentó el mismo comportamiento, excepto que, su menor AP fue en Tlaltizapán B.

La cruce Tuxpeño-1 c19 x CML449 fue el mejor genotipo en rendimiento de grano y las colectas tuvieron un RG menor a la media del experimento. En prolificidad de mazorca, el testigo CML448 x CML449 sobresalió, asimismo, CML448 x CML449 fue mejor en porcentaje de MZPDR y junto con Tuxpeño-1 c19 x Eto Blanco c19 y Tuxpeño-1 c19 x CML449 fue estable en resistencia al porcentaje de MZPDR.

Los ciclos de selección avanzados y las cruces entre estos ciclos, por lo general, responden mejor a los ambientes carentes de estrés (buenos) y responden mal a los ambientes con estrés (malos), por lo que hace que su comportamiento sea inestable y por tanto, sólo deberán sugerirse para ambientes regulares y buenos.

El uso de los mejores ciclos avanzados, en programas de cruzamiento, podría ayudar a generar materiales genéticamente estables y sobresalientes, tales como híbridos específicos en ambientes con gran potencial de rendimiento y estabilidad en ambientes de estrés. Es importante usar las mejores cruzas de los ciclos avanzados, de ambas poblaciones, en programas de cruzamiento donde se empleen probadores sobresalientes y obtener híbridos tropicales rendidores y estables, con mejor información sobre AC del germoplasma generado para hacer un aprovechamiento inmediato en híbridos simples, trilineales o dobles.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar S., M.** 1997. *Selection response and genetic variances in three replicates of reciprocal full-sib recurrent selection in Maize (Zea mays L.)*. Ph. D. Thesis, Nebraska University. Lincoln, Nebraska. USA.
- Barrientos, V., Segovia, M., Salazar, J., Escobar, D., Chirino, G., Chassaigne, A. y Hernández, A.** 2000. *Cinco ciclos de selección recurrente fenotípica para prolificidad en la población "FPX-02B" de maíz (Zea mays L.)*. Revista Investigación Agrícola-DANAC. 5:1. Yaracuy, Venezuela.
- Carballo C., A. y Márquez S., F.** 1970. *Comparación de genotipos de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad*. Agrociencia 5 (1): 129-146. México.
- Carrizales M., N.** 2000. *Comparación de índices para clasificar la estabilidad genética en híbridos tropicales de maíz*. Tesis de maestría en manejo de áreas de temporal. Universidad de Guadalajara- CUCBA. Zapopan, Jalisco. México
- CIMMYT.** 1985. *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de maíz del CIMMYT*. México, D.F. Cuarta reimpresión, 1995.
- CIMMYT.** 1994. *World Maize facts and trends. Maize seed industries, revisited: Emerging roles of the public and private sectors*. México, D.F.
- Córdova, H., Castellanos, S., Barreto, H., y Bolaños, J.** 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centro América: logros y estrategias hacia el año 2000. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 13(1): 73-84. 2002
- Crossa, José.** 1992. Análisis estadístico de series de experimentos. "Memorias Simposio Interacción Genotipo – Ambiente en Genotecnia Vegetal. 26 al 27 de Marzo de 1992 (Paginas 149-169). Guadalajara, Jalisco. México.
- Crossa, J. and G.O. Edmeades.**1997. The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: generation and analysis in tropical maize. In G.O. Edmeades, M. Banzinger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia (eds.) 1997. Developing Drought-and low N-Tolerant maize. Proceedings of a Symposium. March 25-29, 1996. CIMMYT, "EL BATAN", México, D. F.
- Cruz M., R.** 1989. Análisis estadístico de la interacción genotipo – ambiente. ITA No. 21 DGETAM SEP COSNET.
- Cruz M., R.** 1990. *Análisis estadístico de la interacción genotipo ambiente*. (SEP – DGETAM), Instituto Tecnológico Agropecuario No.21.

- De Leon, N. and J.G. Coors.** 2002. *Twenty-four cycles of mass selection for prolificacy in the Golden Glow maize population.* Crop Sci., Vol 42: 325-333.
- Doerksen; T.K., L .W. Kannenberg and E.A. Lee.** 2003. *Effect of Recurrent Selection on Combining Ability in Maize Breeding Populations.* Crop Sci., Vol. 43-1652-1658 (2003). America Crop Science Society.
- Eberhart; S.A. and W.A. Russell.** 1966. *Stability parameters for comparing varieties.* Crop Sci. Vol. 6:36-40. January – February, 1966.
- Edmeades; G. S., S. Banzinger, S. Pandey, A. Chapman, A. Ortega, Lafitte and Fischer, K.** 1996. *Recurrent selection under managed drought stress improves grain yields in tropical maize.* Symposium on Developing Drought and Low N Tolerant Maize. CIMMYT, México.
- Falconer; D.S.** 1972. *Introducción a la genética cuantitativa.* Compañía Editorial continental, S.A. (CECSA.). Sexta edición en español, México, D.F. (1976).
- FAOSTAT.** 2005. "Última actualización febrero 2005". <http://faostat.fao.org/faostat/default>
- Finlay; K.W. and G.N. Wilkinson.** 1963. *The analysis of adaptation in a plant breeding programme.* Aust. Jour. Agric. Res. 14:742-754.
- García V., M. A.** 2000. *Aptitud combinatoria y estabilidad genética de la resistencia a sequía en líneas e híbridos tropicales de maíz.* Tesis doctoral en ciencias agrícolas y forestales. Universidad de Guadalajara. CUCBA - PICAFA. Zapopan, Jalisco. México.
- Godoi, R. E., Barrientos, V., Paterniani, E.** 1996. *Tres ciclos de la metodología de selección recurrente entre y dentro de familias de medios hermanos con semillas remanentes en una variedad experimental de maíz (Zea mays L.).* Revista Investigación Agrícola-DANAC. Volumen 1. Yaracuy, Venezuela.
- Guzmán; P. S. and K. R. Lamkey.** 2000. *Effective population size and genetic variability in the BS11 maize population.* Crop Sci. 40:338-346 (2000).
- Hallauer; A. R. and J. B. Miranda.** 1987. *Quantitative genetics in maize breeding.* Iowa State University Press. First Edition, Third printing. Iowa, USA.
- Johnson; E. C. y K. S. Fischer** 1980. *Selección de plantas de porte bajo en maíz.* XXVI Reunión anual del PCCMCA, Guatemala. Guatemala. 24 al 28 de Marzo de 1980.
- Johnson; E. C., K. S. Fischer, G. O. Edmeades and A. F. Palmer.** 1986. *Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize.* Crop Sci., Vol. 26: 253 – 260.

- Kang; M. S.** 2001. *Genotype-Environment Interaction: Progress and Prospects*. In, Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding, (Ed. Manjit S. Kang). CABI Publishing.2001.
- Langer, I., K. J. Frey and T. Bailey.** 1979. *Associations among productivity, production response and stability indices in oat varieties*. Euphytica 28:17-24.
- Lee; E. A., T. K. Doerksen and L.W. Kannenberg.** 2003. *Genetic Components of Yield Stability in maize Breeding Populations*. Crop Sci. Vol. 43-2018-2027 (2003). America Crop Science Society.
- López T., M.** 1995. *Fitomejoramiento*. México: Trillas (ESAHE). 172 páginas. México, D. F.
- Lúquez, J., M. Weilenmann de Tau., H. Forjan y M. Piersanti.** 2002. *Estabilidad de híbridos de maíz para rendimiento de grano*. Resumen.
- Márquez S., F.** 1974. *El problema de la interacción genético – ambiental en Genotecnia Vegetal*. PATENA, A. C. Fitotecnia. Chapingo, México.
- Márquez S., F.** 1985. *Genotecnia Vegetal (métodos, teoría, resultados)*, Tomo I. AGT EDITOR, S.A. México, DF.
- Márquez S., F.** 1992. La interacción genético-ambiental en Genotecnia Vegetal (revisión). Memorias simposio interacción genotipo-ambiente en Genotecnia Vegetal. 26 al 27 de Marzo de 1992. Paginas 1-27. Guadalajara, Jal. México.
- Menz; R. M. A., A. R. Hallauer and W. A. Russell.** 1999. *Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize populations*. Crop Sci. 39: 89-97. 1999.
- Moreno P., E., D. Beck, Cervantes, S. T. y Torres, F. J.** 2004. *Selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno, en México*. Agrociencia 38: 305-311. 2004.
- Paliwal R., L.** 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Depósito de documentos de la FAO. Departamento de agricultura.
- Sierra M., M., Márquez, F., Valdivia, R, Córdova, H., Lezama, R y Pescador, A.** 2002. *Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz*. Plática doctoral en la décima quinta reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria, Veracruz. México.
- Ramírez, J. L., Ron, J., Sánchez, J. J., y Chuela M.** 2000. *Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-CE*. Agrociencia, Enero / Febrero, año/vol. 34, número 001 (pp 33-39). Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.

Robinson; H. F., R. E. Comstock, A. H. Khalil and P. H. Harvey. 1956. *Dominance versus overdominance: evidence from crosses between open-pollinated varieties of maize.* Amer. Nat. 90:127-131.

Steel; G. D. R. y H. J. Torrie. 1980. *Bioestadística: principios y procedimientos.* Editorial Mc. Graw-Hill. Primera edición en español. México, 1990.

Tabanao; A. D. and B. Rex. 2005. *Genetic variation in breeding populations with different numbers of parents.* Crop Sci. 45:2301-2306 (2005).

Vasal S., K., Ortega, A. y Pandey, S. 1982. *Programa de manejo, mejoramiento y utilizando del germoplasma de maíz en el CIMMYT.* El Batán, México.

Villena; W. y E. C. Johnson. 1973. *Respuestas a la selección para altura de planta y sus efectos en el rendimiento de grano y acame de raíz en tres poblaciones tropicales de maíz.* V reunión de maiceros de la Zona Andina. Cochabamba, Bolivia. Marzo (26 – 30)/ 1973.

Villena; W. D., A. D. Violic y E. C. Johnson. 1974. *Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos (PCCMCA), Veinte años de cooperación técnica internacional en maíz.*

Cuadro 6A Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruzas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Agua Fria, Puebla, México. CIMMYT-2000B

Entrada	Genotipo	RG	AP	AM	MZPP	Mzpd	ACT	ACR	FF	FM	ASI
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	8.08	274	161	1.07	6.83	1.19	25.38	56	56	0.0
18	CML448 X CML449	7.81	251	125	1.01	1.19	0.00	43.02	52	53	-1.0
17	ETO BLANCO C19 X CML448	7.55	266	139	0.95	6.55	0.00	40.24	56	55	1.0
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	7.53	258	147	1.01	6.93	3.49	60.62	54	54	-0.5
3	TUXPEÑO-1 C16	7.31	267	152	1.06	5.57	4.76	15.48	56	56	0.0
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	7.06	260	145	0.93	7.66	1.22	31.91	55	54	1.0
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	7.03	249	142	0.88	9.58	5.81	52.33	53	53	0.0
4	TUXPEÑO-1 C19	6.99	262	151	0.96	6.16	4.76	46.43	58	58	0.0
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	6.79	288	177	0.96	6.20	2.56	68.71	57	57	0.5
22	ETO BLANCO C0 X CML448	6.73	275	151	0.89	6.52	0.00	40.48	58	56	2.5
15	ETO BLANCO C11 X CML448	6.69	265	139	0.92	5.79	1.19	28.16	55	55	0.5
24	VER-39 X CML449	6.67	291	177	0.98	14.06	1.25	82.68	58	58	1.0
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	6.59	241	133	0.99	6.17	0.00	58.91	52	53	-1.0
30	TOLI-322 X CML448	6.56	279	169	0.89	10.98	6.04	31.10	60	58	2.0
16	ETO BLANCO C16 X CML448	6.51	250	130	0.91	11.07	0.00	32.44	56	55	0.5
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	6.34	261	152	0.91	9.37	2.38	38.10	55	55	0.0
1	TUXPEÑO-1 C6	5.87	231	135	0.91	8.88	7.03	19.32	54	54	0.5
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	5.81	266	149	0.83	13.04	2.33	53.79	54	55	-0.5
7	ETO BLANCO C19	5.58	262	140	0.90	13.82	2.50	48.75	57	57	0.0
28	V-520-C X CML449	5.56	276	165	0.80	14.69	2.38	83.33	55	56	-0.5
6	ETO BLANCO C16	5.39	241	138	0.94	11.16	1.16	43.52	54	54	0.0
2	TUXPEÑO-1 C11	5.12	263	149	0.72	16.67	1.22	51.95	57	56	1.0
26	MICH-166 X CML449	4.55	282	177	0.75	26.02	1.22	84.15	57	56	1.5
5	ETO BLANCO C11	4.47	253	136	0.91	16.23	7.42	58.42	56	55	1.0
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	3.39	296	189	0.59	29.17	1.43	77.74	60	60	-2.0
23	VER-39	3.22	315	195	0.55	22.92	3.57	72.81	60	58	2.0
27	V-520-C	3.15	327	203	0.69	30.61	1.52	68.53	61	60	1.0
29	TOLI-322	2.78	304	205	0.65	31.14	1.22	84.12	63	62	3.0
25	MICH-166	2.66	303	189	0.47	41.32	2.44	76.89	61	60	0.5
20	ETO BLANCO Ciclo 0	2.32	278	169	0.68	39.15	3.75	81.13	61	59	1.5
CV (%) =		10.59	2.89	4.06	9.77	19.85	38.34	16.81	2.77	1.71	10.0
Media de rendimiento =		5.61	273	160	0.85	15.01	3.08	53.36	57	56	0.6
DMS (1%) =		1.21	16	13	0.17	13.58	4.75	29.77	3	2	2.2
Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales			RG en ton/ha								

Cuadro 7A Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruza, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Tlaltizapán, Morelos. México. CIMMYT- 2001A

Entrada	Genotipo	RG	AP	AM	MZPP	MZPDR	ACT	ACR	FF	FM	ASI
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	7.17	213	111	1.08	4.40	1.19	1.19	67	66	3.5
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	6.97	207	110	1.03	2.38	0.00	1.25	65	64	1.0
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	6.45	213	118	1.02	3.52	0.00	0.00	66	66	1.0
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	6.29	195	98	0.98	0.00	0.00	0.00	63	63	-1.0
16	ETO BLANCO C16 X CML448	6.10	196	88	1.01	2.36	0.00	0.00	67	65	0.5
15	ETO BLANCO C11 X CML448	5.97	204	93	1.02	3.46	0.00	1.19	68	66	1.0
7	ETO BLANCO C19	5.89	205	104	1.04	3.46	1.19	0.00	67	66	1.5
18	CML448 X CML449	5.87	195	96	0.93	0.00	0.00	0.00	68	67	-3.0
4	TUXPEÑO-1 C19	5.65	216	114	1.01	5.87	1.19	1.19	67	66	0.5
30	TOLI-322 X CML448	5.59	225	127	1.00	3.57	0.00	0.00	70	70	0.0
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	5.54	239	141	1.00	6.10	1.19	0.00	71	70	0.0
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	5.45	210	114	1.00	1.19	0.00	0.00	66	65	0.0
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	5.36	200	107	0.92	10.94	1.19	0.00	66	65	-3.5
3	TUXPEÑO-1 C16	5.27	206	108	0.98	0.00	1.19	3.57	66	66	-1.0
17	ETO BLANCO C19 X CML448	5.20	189	86	0.96	2.47	0.00	0.00	69	67	-1.5
28	V-520-C X CML449	5.20	238	145	0.98	2.44	8.33	2.38	70	69	-1.0
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	5.07	208	105	1.05	7.93	1.19	0.00	67	66	2.0
22	ETO BLANCO C0 X CML448	4.97	226	114	0.99	3.72	0.00	0.00	70	69	-0.5
6	ETO BLANCO C16	4.97	201	100	1.04	4.60	0.00	0.00	65	65	1.5
23	VER-39	4.54	261	163	0.99	21.66	0.00	0.00	76	71	-0.5
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	4.36	250	155	1.04	37.76	4.88	1.19	76	74	1.5
1	TUXPEÑO-1 C6	4.34	172	86	0.94	3.78	0.00	1.19	64	64	-2.5
25	MICH-166	3.85	268	164	0.81	50.55	1.22	1.22	79	74	-8.0
20	ETO BLANCO Ciclo 0	3.64	248	147	0.95	25.02	8.33	0.00	72	71	-2.0
29	TOLI-322	3.40	230	143	0.85	64.12	4.76	2.38	75	73	-6.5
31	VALL-380	2.79	243	152	0.86	77.71	2.38	1.19	74	71	-6.0
	CV (%) =	9.63	4.64	6.77	4.75	24.18	63.8	60.48	1.5	1.7	21.8
	MEDIA =	5.15	220	121	0.97	13.88	1.61	0.79	69.1	67.6	-1.2
	DMS (1%) =	1.01	21	17	0.09	13.89	NS	NS	2.1	2.3	3.9
	RG en ton/ha	Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales									

Cuadro 8A Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruizas, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Tlaltizapán, Morelos. México. CIMMYT-2000B

Entrada	Genotipo	RG	AP	AM	MZPP	MZPDR	ACT	ACR	FF	FM	ASI
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	9.47	221	118	1.01	0.00	0.00	3.57	91	91	0.5
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	8.93	222	118	0.95	0.00	0.00	10.71	93	92	1.0
18	CML448 X CML449	8.61	215	106	0.98	0.00	3.63	4.88	96	96	0.0
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	8.58	231	120	1.02	1.14	1.19	52.38	96	94	1.5
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	8.57	207	104	1.02	0.00	0.00	11.96	91	90	0.5
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	8.41	214	114	1.01	0.00	0.00	7.46	96	95	1.0
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	8.35	216	113	1.00	1.19	0.00	23.81	95	92	3.0
4	TUXPEÑO-1 C19	8.25	229	118	1.00	0.00	1.19	7.14	95	92	3.0
17	ETO BLANCO C19 X CML448	8.02	201	89	1.00	0.00	0.00	8.51	95	95	0.5
16	ETO BLANCO C16 X CML448	7.94	213	99	1.00	0.00	1.25	7.50	93	93	0.0
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	7.50	262	154	0.88	0.00	1.22	8.54	102	99	3.0
15	ETO BLANCO C11 X CML448	7.46	222	107	0.98	0.00	0.00	9.88	95	95	0.5
24	VER-39 X CML449	7.30	248	149	0.96	1.35	0.00	41.25	102	97	5.0
6	ETO BLANCO C16	7.30	198	102	0.98	6.13	0.00	21.43	94	92	2.0
22	ETO BLANCO C0 X CML448	7.26	234	120	0.96	0.00	1.19	3.57	99	97	2.5
2	TUXPEÑO-1 C11	7.20	201	96	0.96	9.97	0.00	23.81	99	96	3.0
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	7.18	213	105	0.96	2.50	0.00	26.19	95	94	0.5
3	TUXPEÑO-1 C16	7.17	202	99	0.94	2.54	0.00	14.29	96	92	4.0
28	V-520-C X CML449	7.02	245	147	0.95	0.00	0.00	25.23	103	99	3.5
26	MICH-166 X CML449	6.96	254	150	0.86	1.39	0.00	19.05	99	98	1.0
30	TOLI-322 X CML448	6.92	217	101	0.98	0.00	0.00	12.20	98	95	3.5
7	ETO BLANCO C19	6.89	206	110	0.95	2.50	0.00	21.43	94	93	1.0
1	TUXPEÑO-1 C6	5.94	183	88	0.90	5.36	1.19	13.24	92	89	2.5
5	ETO BLANCO C11	5.65	213	106	0.89	11.01	0.00	32.14	96	94	1.5
32	VALL-380 X CML448	5.33	228	119	0.92	5.05	0.00	7.14	97	94	3.0
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	5.25	269	176	0.68	3.85	0.00	47.62	108	105	3.0
23	VER-39	4.43	272	182	0.86	9.72	1.19	39.29	110	105	5.0
29	TOLI-322	4.33	215	118	0.99	11.60	0.00	71.89	100	95	4.5
20	ETO BLANCO Ciclo 0	3.92	231	140	0.87	13.84	5.95	4.76	106	98	8.0
31	VALL-380	3.53	210	110	0.83	20.32	0.00	32.57	101	95	2.5
	CV (%) =	7.75	4.81	6.70	7.63	36.73	47.16	42.96	2.7	1.2	96.8
	MEDIA =	6.85	226	123	0.93	3.97	0.90	21.55	97.9	95.5	2.4
	DMS (**) y (*) =	1.08	22	16	0.15	6.21	3.19	39.22	5.5	2.3	NS

RG en ton/ha

Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales

Cuadro 9A Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruza, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Palmira, Colombia. CIMMYT- 2000B

Entrada	Genotipo	RG	AP	AM	MZPP	ACT	ACR	FF	FM	ASI
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	8.20	253	135	1.17	8.41	0.00	69	69	0.0
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	7.72	203	100	1.07	10.92	0.00	65	65	-0.5
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	7.71	205	110	0.98	2.50	1.25	65	65	0.5
24	VER-39 X CML449	7.61	260	160	1.25	7.63	0.00	70	68	2.0
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	7.03	225	113	0.97	1.28	4.05	66	66	0.5
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	6.88	190	93	1.04	6.10	0.00	64	63	1.0
28	V-520-C X CML449	6.79	248	145	1.06	7.76	15.40	68	67	0.5
7	ETO BLANCO C19	6.74	208	100	1.02	4.12	0.00	66	65	1.5
4	TUXPEÑO-1 C19	6.70	223	120	1.05	3.75	2.50	68	68	0.0
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	6.67	220	113	1.03	6.91	0.00	66	65	1.5
26	MICH-166 X CML449	6.64	235	130	0.97	14.53	2.67	69	69	0.5
18	CML448 X CML449	6.60	200	95	1.05	1.67	0.00	65	64	0.5
17	ETO BLANCO C19 X CML448	6.30	203	93	1.09	0.00	0.00	67	66	1.0
15	ETO BLANCO C11 X CML448	6.29	193	98	1.06	1.19	0.00	67	65	2.5
2	TUXPEÑO-1 C11	6.11	203	105	0.86	1.14	0.00	67	65	2.0
3	TUXPEÑO-1 C16	5.88	188	88	0.96	3.56	1.28	70	66	4.5
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	5.80	213	108	1.23	4.55	1.35	68	67	1.0
16	ETO BLANCO C16 X CML448	5.59	198	98	0.94	4.82	1.25	65	65	0.5
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	5.09	198	103	1.03	3.63	0.00	65	64	1.5
1	TUXPEÑO-1 C6	5.08	185	95	0.98	9.82	0.00	65	64	1.0
30	TOLI-322 X CML448	4.98	213	118	1.01	2.38	1.43	70	69	1.0
32	VALL-380 X CML448	4.82	265	170	0.84	3.41	0.00	70	69	1.0
20	ETO BLANCO Ciclo 0	4.80	285	175	0.87	30.84	2.50	71	67	3.5
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	4.15	268	168	0.91	5.13	7.53	73	73	0.5
22	ETO BLANCO C0 X CML448	4.13	245	148	0.92	1.85	0.00	64	63	1.0
25	MICH-166	3.98	270	163	0.93	12.44	3.58	71	72	-1.5
27	V-520-C	3.96	293	173	0.81	7.31	7.35	71	70	1.5
23	VER-39	3.83	283	163	0.86	4.19	16.32	74	72	2.0
6	ETO BLANCO C16	3.78	203	75	0.87	8.97	0.00	67	65	2.0
29	TOLI-322	3.69	223	115	0.80	12.90	2.78	72	68	3.5
31	VALL-380	3.23	245	153	0.89	16.51	1.25	72	69	3.5
5	ETO BLANCO C11	2.64	205	90	0.89	6.56	6.45	69	67	2.0
	CV (%) =	14.7	8.66	13.08	9.19	40.92	60.81	3.3	2.4	12.2
	MEDIA =	5.61	226	122	0.98	6.74	2.47	67.9	66.6	1.3
	DMS (1%) =	1.68	39.96	32.56	0.18	10.5	6.75	4.5	3.2	NS

RG en ton/ha

Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales

Cuadro 10A Respuesta del rendimiento y nueve variables más con cruza, ciclos de selección y colectas (Tuxpeño-1 Población 21 y Eto Blanco Población 32), evaluadas en Coquimatlán, Colima. CIMMYT - U de G (2002 A)

Entrada	Genotipo	RG	AP	AM	MZPP	MZPDR	ACT	ACR	FF	FM	ASI
14	TUXPEÑO-1 C19 X CML449	13.23	218	120	1.39	1.75	0.00	0.00	67	70	-3.0
21	TUXPEÑO-1 C0 X CML449	11.75	263	145	1.32	0.96	1.43	0.00	68	70	-2.0
11	TUXPEÑO-1 C6 X CML449	11.50	205	110	1.27	5.32	1.35	0.00	62	64	-1.5
10	TUXPEÑO-1 C19 X ETO BLANCO C19	11.47	233	123	1.19	4.37	1.22	0.00	66	69	-2.5
16	ETO BLANCO C16 X CML448	11.21	238	113	1.34	6.77	0.00	0.00	68	71	-3.0
24	VER-39 X CML449	11.19	265	153	1.21	7.38	1.35	4.05	68	70	-2.0
17	ETO BLANCO C19 X CML448	11.07	218	113	1.20	4.17	1.25	0.00	68	70	-2.5
13	TUXPEÑO-1 C16 X CML449	10.81	215	110	1.09	4.47	1.16	0.00	67	71	-3.5
28	V-520-C X CML449	10.76	258	160	1.11	4.17	3.95	1.35	66	68	-1.5
7	ETO BLANCO C19	10.76	223	108	1.30	7.06	2.70	0.00	67	69	-2.5
4	TUXPEÑO-1 C19	10.71	220	125	1.25	13.53	0.00	0.00	68	70	-2.5
26	MICH-166 X CML449	10.50	245	138	1.33	9.27	0.00	0.00	71	70	1.0
12	TUXPEÑO-1 C11 X CML449	10.23	215	125	1.03	3.75	1.52	0.00	68	71	-3.0
8	TUXPEÑO-1 C11 X ETO BLANCO C11	10.17	210	113	1.19	12.48	0.00	0.00	67	70	-3.5
15	ETO BLANCO C11 X CML448	9.99	220	103	1.28	8.27	0.00	0.00	68	71	-3.0
9	TUXPEÑO-1 C16 X ETO BLANCO C16	9.95	200	110	1.17	12.11	0.00	0.00	65	67	-2.0
3	TUXPEÑO-1 C16	9.73	223	125	1.07	8.01	0.00	0.00	68	70	-2.5
2	TUXPEÑO-1 C11	9.63	218	108	1.01	7.63	0.00	0.00	67	70	-3.0
30	TOLI-322 X CML448	9.42	235	120	1.17	5.61	0.00	0.00	70	70	0.0
6	ETO BLANCO C16	9.35	218	120	1.17	9.88	0.00	0.00	68	70	-2.0
22	ETO C0 X CML448	9.11	248	133	1.03	5.13	0.00	0.00	70	72	-2.0
18	CML448 X CML449	8.97	215	105	1.77	4.38	0.00	0.00	65	67	-2.0
20	ETO BLANCO Ciclo 0	8.68	278	145	1.14	6.92	2.94	7.35	72	74	-2.5
19	TUXPEÑO-1 Ciclo 0	8.22	280	165	1.09	17.39	0.00	7.27	78	78	0.0
1	TUXPEÑO-1 C6	7.97	185	100	1.01	29.26	0.00	0.00	62	65	-2.5
5	ETO BLANCO C11	7.78	228	123	1.25	5.25	1.35	0.00	66	68	-2.5
29	TOLI-322	7.10	240	140	0.96	10.17	0.00	2.78	69	72	-2.5
32	VALL-380 X CML448	6.87	253	148	0.99	23.61	0.00	0.00	69	71	-2.0
31	VALL-380	6.31	255	155	0.93	29.66	0.00	0.00	69	71	-2.0
	CV (%) =	15.09	5.12	10	7.87	27.69	52.83	52.58	2.75	2.49	13.0
	MEDIA =	9.61	237	132	1.16	9.56	0.89	1.60	68.4	70.3	-1.85
	DMS (1%) =	2.96	25	27	0.19	11.30	NS	5.53	3.8	3.57	2.16

RG en ton/ha

Cantidades en negrita, son estadísticamente iguales