TecNM/Roque, Celaya, Guanajuato, 12-14 mayo 2025 ISSN 2448-6620

FORMACIÓN DE VARIEDADES DE MAÍZ (Zea mays L.), MEDIANTE SELECCIÓN MASAL VISUAL ESTRATIFICADA PARA CONDICIONES DE TEMPORAL

J. Guadalupe García Rodríguez[1]; Francisco Chablé Moreno[1]; Francisco Cervantes Ortiz[1]; Jesús Frías Pizano[1]; Sergio Arturo García Gutiérrez[1]; Estéfana Alvarado Barcenas[1]; Davino Pérez Mendoza[1]

[1]Profesor-Investigador del TecNM-Roque; Km 8 Carretera Celaya Juventino Rosas, Guanajuato, México; CP 38110

RESUMEN

México es centro de origen y diversidad genética del maíz, descubierto por el hombre y domesticado desde hace más de diez mil años. Es la base de la alimentación de los mexicanos, se consume en tortillas, atole, tamales y un sinnúmero de antojitos. Materia prima de la industria alimentaria, en la elaboración de productos para la alimentación animal en grano y en forraje verde o ensilado. A nivel nacional existe más de 64 razas nativas, se encuentran cultivadas desde el nivel de mar hasta los tres mil metros de altura. Por lo que es importante la formación de nuevos genotipos por regiones; como variedades de polinización libre, variedades sintéticas y híbridos que superen los rendimientos promedios o sea igual a los comerciales por las empresas semilleras. Esta investigación se desarrolló en el TecNM-Roque, cuyo objetivo fue identificar características agronómicas sobresalientes y de rendimiento, mediante el método de selección masal estratificada para la formación de una variedad para condiciones de temporal o de punta de riego. El ensayo se llevó a cabo en los terrenos experimentales del Tecnológico de Roque, de cinco ciclos de selección masal estratificada. Inició con la identificación de familias de medios hermanos de subpoblaciones sobresalientes a partir del establecimiento de cinco poblaciones de medios hermanos en sublotes divididas en fajas para su recombinación genética; las poblaciones originales muestras fueron de los estados de México, Puebla, Hidalgo, Michoacán y Guanajuato. Se seleccionaron 250 plantas con una presión de selección del 8% (50 mazorcas) de las poblaciones originales. Para identificar de los caracteres agronómicos y de rendimiento se consideró las variables: altura de planta, número de hojas, altura a mazorca y los componentes de rendimiento por hectárea. Los resultados arrojaron que las subpoblaciones colectadas en el estado de México presentaron rendimientos de 9.7 t ha^{-1} que podría ser debido a efecto ambiental provocando por menor adaptación ecológica. Las subpoblaciones con mejor

rendimiento corresponden a las colectas derivadas de Guanajuato con un rendimiento estimado de 12.8 t ha^{-1}, le sigue la subpoblación de Michoacán con un valor promedio de 10.5 t ha^{-1}.

Palabras clave: *Zea mays, selección masal, ganancia genética.*

ABSTRACT

Mexico is the center of origin and genetic diversity of corn, discovered by humans and domesticated more than ten thousand years ago. It is the foundation of the Mexican diet, consumed in tortillas, atole, tamales, and countless snacks. It is a raw material for the food industry, used in the production of animal feed products in grain form and in green forage or silage. Nationally, there are more than 64 native varieties, cultivated from sea level to 3,000 meters above sea level. Therefore, the development of new genotypes by region is important, such as open-pollinated varieties, synthetic varieties, and hybrids that exceed average yields or are equal to those sold by seed companies. This research, conducted at TecNM-Roque, aimed to identify outstanding agronomic and yield characteristics using the stratified mass selection method to develop a variety for rainfed or peak irrigation conditions. he trial was carried out on the experimental grounds of the Roque Institute of Technology, using five cycles of stratified mass selection. It began with the identification of half-sib families from outstanding subpopulations by establishing five half-sib populations in subplots divided into strips for genetic recombination. The original sample populations were from the states of Mexico, Puebla, Hidalgo, Michoacán, and Guanajuato. A total of 250 plants were selected with a selection pressure of 8% (50 ears) of the original populations. The following variables were considered to identify agronomic and yield traits: plant height, number of leaves, height at the ear, and yield components per hectare. The results showed that the subpopulations collected in the state of Mexico had yields of 9.7 t ha-1, which could be due to environmental effects leading to reduced ecological adaptation. The best-performing subpopulations correspond to the collections derived from Guanajuato, with an estimated yield of 12.8 t ha-1, followed by the Michoacán subpopulation with an average yield of 10.5 t ha-1.

Keywords: Zea mays, mass selection, genetic gain.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los tres cereales de mayor importancia económica en el mundo; por la superficie sembrada de 201 983,645 hectáreas con una producción de 1,162, 352.997 toneladas con un promedio de rendimiento de 5.8 t ha^{-1}, el consumo *per cápita* de 17.4 kg en el 2022. A nivel nacional el maíz se cultivan más 64 razas nativas y variedades mejoradas en diferentes ambientes, desde el nivel mar hasta los tres mil metros de altura; aportando a la dieta; carbohidrato, proteínas, grasas, vitaminas y minerales. La alimentación humana; se consume en tortillas, atoles, elotes, tamales, pinole, pozole entre otros; como grano y forraje verde para ganado, es una fuente principal de materia prima para la agroindustria. México cuenta con poco más de 88 millones de hectáreas con vocación agrícola; 29.8 hectáreas se siembran con maíz en condiciones de riego y 57.0 hectáreas maíz en temporal. Fue descubrimiento y domesticado por el hombre desde hace más de diez mil años, a través del tiempo ha evolucionado y mejorado, por procesos de selección natural y adaptación; debido a la polinización cruzada en regiones ecográficas endémicas, esto ha generado razas nativas en diferentes regiones agroecológicas de México, este recurso genético de gran valor para la mejora genética. Es una especie de la más estudiadas por su importancia económica, cultural y social, indispensable para las regiones de bajos recursos. Por ser una especie alógama ha favoreciendo la formación de variedades mejoradas e híbridos para diferentes ambientes. A pesar de su amplia variabilidad genética, la utilización del germoplasma para a formación de nuevas variedades es reducido (Molina, 1990). La recombinación permite generar nuevos individuos con características favorables; resistentes al acame, mayor rendimiento, tolerantes a plagas y enfermedades con mayor rengo de adaptación a diferentes ambientes. La recombinación incrementa la ganancia genéticas ciclo de selección (Chávez, 1995). Cuando la población es sometida a un proceso de selección de mejora continua y se incrementan sus caracteres por ciclo de selección (Vargas et al., 1982).

La selección masal es un método genético de procedimiento recurrente, que de un grupo de individuos se escogen caracteres que puedan ser heredables para la siguiente generación (dentro de la población), y de esos mezclan y se siembran las semillas dejando remanente para evaluar progenie por ciclo de selección y cuantificar la ganancia por ciclo. (Hallauer y Miranda, 1981) mencionan que con este tipo de selección ha permitido generar variedades mejoradas de polinización libre de

poblaciones locales, con nuevos recombinantes superiores a los progenitores con una base genética más amplia y adaptable al sitio de selección. (Navas y Cervantes, 1991; Molina, 1993) La selección masal ha sido considerada como el más antiguo y simple esquema de selección recurrente en maíz (Allard, 1980; Pandey y Gardner, 1992), pero para su éxito se requiere suficiente variabilidad genética en la población (Angeles, 1961). Debido a que las técnicas de campo de la selección masal sugeridas por Gardner (1961) presentaban algunas restricciones de tipo práctico, Molina (1983) sugirió hacerla en forma visual, método al que denominó "Selección Masal Visual Estratificada" (SMVE).

Metodología practicada por los agricultores en forma empírica, al seleccionar las mejores mazorcas de cada ciclo de cultivo, están mejorando el valor medio hacia las características agronómicas y de rendimiento deseado. La práctica mediante cinco ciclos de selección de las progenies de la recombinación de poblaciones, se evalúan hasta identificar varias variedades, del cual se escogen las mejores por su adaptación y rendimiento; se realizan los ensayos correspondientes y seleccionar una variedad que reúna las características adecuadas para su establecimiento en lotes comerciales de producción. El objetivo fue identificar características agronómicas sobresalientes; mediante selección masal estratificada de cinco poblaciones de maíz para la formación de una variedad de polinización libre (VP) para condiciones de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Tecnológico Nacional de México-Roque, ubicado en el Km. 8, carretera Celaya-Juventino Rosas, Guanajuato, se localiza a 20° 34' 53" latitud norte y 100° 49' 38" longitud oeste, a una altura de 1720 m. con temperatura media anual de 18°C y precipitación media anual de 600 a 800 mm, Celaya se ubica en la parte central de Guanajuato, con clima semicálido, suelos de tipo vertisol, con altos contenidos de arcilla y a la zona de más baja altitud del estado de Guanajuato FAO-UNESCO (INEGI,1991). En el ciclo P-V 2018, se sembró 50 mazorcas provenientes de cinco poblaciones; Estado de México, Puebla, Hidalgo, Michoacán y Guanajuato; en un lote aislado. Se inicio con una población de P_0 de 45000 plantas a las que se les aplicó la selección masal estratificada por sus caracteres agronómicos de interés y componentes de rendimiento para el primer ciclo con una presión de selección de 4.5% considerando las siguientes características; altura de planta, altura

a la primer mazorca, número de hojas, longitud de hoja, hojas por planta, días a la floración femenina floración masculina y para caracteres de rendimiento por hectárea, longitud de mazorca, hileras por mazorca, sanidad de la mazorca, durante el ciclo del cultivo y hasta la cosecha se eliminaron plantas con características indeseables para los primeros cinco ciclos de selección. Se selección y se cosecharon 1000 plantas a la madurez fisiológica, se desgranaron para la formación de un compuesto balanceado para sembrar el siguiente ciclo de selección hasta "n" veces hasta lograr la formación de nuevas variedades de polinización libre para condiciones de temporal. Los datos muestreados se analizaron mediante el paquete estadístico SAS (v 9.4) para Microsoft Windows y los tratamientos con diferencias estadísticas se sometieron a una prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ANAVA en la fuente de tratamientos mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas Hinfer, Hsuper, Anhj, Loh, Altmzc, Peforr, Rendha (Cuadro 1). La altura de planta y de mazorca mostraron incrementos significativos en cada ciclo de selección. Los compuestos balanceados de cada ciclo de selección igualaron y/o incrementaron rendimiento por la ganancia por ciclo de cultivo con respecto a sus progenitores. La estabilización de caracteres relacionados con la adaptación ocurrió entre el tercer y cuarto ciclo de selección. La utilización del método de selección masal visual estratificada recurrente, en el que para cada ciclo de selección se identificaron los individuos de interés (a los cuales se les hicieron evaluaciones mediante selección visual, apoyadas mediante la toma de datos aleatorizados para las características de interés como altura de planta, altura de mazorca, sanidad y rendimiento).

La selección masal se ha utilizado para generar variedades de maíz de polinización libre con buena respuesta a condiciones ecológicas específicas y para modificar el comportamiento de algunos caracteres agronómicos (Torregrosa y Arias, 1970). Hallauer y Sears (1972), Compton *et al*. (1979), San Vicente y Hallauer (1993), entre otros, consideran a la selección masal como un método efectivo para adaptar poblaciones como germoplasma exótico, aquellos genotipos de otras áreas geográficas. Existen evidencias de poblaciones de maíz provenientes del trópico húmedo en combinación con los genotipos del centro, son los mejores patrones heteróticos.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia de cinco subpoblaciones de maíz para la formación de una variedad de población polinización libre (VPL).

FV	gl	Hinfer	Hsuper	Anhoja	Logh	Altmzc	Pesforr	Rendha
Blo	2	0.046 ns	0.466 ns	0.246 ns	523.166 ns	0.0009 ns	0.067ns	28.974 **
Trat	4	4.79 **	19.600 **	10.606 **	1033.883 **	0.492 **	1.967 **	49.537 **
Error	143	0.608	0.481	0.29	67.139 **	0.256	54.776	1.253
Total	149	106.29	147.333	175.796	11.8	5.637	45.206	435.33
CV(%)		11.3	9.8	11.8	13.6	28.0	26.8	10.5

FV= Fuente de variación, gl = Grados de libertad, Hinfer= Hojas inferiores, Hsuper= Hojas superiores, Altmzc=Altura a la mazorca, Pesforr=Peso de forraje y Rendha= Rendimiento por hectárea

Cuadro 2. Valores medios de la prueba de comparación de medias (Tukey α 0.05) del ANAVA de cinco subpoblaciones de maíz para la formación de una variedad de polinización (VPL) en cinco ciclos de selección del TecNM-Roque.

Trat	Habmcz	Harmzc	Anchj	loghoj	Altmzc	No.esp	Logesp	Pesforr	Rendha
4	7.40 a	7.50 ab	8.53 a	63.66 b	1.40 a	17.96 b	23.26 b	2.10 a	10.54 b
5	7..20 ab	7.70 a	8.60 a	65.70 b	1.35 ab	18.23 b	24.43 b	2.10 a	12.84 a
3	6.80 cd	7.30 ab	8.66 a	66.76 b	1.22 c	15.60 d	15.60 d	2.01 a	10.29 bc
2	6.63 c	7.16 b	8.33 a	77.70 a	1.23 b c	15.93 c d	19.90 cd	1.77 ab	9. 72 c
1	6.43 c	5.66 c	7.23 b	78.33 a	1.07 d	14.76 a	30.56 a	1.51 b	9.77 bc

Valores con la misma letra en las columnas no son estadísticamente diferentes P≤0.05); Trat=Tratamientos, Hojas debajo de la mazorca (Habmcz), Hojas arriba de la mazorca (Harmzc), Ancho de la hoja (Anchj), Longitud de la hoja (loghoj), Altura a la primera mazorca (Altmzc), No. Espigas por planta (No.esp) Longitud de espiga (Logesp), peso de forraje (Pesforr) y rendimiento por hectárea (Rendha).

Los resultados muestran que después de siete ciclos de selección masal estratificada entre las subpoblaciones de las poblaciones (Po colectadas) en los cinco estados de la república mexicana, presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$); durante los primeros ciclos de selección, los datos fueron altamente heterogéneos, iniciando la uniformización aproximadamente del cuarto al cinco ciclo de selección, ya en el quinto ciclo las diferencias estadísticas entre las subpoblaciones seleccionadas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos en las variables en estudio. La respuesta al rendimiento de grano y forraje, altura de planta entre otros, fue positiva a la selección.

CONCLUSIONES

La selección masal visual estratificada es el método más antiguó de mejoramiento genético utilizado por los mejoradores, debido a que la selección de las poblaciones se realiza visualmente las caracteres fenotípicos y genéticos durante el desarrollo del cultivo, considerando el efecto de la interacción del ambiente con genotipo.

Partiendo de una población cero (P_0) con la aplicación de este método se puede tener una ganancia por selección de 1.5 % a 1.0 % conforme se avanza en la selección por ciclo de selección a selección masal estratificada. Con ello lograr una variedad de polinización libre (VPL), genéticamente más estable.

Por este método se generaron variedades con características diferente: Roque Nuevo Milenio, Roque dos mil quince, Roque 2020, Roque Carnero y Roque Pebeco; con características aceptables de rendimiento y buena calidad de grano y forraje, con amplio rango de adaptación para condiciones de temporal y punta de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta B GF (2024). Selección de Maíz para exportación con características Pozoleras, en la variedad INIA-101 en el Sector Cartagena Distrito de Mórrope-Región Lambayeque 2021.
Aguirre CL; Jiménez MJ (1999). Pasado y presente en la producción y consumo del maíz nativo en el altiplano y valles del departamento de la Paz, Bolivia.
Castillo Cedeño IJ (2025). Fitomejoramiento participativo del maíz criollo “Amarillo Claro”, en la comuna Membrillal- Jipijapa (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).
Chávez J L (1995). Mejoramiento de Plantas 2: Métodos Específicos de Plantas Alógamas. Ed. Trillas-UAAAN. México, D. F. 143 p.
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT] y Del Pueblo de los Estados Unidos de América [USAID]. (2020). Módulo de selección masal estratificada. Proyecto Buena Milpa [Archivo PDF].
Coyac RJL; Molina GJD; García ZJJ; Serrano CLM (2013). La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. Revista fitotecnia mexicana, 36(1): 53-62.
De la Garza MM; Cruz BAS; Económico D (2024). Evolución de la estructura productiva del maíz y el efecto del programa “Sembrando Vida” sobre la producción de maíz en grano en México, 2000-2022.
Escalante IJM (2024). Análisis regional de la producción de maíz en México. 2016-2022.

FAOSTAT (2024). The statistics division of the food and agriculture organization of the United Nations. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación división estadística. h□ps://www.fao.org/faostat/ es/#data/TCL

Fielding R (2024). Voltaire's Breadfruit: Thoughts on the Inspiration for an Eighteenth-Century Colonial Botanical Transfer. Plant Perspectives, 1(1): 11-40.

Fundación de Investigación Participativa [FIPAH]. (2012). La selección masal estratificada, una alternativa para la conservación y mejoramiento sustentable de la diversidad genética del maíz en Honduras. Editorial Tegucigalpa.
http://fipah-hn.org/wp-content/uploads/2017/04/SMA-web.pdf

Flores, L., Castillo F., Nieto J., Vázquez, M., Livera, M., Benítez, I. y Ramírez, A.(2022). Diversidad agromorfológica del maíz Cacahuacintle de los valles altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana, 45(1), 13-22.

García J; Soberón L (2005). 5ª edic. p. 5. Cervantes G. (2003). Selección masal visual estratificada y de testigos de rendimiento

Hallauer AR; Miranda (1981). Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press, Amer. High throughput phenotyping in soybean breeding using RGB image vegetation indices based on drone. Scientific Reports, 14(1): 32055.

Juárez JCM (2024). Diversidad genética de Zea diploperennis y estrategias para su conservación (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México).

Monter SA (2024). Capacidad de extensión y rendimiento de variedades de maíz palomero para Valles Altos de México. Tesis de Posgrado.

Saquimux F (2011). Selección masal en el cultivo de maíz (Zea mays L) para pequeños agricultores. Editorial Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/seleccion%20del%20maiz.pdf

https://www.asocuch.com/wp-content/uploads/2020/06/Modulo-Seleccio%CC%81n-Masal-Estratificada.pdf

https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/45-1/2a.pdf

Sánchez GG (2022) Caracterización morfológica del XII ciclo de selección del maíz cuzqueado en el valle del Mantaro. Prospectiva Universitaria 7(1):38-45

Sandoval-Hernández FJ; Osorio-Bautista JG; Gutiérrez-Campos JM; Barragán RJM (2025). Evaluación de híbridos tropicales y subtropicales de maíz en un clima de transición: Evaluación de híbridos de maíz. Scientia Agricolis Vita, 2(1): 1-7.

Olivera R; Stefani P (2024). Selección de maíz para silo mediante familias de medios hermanos de la raza blanco dentado.

Ramírez DJL; Vidal MVA; Alemán DTI; Ledesma M A; Gómez MNO; Salinas M; Bautista RE; Tapia V L. M; Ruiz CA (2019) Selección de líneas y cruzas de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruzas dialélicas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 42:335-346. Sánchez R. F. J., M. C. Mendoza C. y C. G.

Mendoza M (2016). Estabilidad fenotípica de cruzas simples e híbridos comerciales de maíz (Zea mays L.). Revista Fitotecnia Mexicana 39:269-275.

Sánchez RFJ; Mendoza CMC; Mendoza RM†, Castillo GF; Cruz IS; Castro NS; Molina G JD† (2017). Aptitud combinatoria de líneas d de maíz Zac. 58. Agrociencia 48:93-105.

Padrón LCR; Cauich IC; Fernández VGP (2025). Producción y competitividad del banano mexicano a nivel mundial. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 16(3): 8.

Valenzuela Vera AB (2024). Integración de tecnologías y técnicas de mejora genética en el cultivo del maíz (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2024).

Vanegas AH; Victoria RMT; Vargas SJE; Arboleda RF (1984) Estimación de varianza aditiva y predicción del avance genético en 17 poblaciones de maíz utilizando familias de medios hermanos maternos. Acta Agron. 34:5-19.

Vargas S J E; J D Molina GT; Cervantes S (1982) Selección masal y parámetros genéticos en la variedad

Vidal HAP; Salinas JCC; Cabañas AAG (2025). Semillas nativas de maíz frente a los híbridos comerciales. realidades contemporáneas de los Valles Centrales de Chiapas. Bioeconomía en Latinoamérica: desafíos para la sostenibilidad y el desarrollo. Volumen 2. Sector primario.

Orozco RQ; Odenthal J; Marta A (2017). La diversidad de maíces y su conservación en la cuenca de la Laguna de Pátzcuaro. Agrociencia, 51 (8): *versión On-line* ISSN 2521-9766*versión impresa* ISSN 1405-3195

Valenzuela CYM (2014). Selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.), II etapa Canaán a 2735 msnm-Ayacucho.