

# PRUEBAS DE RENDIMIENTO DE HIBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAIZ PALOMERO PARA LA REGION DE EL BAJIO

Arturo Estrada Gómez  
Hermilo H. Angeles A.

## RESUMEN

Las importaciones de maíz palomero que México hace de los Estados Unidos representan egresos por 30 millones de pesos anuales. Para evitar esta fuga de divisas el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas realiza programas de mejoramiento genético y prácticas agronómicas en este tipo de maíz. En 1970, en el Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío (C I A B) se establecieron dos experimentos con la finalidad de medir en uno de ellos el rendimiento de grano de 45 cruza simples posibles entre 10 líneas S<sub>1</sub> seleccionadas por su buena capacidad de expansión, y en el otro determinar el rendimiento de 4 cruza del grupo mencionado y una variedad experimental en 10 fechas de siembra con intervalos de 15 días una de otra (1<sup>o</sup> de febrero al 16 de junio). Los resultados obtenidos del primer ensayo indicaron que 6 cruza simples fueron estadísticamente superiores en rendimiento al nivel de 5% de probabilidad. En el segundo experimento los factores fechas de siembra, variedades e interacción fechas de siembra-variedades, la prueba de F fue altamente significativa. Se encontró que 8 fechas de siembra fueron estadísticamente iguales en rendimiento, una variedad fue la más productiva y diferente estadísticamente a las cuatro restantes y en la interacción de estos dos factores hubo 3 fechas de siembra en las que dos variedades sobresalieron estadísticamente de las fechas de siembra y variedades restantes.

## SUMMARY

Pop corn importations from the United States represent 30 million pesos a year. In order to prevent this the National Institute for Agricultural Research (INIA) is carrying out breeding and cultural practices research projects on such kind of corn. In 1970, at the Center for Agricultural Research of El Bajío (CIAB), two experiments were conducted. In one of them the purpose was to test the yield of the possible single crosses among 10 S<sub>1</sub> lines previously selected for their expansion capacity. The objective of the other experiment was to determine the yield of 4 of the single crosses and of one open pollinated experimental variety through 10 planting dates. Planting dates were programed every two weeks from February 1st. to June 16th. From the first experiment six single crosses were considered the best at the 5% significance level. From the second experiment the F tests for all the factors involved were significant. Eight planting dates were statistically the same; the best variety was significantly different from the other four; and there were three planting dates in which the two best varieties yielded statistically the same.

## INTRODUCCION

Los avances obtenidos en México en la investigación sobre el cultivo del maíz permiten satisfacer

la demanda interna actual para consumo directo (alimentación humana) y canalizar parte de la investigación al mejoramiento genético de maíces para uso industrial o específico.

Respecto a los maíces para uso específico se trabaja en el mejoramiento del maíz reventador, conocido comunmente como maíz palomero, especial para la producción de confiterías o palomitas de las que hay gran demanda en parques recreativos y salas de espectáculos. Casi la totalidad del volumen consumido de este tipo de maíz se importa de los Estados Unidos ocasionando pagos de divisas por 1.3 millones de pesos en promedio anual.

Como resultado de esos trabajos se tienen variedades e híbridos experimentales derivados de trabajos de selección por la adaptación de materiales introducidos, que se han obtenido en el Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío (CIAB) y que poseen buenas características de rendimiento y poder expansivo.

## REVISION DE LITERATURA

Actualmente el maíz palomero se clasifica como *Zea mays* L. subespecie *evarta* (Bailey).

Este maíz se caracteriza por sus granos pequeños con base puntiaguda, por su endospermo muy duro que revienta con el calor y sus mazorcas y plantas pequeñas, Bailey (1).

Brunson (9), en Sprague, 1955, indica que hay dos clases de maíz palomero: el "arrocillo" y el "perla", el primero con granos puntiagudos y el segundo con granos de corona lisa. Este autor también expone que el origen de este maíz es América, basándose en los restos arqueológicos encontrados por Mangelsdorf y Smith en 1949, en la cueva del Murciélagos en Nuevo México, considerados como de maíces primitivos del tipo palomero con edad de 2,500 años.

Mac Neish (8) descubrió en el Valle de Tehuac

cán, Puebla, mazorcas fósiles de maíz de las que Mangelsdorf asegura que son de maíz silvestre tipo palomero, estimándoseles una edad de 7,000 años.

Brunson (2) dice que la propiedad de expansión es la principal característica del maíz palomero y que ésta guarda una relación estrecha con el contenido de almidón córneo, ya que este maíz solo tiene pequeñas cantidades de almidón blando rodeando el embrión de la semilla.

Según Brunson, la expansión ocurre por la presión súbita producida por vapor generado dentro del grano y la fuente de ese vapor es la humedad contenida en el mismo grano. También indica que la expansión se mide por la relación entre un volumen inicial de maíz y el volumen de palomitas que resulta con la expansión. Además agrega que la expansión es mayor cuando el grano posee de 11 a 15% de humedad (óptima 13%) y la temperatura a que se somete es constante entre 176.5 y 276.5° C.

Este mismo autor, Grissom, y Weaver y Thompson (2, 6, 10), indican que el poder expansivo es un carácter de herencia cuantitativa controlado por varios genes; pero que son menos que los que controlan el contenido de proteínas o de aceite y que algunos de esos genes son de efectos aditivos, epistáticos o de dominancia.

Clary (3) encontró que los genes responsables de la expansión están localizados en el brazo largo de los cromosomas 1, 4, 5 y 6 y en el brazo corto de los cromosomas 1, 3 y 10. Este mismo autor menciona que el gene (s) del cromosoma 3 es el de más influencia para determinar el grado de expansión.

Hulsen en 1960 (7) informa que la expansión pobre manifestada en las pruebas de muestras anuales hechas en el Departamento de Horticultura de Illinois puede deberse a enfermedades como la marchitez bacteriana, o bien, a la variación en el porcentaje de granos parcialmente reventados o sin reventar.

Estudios de Hulsen realizados desde 1951, han eliminado un número considerable de causas aparentes por las que la expansión resulta mala, como son: el alto o bajo contenido de humedad del grano, daños del grano por frío (heladas) o estado de maduración del grano al momento de la cosecha, condiciones ambientales adversas como sequía, exceso de lluvia y temperaturas altas, estado de fertilidad del suelo y daños mecánicos en diferentes etapas del desarrollo de la planta; pero indica que la razón por la que muchas muestras con apariencia normal fracasan en la prueba de expansión, permanece ignorada, así como también la causa por la que el maíz palomero tiene la característica de expandir y otros tipos de maíz no.

Green (4, 5) al estudiar el número de plantas por mata y la distancia entre surcos para el cultivo del maíz palomero, con los datos de 2 años de prueba concluyó que en surcos con 3 pies (91.5 cm) de separación y con una planta/mata cada 6 pulgadas (15.24 cm) o

sean 29,040 plantas/acre (63,890 plantas/ha) se obtienen los mejores rendimientos.

## MATERIALES Y METODOS

Para la determinación del mejor o los mejores híbridos simples regionales que deberán salir al mercado se estudiaron en un ensayo de rendimiento las 45 cruzas simples posibles entre 10 líneas S<sub>1</sub> seleccionadas por su buena capacidad de expansión, las cuales fueron obtenidas en el CIAB en pruebas de adaptación y selección por características agronómicas deseables de materiales introducidos de Estados Unidos.

El diseño experimental empleado fue un látice simple 7 x 7 con 4 repeticiones usando como testigos 3 variedades experimentales de polinización libre de regulares características de rendimiento de grano y poder expansivo, con buena adaptación a las condiciones ecológicas de el CIAB y una variedad comercial importada.

Para el estudio de la fecha de siembra óptima del cultivo del maíz palomero se utilizaron 5 variedades, 4 cruzas simples escogidas de las 45 cruzas simples posibles arriba indicadas por su buena capacidad de expansión y una de las variedades de polinización libre, sembradas en 10 fechas a partir del 1º de febrero y con intervalos de 15 días una de otra.

El diseño experimental empleado fue el de parcelas divididas con 4 repeticiones donde los tratamientos de fechas de siembra corresponden a las parcelas grandes y las variedades quedaron distribuidas en las parcelas chicas.

Se obtuvieron los datos de rendimiento de grano al 12% de humedad de cada tratamiento en cada experimento y se procedió a efectuar los análisis estadísticos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

a) En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianzas para rendimiento de grano del látice simple 7 x 7.

Al aplicar la prueba de F se encontró diferencia estadística significativa para lotes (eliminando variedades) y diferencia altamente significativa para variedades por lo que se procedió a aplicar la prueba de t al 0.05 y 0.01 por ciento de nivel de significancia, habiéndose seleccionado 6 cruzas simples (5% de probabilidad) y 5 cruzas simples más al 1% de probabilidad.

Las cruzas seleccionadas con sus características de rendimiento y poder expansivo se presentan en el Cuadro 3.

CUADRO 1. ANALISIS DE LA VARIACION DEL EXPERIMENTO SOBRE RENDIMIENTO DE GRANO DE 45 CRUZAS SIMPLES EXPERIMENTALES DE MAIZ PALOMERO, ANALIZADO COMO LATICE SIMPLE

| ANALISIS DE VARIACION  |     |        |         |       |         |
|------------------------|-----|--------|---------|-------|---------|
| FUENTE DE VARIACION    | G L | S C    | C M     | F     |         |
| Repeticiones           | 3   |        | 4.780   | 1.593 | 3.88    |
| Componente "a"         | 12  | 15.013 |         |       |         |
| Componente "b"         | 12  | 6.565  |         |       |         |
| Lotes (Elim. Var.)     | 24  |        | 21.578  | 0.899 | 1.79 *  |
| Variedades (Ig. Lotes) | 48  |        | 254.490 | 5.302 | 1.62 ** |
| Error (Intralotes)     | 120 |        | 49.202  | 0.410 |         |
| TOTAL                  | 195 |        | 330.050 |       |         |

$$X_G = 6.5$$

$$CV = 9.84$$

$$DMS = 2.94$$

CUADRO 2. ANALISIS DE VARIACION DEL EXPERIMENTO SOBRE RENDIMIENTO DE GRANO DE LAS 45 CRUZAS SIMPLES EXPERIMENTALES DE MAIZ PALOMERO, ANALIZADO COMO BLOQUES AL AZAR

| FUENTE DE VARIACION | G L | S C     | C M   | F       |
|---------------------|-----|---------|-------|---------|
| Repeticiones        | 3   | 4.780   | 1.593 | 3.88 *  |
| Variedades          | 48  | 254.490 | 5.302 | 1.62 ** |
| Error               | 144 | 70.780  | 0.492 |         |
| TOTAL               | 195 | 330.050 |       |         |

CUADRO 3. CRUZAS SIMPLES DE LINEAS S<sub>1</sub> DE MAIZ PALOMERO SELECCIONADAS POR SU BUEN RENDIMIENTO DE GRANO

| Nº VAR. | GENEALOGIA                        | REND.<br>kg/ha | V E            |                |                      |                  |                |
|---------|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|------------------|----------------|
|         |                                   |                | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>2</sub> (P.L) | X F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> |
| 13      | Neb. I (S B)-28 x Pal. Mtra. I-18 | 8,290          | 28.8           | 22.0           | 24.1                 | 23.0             | 20.6           |
| 38      | Pal. Mtra. I-18 x V. 2-3          | 7,914          | 27.9           | 17.1           | 24.4                 | 20.7             | 22.6           |
| 11      | Neb. I (S B)-28 x Pal. Mtra. I-1  | 7,819          | 31.0           | 25.4           | 25.5                 | 25.4             | 22.9           |
| 29      | Pal. Mtra. I-1 x V. 2-3           | 7,725          | 30.1           | 24.1           | 26.3                 | 25.2             | 24.9           |
| 30      | Pal. Mtra. I-1 x V. 8-14          | 7,537          | 26.5           | 25.7           | 27.5                 | 26.6             | 25.5           |
| 43      | Pal. Mtra. I-58 x V. 2-3          | 7,537          | 23.4           | 22.7           | 24.5                 | 23.6             | 21.4           |
| 3       | Neb. I (S B)-18 x Pal. Mtra. I-1  | 7,254          | 26.2           | 27.3           | 27.9                 | 27.6             | 28.7           |
| 5       | Neb. I (S B)-18 x Pal. Mtra. I-18 | 7,254          | 27.0           | 26.0           | 25.0                 | 25.5             | 25.3           |
| 16      | Neb. I (S B)-28 x V. 2-3          | 7,254          | 26.3           | 23.3           | 23.0                 | 23.1             | 23.3           |
| 39      | Pal. Mtra. I-18 x V. 8-14         | 7,254          | 26.0           | 23.5           | 25.5                 | 24.5             | 24.5           |
| 19      | Neb. I (S B)-95 x Pal. Mtra. I-14 | 7,160          | 28.4           | 25.1           | 25.6                 | 25.3             | 23.3           |
| 18      | Neb. I (S B)-95 x Pal. Mtra. I-1  | 7,066          | 26.1           | 27.1           | 27.2                 | 27.1             | 23.5           |
| .       | .                                 | .              | .              | .              | .                    | .                | .              |
| .       | .                                 | .              | .              | .              | .                    | .                | .              |
| 40      | Pal. Mtra. I-37 x Pal. Mtra. I-58 | 2,826          | 22.8           | 21.1           | 26.3                 | 23.7             | 24.5           |

CUADRO 4. ANALISIS DE LA VARIACION DEL ENSAYO DE RENDIMIENTO DE 5 VARIEDADES EXPERIMENTALES DE MAIZ PALOMERO EN 10 FECHAS DE SIEMBRA

ANALISIS DE VARIANZA

| FACTOR DE VARIACION | S C    | G L | C. M    | F       |
|---------------------|--------|-----|---------|---------|
| Parcelas Grandes    | 431.84 | 39  | 11.0728 |         |
| Repeticiones        | 4.70   | 3   | 1.5666  | 4.60    |
| Fechas de Siembra   | 370.30 | 9   | 41.1444 | 3.06 ** |
| Error a             | 56.84  | 27  | 2.1051  |         |
| Variedades          | 87.33  | 4   | 21.8325 | 3.51 ** |
| Interacción F S VAR | 20.83  | 36  | 0.5786  | 1.89 ** |
| Error b             | 22.92  | 120 | 0.1910  |         |
| T O T A L           | 562.92 | 199 |         |         |

Como la prueba F resultó altamente significativa para los factores fechas de siembra, variedades e interacción fechas de siembra X variedades se procedió a efectuar la prueba de Duncan en cada factor de variación. En los Cuadros 5, 6 y 7 se muestran las comparaciones correspondientes.

CUADRO 5. PRUEBA DE DUNCAN EN EL FACTOR FECHAS DE SIEMBRA

| PERIODO       | FECHA DE SIEMBRA N° | REND. kg/ha | SIGNIFICACION   |
|---------------|---------------------|-------------|-----------------|
| 1º de Abril   | V                   | 6,896       | a               |
| 16 de Marzo   | IV                  | 6,858       | a b             |
| 1º de Marzo   | III                 | 6,368       | a b c           |
| 16 de Abril   | VI                  | 6,265       | a b c d         |
| 1º de Febrero | I                   | 5,775       | a b c d e       |
| 16 de Febrero | II                  | 5,521       | a b c d e f     |
| 1º de Mayo    | VII                 | 5,426       | a b c d e f g   |
| 16 de Mayo    | VIII                | 4,767       | a b c d e f g h |
| 1º de Junio   | IX                  | 3,504       | f g h           |
| 16 de Junio   | X                   | 2,901       | h               |

Esta prueba indica que 8 fechas de siembra son estadísticamente iguales en producción si se considera la producción global de las 5 variedades que intervienen.

CUADRO 6. PRUEBA DE DUNCAN PARA EL FACTOR VARIEDADES

| CRUZAS GENEALOGIA                 | CLAVE | REND. kg/ha | SIGNIFICACION |
|-----------------------------------|-------|-------------|---------------|
| Neb. I (S B)-95 x Pal. Mtra. I-18 | D     | 6,416       | a             |
| Pal. Mtra. I-1 x Pal. Mtra. I-18  | A     | 5,822       | b             |
| Neb. I (S B)-28 x Neb. I (S B)-95 | C     | 5,266       | b c           |
| Copto. I N                        | E     | 4,936       | c             |
| Pal. Mtra. I-18 x Pal. Mtra. I-37 | B     | 4,691       | c             |

La prueba de Duncan nos indica que la producción obtenida con la variedad D es diferente estadísticamente a la que se obtiene con las otras variedades y que las producciones de las variedades A y C son estadísticamente iguales pero menores que la variedad D y mayores que las variedades E y B.

CUADRO 7. PRUEBA DE DUNCAN PARA LA INTERACCION FECHAS DE SIEMBRA-VARIEDADES

| TRATAMIENTO | FECHA DE SIEMBRA | VARIEDAD | REND. kg/ha | SIGNIFICACION |
|-------------|------------------|----------|-------------|---------------|
| IV -1       | Marzo 16         | A        | 7,819       | a             |
| IV -4       | Marzo 16         | D        | 7,725       | a b           |
| VI -4       | Abril 16         | D        | 7,725       | a b           |
| V -4        | Abril 1º         | D        | 7,442       | a b c         |
| V -1        | Abril 1º         | A        | 7,348       | a b c d       |
| III -1      | Marzo 1º         | A        | 7,254       | a b c d       |
| V -3        | Abril 1º         | C        | 7,066       | b c d         |
| III -4      | Marzo 1º         | D        | 6,971       | c d           |
| I -4        | Febrero 1º       | D        | 6,500       |               |
| VII-4       | Mayo 1º          | D        | 6,500       |               |
| .           | .                | .        | .           |               |
| .           | .                | .        | .           |               |
| .           | .                | .        | .           |               |
| .           | .                | .        | .           |               |
| II -3       | Febrero 16       | C        | 4,993       |               |

En este cuadro puede verse que hay 3 fechas de siembra en las que 2 variedades no difieren estadísticamente en su producción.

## DISCUSION

1. Evaluación de las 45 cruzas simples posibles entre 10 líneas S<sub>1</sub>.

Considerando única y exclusivamente la producción de grano, el análisis estadístico indica que hay seis cruzas simples estadísticamente iguales al 5% de nivel de probabilidad, aumentando a once cruzas si se considera el nivel de 1%.

De este grupo se puede seleccionar una o varias cruzas simples para representar a los primeros híbridos mexicanos de maíz palomero, ya que en su formación o genealogía intervienen líneas maternas o paternas comunes a dos o más cruzas, lo que nos indica un ahorro en el costo y técnica de producción de la semilla F<sub>1</sub>.

También se observa que la alta capacidad de rendimiento de las cruzas simples estadísticamente iguales no está ligada a la característica (que es también muy importante) de buena capacidad de expansión. Por lo que para la decisión final sobre cuáles serán los híbridos comerciales, se debe pensar en sacrificar algo del rendimiento de grano por una mejor capacidad de expansión. Además, se puede considerar que los

rendimientos experimentales obtenidos son relativamente altos si se considera la producción promedio que se tiene en Estados Unidos, por lo que se considera que la permuta rendimiento menor por mejor poder expansivo no repercutirá en el valor de la producción de este cultivo.

La programación de la producción de este maíz se debe hacer pensando en que la demanda de este tipo de grano es limitada por su uso tan específico y por su precio mayor que el maíz normal, por lo que un exceso en su producción solo es conveniente si se tiene seguro un mercado de exportación.

También se aclara que los resultados obtenidos no son los máximos en lo que a rendimiento de grano y poder expansivo respecta, debido a que los materiales que los constituyen provienen de fuentes muy semejantes, por lo que su variabilidad genética es reducida, siendo factible en el futuro mejorar estos resultados.

2. Fechas de siembra de 5 variedades experimentales.

En el análisis de varianza de los rendimientos de grano de este experimento la prueba F resultó alta-



mente significativa para los factores fechas de siembra, variedades e interacción fechas de siembra x variedades lo cual indica:

- a) Fechas de siembra. Hay algunas fechas de siembra en las que las condiciones climatológicas permiten manifestar al máximo la capacidad de producción de las distintas variedades, por lo que se está en posibilidades de escoger el período óptimo de siembra para este cultivo.
- b) Variedades. Hay algunas variedades que sobresalen estadísticamente en su producción global o por fecha de siembra, por lo que se está en capacidad de seleccionar aquella variedad que tenga una buena producción o aquella que produzca los más altos rendimientos en un período específico y restringido, pero esto sobre todo lo indicará el siguiente punto.
- c) Interacción fecha de siembra variedades. La significancia estadística de este factor nos indica que hay una o unas fechas de siembra en la(s) que una o unas variedades tienen los máximos rendimientos en comparación con el resto de tratamientos, por lo que con este dato se está en posibilidad de determinar la mejor fecha de siembra y la mejor variedad.

### CONCLUSIONES

Tomando en cuenta las condiciones en que se desarrollaron estos trabajos, los resultados obtenidos y su discusión, se derivan las siguientes conclusiones:

- I. Evaluación de las 45 cruzas simples
  1. Hay 11 híbridos simples (a nivel de 1% de probabilidad) de dónde elegir el o los hí-

bridos que saldrán al comercio con carácter de maíces palomeros mexicanos.

2. Debido a que esos 11 híbridos simples son estadísticamente iguales en cuanto a producción de grano, pero no son los mejores en lo que a capacidad de expansión se refiere, se decidirá por uno o varios que produzcan un poco menos que esos híbridos seleccionados pero que posean una capacidad expansiva mejor.
3. Pueden ser uno o más híbridos los seleccionados, ya que poseen líneas paternas o maternas comunes que permiten reducir el costo y técnica de producción de la semilla F<sub>1</sub>.

### II. Fechas de siembra de 5 variedades experimentales

1. Hay 8 fechas de siembra que son estadísticamente iguales en rendimiento por lo que se tiene un margen relativamente amplio para la siembra de este cultivo.
2. Una de las cinco variedades estudiadas resultó ser la más productiva como para decidir que sea ella la primera representante de los maíces palomeros mexicanos.
3. La interacción fechas de siembra-variedades nos indica que hay 3 fechas de siembra en las que 2 variedades son estadísticamente superiores en rendimiento comparadas con el resto de fechas de siembra y con las demás variedades integrantes del estudio.

### BIBLIOGRAFIA

1. BAILEY, L. H. *Manual of cultivated Plants*. New York Macmillan Co. (Pag. 104).
2. BRUNSON, M. A. and SMITH, G. L., 1948. *Popcorn Bol. No. 1679 Agric. Exp. Sta.* Purdue University U. S. Depto. of Agriculture.
3. CLARY, G. A., 1954. *A study of the inheritance of Expansion in Popcorn ph. D.* Thesis Purdue University.
4. GREEN JR. V. E. and HARRIS JR. E. D., 1960. *Popcorn Quality and The Measurement of popping expansion reprinted from soil and Crop Science Society of Florida.* Vol. 20.
5. 1962. *Spacing and population Tests With field corn and Popcorn in the Everglades* Everglades Station Mimeo Report 63-4 September.
6. GRISSOM, D. B., 1951. *Heritability and Associations characters affecting Popping Volumen in Dent Popcorn crosses.* Masters Thesis Iowa State College.
7. HULSEN, W. A. 1960. *Investigación de las razones por las que algunos maíces palomeros no Expanden bien.* Illinois Research. Bul otoño.
8. MAC NEISH, R. S., 1965. *The origins of New World Civilization, en Scientific American* Vol 211 No. 5, 29-37.
9. SPRAGE, G. F., 1955. *Corn and corn improvement pop corn 423-439.*
10. WEAVER, B. L. and THOMPSON, A. E. 1957. *Selection of improved popping Expansion A. G. Exp. Sta.* University Illinois. Bul. 61C.