

SELECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE POBLACIONES. UNA PERSPECTIVA PARA LA CONSERVACIÓN *in situ* DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL MAÍZ

SELECTION AND MAINTENANCE OF POPULATIONS. A PERSPECTIVE FOR *in situ* CONSERVATION OF MAIZE GENETIC DIVERSITY

Guillermina Macchi Leite¹, Froylán Rincón Sánchez^{2*}, Norma A. Ruiz Torres³ y Fernando Castillo González⁴

¹Maestría en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Calzada Antonio Narro. 1923, Buenavista. 25315, Saltillo, Coahuila. Tel. (844) 4110220 ²Departamento de Fitomejoramiento, UAAAN. ³Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS), UAAAN. ⁴Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. Fed. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

* Autor para correspondencia (frincon@uuan.mx)

RESUMEN

En sistemas agrícolas tradicionales, el mantenimiento de las poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) se basa en los principios de la selección masal empírica. El desespicamiento es un método utilizado para el mantenimiento y para la producción de semillas. El objetivo del trabajo fue analizar la estrategia de selección y mantenimiento de poblaciones de maíz, bajo el esquema de producción de semilla. Se utilizó una población de maíz denominada 'JAGUAN' a la cual se aplicó un esquema de producción de semillas a través de surcos de planta hembra (H) desespicadas y surcos de planta macho (M) de polinización libre, durante dos generaciones (G₁ y G₂). En cada generación y método de polinización se hizo selección masal con participación de agricultores, lo que dio lugar a seis sub-poblaciones: H y M en la primera generación (G₁), y las combinaciones HH, HM, MH y MM en la segunda (G₂). En 2008 se hizo la evaluación agronómica de las seis sub-poblaciones, y las de la segunda generación permitieron analizar los efectos de Poblaciones: Hembra (HH y HM) vs. Macho (MM y MH), y los efectos de Métodos de Producción: Desespicamiento (HH y MH) vs. Polinización libre (HM y MM). Los resultados mostraron que en las dos generaciones hubo diferencias ($P \leq 0.05$) entre las poblaciones H y M en el rendimiento de grano, con incremento de 6.3 y 6.4 % de la población M sobre la población H, respectivamente. Entre métodos de producción se encontró una diferencia promedio ($P \leq 0.01$) de 7.8 % en el rendimiento de grano del desespicamiento sobre el de polinización libre. Los rendimientos superiores de la población macho en las dos

generaciones se atribuyen a efectos de selección al constituirse las primeras sub-poblaciones en la primera generación, mientras que en los métodos de producción la diferencia se atribuye tanto a la selección como al método de desespicamiento. Por tanto, la selección masal en poblaciones obtenidas a través de esquemas de producción de semillas (surcos hembra y surcos macho) permite mantener las características de la población e incrementar la media del rendimiento de grano en maíz.

Palabras clave: *Zea mays*, desespicamiento, polinización libre, selección.

SUMMARY

The maintenance of maize (*Zea mays* L.) populations on traditional agricultural systems is based on the empirical mass selection principles. Detasseling is a method used for seed production and for maintenance. The objective of this work was to analyze strategies for selection and maintenance of maize populations under a seed production scheme. On a maize population named 'JAGUAN' a seed production scheme was applied, using rows of detasseled (H) individuals female and rows of open pollinated male plants (M), through two generations (G₁ and G₂). In each generation and pollination method, mass selection was applied with farmer participation, resulting in six sub-populations: H and M in the first generation (G₁), and the combinations HH, HM, MH and MM in the second (G₂). The agronomic evaluation of these sub-populations was carried out in 2008; the second generation sub-populations allowed analysis of population effects: Female (HH and HM) vs. Male (MM and MH), and production methods: Detasseling (HH and MH) vs. Open pollination (HM and MM). Results indicated differences ($P \leq 0.05$) between H and M populations for grain yield in both generations with an increase of 6.3 and 6.4 % of M over the H population, respectively. Between production methods there was an average difference ($P \leq 0.01$) of 7.8 % in grain yield of detasseling over open pollination. The highest grain yield of the male population in the two generations was attributed to selection effects when the first sub-populations were developed in the first generation, while in the production methods the difference was due to both selection and detasseling. Thus mass selection applied in populations obtained through seed production schemes (male and female rows) allows maintenance of population traits and increase of average grain yield in maize.

Index words: *Zea mays*, detasseling, open pollination, selection.

INTRODUCCIÓN

México es considerado el centro de origen y megacentro de diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.). La diversidad genética es fundamental para conservar y mejorar la productividad de los cultivos agrícolas caracterizados por agroclimas variados (Altieri, 2003).

La reducción de la diversidad genética de maíz en los agroecosistemas tradicionales de México y de otros países está sucediendo en parte debido a la modernización (Arias *et al.*, 2006), por lo cual es necesario buscar estrategias que promuevan el mantenimiento de la diversidad genética y al mismo tiempo permitir la selección dentro de poblaciones de maíz que contribuyan a mejorar la productividad. Los sistemas de agricultura tradicional

juegan un papel importante en la conservación *in situ* ya que contribuyen a la preservación de la diversidad genética del maíz. En este contexto, se han impulsado diversos trabajos relacionados con la conservación del maíz, la diversificación y la investigación participativa en las principales regiones de diversidad del maíz en México (Turrent y Serratos, 2004).

El fitomejoramiento participativo ha sido propuesto como una estrategia potencial para mejorar variedades locales, mantener la diversidad genética, y hacer selección de características de interés en un sistema tradicional y sostenible (Eyzaguirre e Iwanaga, 1996; Witcombe y Joshi, 1996). El mejoramiento participativo en comunidades de pequeños agricultores influye en el proceso de auto-sostenibilidad de la producción de semillas y en la obtención de variedades de maíz mejor adaptadas a estos sistemas de manejo (Toledo *et al.*, 2006).

Las variedades criollas de maíz mejoradas mediante métodos de fitomejoramiento participativo combinan la adaptación específica con caracteres de interés para pequeños productores (Rosas *et al.*, 2006). Con frecuencia, el mantenimiento y selección de poblaciones criollas de maíz hecha por los agricultores se basa en los principios de la selección masal empírica. En cambio, en variedades mejoradas por hibridación, el mantenimiento y producción de semillas se realiza con métodos de desespicamiento en surcos de plantas usada como progenitor femenino (hembra) alternados con surcos de plantas del progenitor masculino (macho) (CIMMYT, 1999); estos esquemas de producción de semillas también han sido aplicados como estrategia de selección y mantenimiento de poblaciones de maíz (Rincón y Ruiz, 2004). Los objetivos del presente trabajo fueron: analizar la estrategia de selección y mantenimiento de poblaciones de maíz bajo el esquema de producción de semilla, y comparar dos métodos de incremento de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una población de maíz criollo mejorada denominada 'JAGUAN', obtenida a partir de una población criolla adaptada a Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coahuila, México. La población criolla original se cruzó con una población mejorada experimental, y posteriormente se hicieron tres ciclos de selección recurrente de familias de hermanos completos (Rincón y Ruiz, 2004; Rincón-Sánchez y Ruiz-Torres, 2005).

En la población 'JAGUAN' se aplicó un esquema de producción de semillas a través de surcos hembra (H) desespicados y surcos macho (M) de polinización libre, durante dos generaciones. Los surcos hembra represen-

taron a familias de medios hermanos (FMH) formadas mediante cruzas mesofraternales (FMH #), con polen de surcos macho, en tanto que los surcos macho correspondieron a FMH formadas a partir de polinización libre (FMH PL) (Márquez, 1985).

La primera generación (G_1) fue derivada en el ciclo otoño-invierno 2006-2007 en una estación experimental ubicada en Tepalcingo, Mor. (1182 m; 18° 36' LN; 98° 50' LO), donde fueron obtenidas las dos primeras subpoblaciones (H y M). En 2007, en El Mezquite, Galeana, N. L. (1890 m; 25° 05' LN; 100° 42' LO), se obtuvo la segunda generación (G_2) a partir de las dos subpoblaciones obtenidas en Tepalcingo, Mor., mediante el mismo esquema de producción de semillas. Para la obtención de la semilla se usaron surcos H y surcos M en proporción 2:2 en Tepalcingo, Mor. y la de 4:2 en El Mezquite, Galeana, N. L.

En cada generación y método de polinización se hizo selección masal (Fehr, 1991) con modificación en la producción de semillas y con participación de agricultores, lo que dio lugar a seis sub-poblaciones (tratamientos): H y M en la primera generación (G_1), y las combinaciones HH, HM, MH y MM en la segunda (G_2). A las seis sub-poblaciones obtenidas en las dos generaciones se les denomina poblaciones a lo largo del documento.

En el 2008 se efectuó la evaluación agronómica de las seis poblaciones en la localidad El Mezquite, Galeana, N. L. en condiciones de riego. En cada población se utilizó un diseño experimental en bloques incompletos con arreglo α -látice (Barreto *et al.*, 1997), y dos repeticiones. Los experimentos fueron generados con el paquete CropStat (IRRI, 2007). Al mismo tiempo, los experimentos (poblaciones) fueron aleatorizados dentro de cada repetición. Las seis poblaciones fueron establecidas como un bloque dentro de la repetición. Cada bloque representó un experimento en campo con 50 unidades experimentales (45 familias de medios hermanos FMH y cinco testigos comunes en cada experimento), para un total de 600 unidades experimentales. La unidad experimental fue de un surco de 4 m de largo por familia, con distancias de 0.2 m entre plantas y de 0.92 m entre surcos, para una densidad de 54 348 plantas por hectárea.

Las variables agronómicas medidas fueron: días a floración, sincronía de floración (en días), número de mazorcas por planta, mazorcas con mala cobertura por brácteas (%) y rendimiento en grano ($t \text{ ha}^{-1}$) ajustado a 15 % de humedad.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza donde se probaron los efectos de poblaciones y de sitios de producción. Posteriormente, se hizo un análisis de varianza por generación. La evaluación de las cuatro poblaciones de la segunda generación permitió analizar los efectos de Poblaciones: Hembra (HH y HM) vs. Macho (MM y MH), y Métodos de Producción: Desespigamiento (HH y MH) vs. Polinización libre (HM y MM). La comparación de medias se hizo a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) (SAS Institute, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre poblaciones en el rendimiento de grano, y diferencias ($P \leq 0.05$) en floración masculina y número de mazorcas por planta. También se encontraron diferencias ($P \leq 0.01$) entre los sitios de producción (Tepalcingo, Mor. y El Mezquite, Galeana, N. L.) en días a floración y rendimiento de

grano, y diferencias ($P \leq 0.05$) en el número de mazorcas por planta (Cuadro 1). Debido a las diferencias en medias de poblaciones atribuidas a los efectos de los sitios de producción, principalmente, se analizó la información por cada generación.

En la primera generación (G_1) se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre poblaciones H y M sólo en el rendimiento de grano, con una superioridad de 0.330 t ha^{-1} (6.3 %) de M sobre H (Cuadros 2 y 3). En la segunda generación (G_2) el rendimiento de grano mantuvo un comportamiento similar a la primera generación, con una diferencia promedio de 0.379 t ha^{-1} (6.4 %) de la población macho (MH, MM) sobre la población hembra (HH, HM) (Cuadros 2 y 3). Estas diferencias encontradas entre las poblaciones hembra y macho en las dos generaciones pueden atribuirse a que el método de selección en la primera generación dio lugar a dos subpoblaciones diferentes.

Cuadro 1. Medias de rendimiento y caracteres agronómicos de poblaciones y sitios de producción en dos generaciones de selección y mantenimiento de una población criolla mejorada de maíz.

Tratamientos	Rendimiento de grano (t ha^{-1})	Floración masculina (d)	Sincronía de floración (d)	Mala cobertura de mazorca (%)	Número de Mazorcas por planta
Poblaciones					
MH	6.590 a [†]	91.87 a	1.31 a	5.87 a	1.11 a
HH	6.081 b	90.50 a	1.58 a	6.94 a	1.12 a
MM	6.002 bc	92.01 a	1.60 a	5.50 a	1.07 a
HM	5.758 bc	91.27 a	1.79 a	5.40 a	1.11 a
M	5.527 cd	90.33 a	1.30 a	5.71 a	1.07 a
H	5.197 d	90.58 a	1.51 a	6.56 a	1.07 a
Media	5.866	91.10	1.51	5.99	1.09
Tukey ($\alpha = 0.05$)	0.490	1.94	0.69	2.99	0.06
Sitios de producción					
Mezquite (Mez)	6.103	91.42	1.57	5.91	1.10
Tepalcingo (Tep)	5.366	90.47	1.39	6.34	1.07
Tep vs. Mez	**	**			*

*, **, Significativo a 0.05 y 0.01 de probabilidad de error. [†] Valores con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza por generación de mantenimiento y selección de una población criolla mejorada de maíz.

Fuentes de variación	gl	Floración masculina (d)	Mazorcas por planta	Rendimiento de grano (t ha^{-1})	Generación 1	
Bloques	1	97.5 **	0.17 **	4.2 *		
Poblaciones (Pob)	1	7.5	0.00	5.4 *		
Familias/Pob	88	15.2 **	0.02 *	1.1		
Error	83	7.9	0.01	0.8		
CV (%)		3.1	9.79	16.6		
Generación 2						
Bloques	1	43.6 *	0.04	3.5 *		
Poblaciones (Pob)	1	101.5 *	0.07 *	12.1 **		
M. Producción (Prod)	1	19.4	0.05	19.3 **		
Pob × Prod	1	8.1	0.03	1.8		
Familias / Pob × Prod	176	22.8 **	0.02	1.4 **		
Error	178	10.6	0.02	0.9		
CV (%)		3.6	11.40	15.2		

*, **, Significativo a 0.05 y 0.01 de nivel de probabilidad; gl = grados de libertad.

Cuadro 3. Medias de poblaciones y métodos de producción en dos generaciones de selección y mantenimiento de una población criolla mejorada de maíz.

Fuentes de variación	Floración masculina (d)	Mazorcas por planta	Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	Diferencia [†] (%)	<i>s</i> ^{2‡}
Generación 1					
Poblaciones					
Hembra	90.6 a	1.07 a	5.197 b	6.35	0.873
Macho	90.3 a	1.07 a	5.527 a		1.005
Tukey ($\alpha = 0.05$)	1.2	0.04	0.310		
Generación 2					
Poblaciones					
Hembra	90.9 b	1.11 a	5.919 b	6.39	1.103
Macho	91.9 a	1.09 b	6.298 a		1.283
Tukey ($\alpha = 0.05$)	1.0	0.03	0.248		
Métodos de producción					
Desespicamiento	91.2 a	1.11 a	6.335 a	7.76	1.314
Polinización libre	91.6 a	1.09 a	5.879 b		1.038
Tukey ($\alpha = 0.05$)	1.0	0.03	0.248		

[†]Diferencia relativa entre poblaciones y métodos de producción en rendimiento de grano; [‡]Varianza de la muestra familiar por grupos en el rendimiento de grano. Valores con la misma letra en una columna por grupo, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En la G₂ se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre las poblaciones H y M en días a floración masculina. Rincón y Ruiz (2004) también encontraron diferencias en el comportamiento agronómico entre estos dos tipos de población, lo cual está directamente relacionado con los procedimientos de selección, por lo que estos autores recomendaron su aplicación para la conservación y aprovechamiento de poblaciones.

En G₂ también se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) en métodos de producción en el rendimiento de grano, con una superioridad promedio de 0.456 t ha⁻¹ (7.8 %) del método de desespicamiento sobre el de polinización libre (Cuadros 2 y 3). En el desespicamiento manual o mecánico comúnmente ocurre pérdida de hojas, lo que puede alterar el rendimiento de grano. Wilhelm *et al.* (1995) encontraron una disminución lineal del rendimiento de grano de maíz en función del número de hojas removidas, y estimaron que cada hoja removida afecta el rendimiento de grano en 0.36 t ha⁻¹. Igualmente, cuando el desespicamiento se combinó con eliminación de las cuatro o cinco hojas superiores, o cuando se hizo mecánico, Megalhães *et al.* (1999) encontraron que el desespicamiento disminuye en 10 % la producción de semillas. En el presente estudio, los rendimientos del método de desespicamiento fueron superiores a la polinización libre, lo que se atribuye al efecto conjunto del método de producción y a la selección masal aplicada en dos generaciones.

Al efectuar el desespicamiento en surcos alternos mediante el método de producción de semilla de maíz, Rincón y Ruiz (2004) encontraron superioridad en rendimiento de grano de 0.37 t ha⁻¹ (6.4 %) de la primera

generación sobre la variedad original. Teóricamente, en una planta hembra bajo polinización libre existe la posibilidad de obtener la combinación de familias de autohermanos, medios hermanos y hermanos completos (Marquéz, 1985; Falconer y Mackay, 1996); por tanto, la eliminación de las familias de autohermanos, y la reducción de los índices de depresión endogámica, también pueden contribuir a reducir la variación de la descendencia. De acuerdo con la variación estimada (V) en el rendimiento de grano de las familias de las poblaciones H y M, la proporción relativa de V(M)/V(H) fue de 1.15 y 1.16 en G₁ y G₂, respectivamente (Cuadro 3). Al comparar los métodos de producción, la proporción de V(DES)/V(PL) fue de 1.27, que puede atribuirse a los efectos de heterosis residual por la crusa de individuos heterocigotes en la población, lo cual es de utilidad para efectos de selección a través de generaciones subsecuentes. Se estima que 76.5 % de los agricultores mexicanos utilizan semilla criolla que seleccionan de su cosecha (Herrera *et al.*, 2002). Por lo anterior, la estrategia que aquí se analiza puede ser implementada en los sistemas de agricultura tradicional para el mantenimiento de las características intrínsecas de la población, así como para incrementar la media de rendimiento en generaciones subsecuentes de selección y producción de semillas.

CONCLUSIONES

La selección masal en poblaciones obtenidas a través de esquemas de producción de semillas (surcos hembra y surcos macho) con la semilla proveniente de los surcos desespicados, permite el mantenimiento de las

características intrínsecas de la población e incrementar la media del rendimiento de grano en maíz.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) por el financiamiento del proyecto de investigación a través del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). A la Organización de los Estados Americanos (OEA) por la beca otorgada para los estudios de postgrado de la primera autora.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri M A (2003)** Aspectos Socioculturales de la Diversidad del Maíz Nativo. Departamento de Ciencias, Políticas y Gestión del Medio Ambiente, Universidad de California, Berkeley. Preparada para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. Disponible en: <http://www.agroeco.org/doc/alt.contam-maiz.pdf> (Sep. 2008).
- Arias-Reyes L, L Latournerie-Moreno, D Jarvis, D Williams, J D Chavez-Servia, E Sauri-Duch (2006)** *In situ* conservation of agricultural biodiversity of Milpa in Yucatan. Proc. Internat. Conf. Ecological Society America. Mérida, Yucatán, México. Disponible en: <http://abstracts.co.allenpress.com/pweb/esai2006/document/58909> (Oct. 2008).
- Barreto H J, G O Edmeades, S C Chapman, J Crossa (1997)** The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: Generation and analysis. In: Proc. Symposium on Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize. G O Edmeades, M Bänziger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds). El Batán, México, March 25-29, 1996. CIMMYT. Mexico, D. F. pp:544-551.
- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (1999)** Desarrollo, Mantenimiento y Multiplicación de Semilla de Variedades de Polinización Libre. 2a. ed. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D. F. 11 p.
- Eyzaguirre P, M Iwanaga (1996)** Farmers' contribution to maintaining genetic diversity in crops, and its role within the total genetic resources system. In: Participatory Plant Breeding. P Eyzaguirre, M Iwanaga (eds). Proc. Workshop on Participatory Plant Breeding. 26-29 July 1995. Wageningen, The Netherlands. IPGRI, Rome, Italy. pp:9-18.
- Falconer D S, T F C Mackay (1996)** Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman Group Ltd. England. 464 p.
- Fehr W R (1991)** Principles of Cultivar Development. Theory and Technique. Vol. 1. Iowa State University. Ames, Iowa. USA. 536 p.
- Herrera C, B E, A Macías L, R Díaz R, M Valadez R, A Delgado A (2002)** Uso de semilla criolla y características de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. Rev. Fitotec. Mex. 25:17-23.
- IRRI (2007)** CropStat for Windows 7.2.2007.3 1998-2007. International Rice Research Institute. Metro Manila, Philippines.
- Márquez S F (1985)** Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría y Resultados Tomo I. AGT Editor. México, D. F. 357 p.
- Megalhães P C, F O Machado D, A C de Oliveira, E G Gomes G (1999)** Efeitos de diferentes técnicas de despodoamento na produção de milho. Sci. Agricola 56:77-82.
- Rincón S F, N A Ruiz T (2004)** Comparación de estrategias de selección y manejo aplicadas a una población criolla de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 27 (Núm. Esp. 1):33-37.
- Rincón-Sánchez F, N A Ruiz-Torres (2005)** Enhancement of farmers' maize varieties with an improved population in Saltillo, Coahuila, México. In: Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, *In situ* Conservation, Core subsets, and Prebreeding. S Taba (ed). Proc. Workshop held at CIMMYT. April 7-10, 2003. México, D. F. pp:58-62.
- Rosas S J C, O Gallardo G, J Jiménez T (2006)** Mejoramiento de maíces criollos de Honduras mediante la aplicación de metodologías de fitomejoramiento participativo. Agron. Mesoam. 17:383-392.
- SAS Institute (2004)** SAS/STAT® 9.1 User 'S Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 5121 p.
- Toledo M A, J Arcanjo N, C Torres T, L L Nass, F C da Rocha B (2006)** Mejoramiento participativo en maíz: su contribución en el empoderamiento comunitario en el municipio de Muqui, Brasil. Agron. Mesoam. 17:393-405.
- Turrent A, J A Serratos (2004)** Context and background on maize and its wild relatives in Mexico. In: Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico. Secretariat Article 13 Report. Commission for Environmental Cooperation of North America. Montreal, Canada. Disponible en: http://www.cec.org/files/PDF//Maize-Biodiversity-Chapter1_en.pdf (Oct. 2008).
- Wilhelm W W, B E Johnson, J S Schepers (1995)** Yield, quality, and nitrogen use of inbred corn with varying numbers of leaves removed during detasseling. Crop Sci. 35:209-212.
- Witcombe J, A Joshi (1996)** Farmer participatory approaches for varietal breeding and selection and linkages to the formal seed sector. In: Participatory Plant Breeding. P Eyzaguirre, M Iwanaga (eds). Proc. Workshop on Participatory Plant Breeding. 26-29 July 1995. Wageningen, The Netherlands. IPGRI, Rome, Italy. pp:57-65.