



SELECCIÓN RECURRENTE POR APTITUD COMBINATORIA GENERAL EN MAÍZ PARA MEJORAR RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOTOMOXTLE

RECURRENT SELECTION FOR GENERAL COMBINING ABILITY IN MAIZE TO IMPROVE YIELD AND CORNHUSK QUALITY

J. Arahón Hernández-Guzmán*, Pedro Antonio López, Abel Gil-Muñoz y Juan de Dios Guerrero-Rodríguez

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, México.

* Autor de Correspondencia (arahon@colpos.mx)

RESUMEN

El totomoxtle son brácteas de la mazorca de uso tradicional en la envoltura de tamales, cuya importancia económica va en aumento y la existencia de variedades de maíz para ese propósito es limitada. El objetivo de esta investigación fue generar conocimiento con relación al uso de la selección recurrente para identificar líneas S_1 con aptitud combinatoria promisoría para mejorar rendimiento y calidad del totomoxtle. En 2017 se evaluaron 96 mestizos y cuatro testigos en tres ambientes del estado de Puebla, en diseño látice simple 10×10 . En el análisis estadístico se realizó análisis de varianza combinado y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). El rendimiento promedio de totomoxtle total fue de 2.3 t ha^{-1} y el de totomoxtle útil de 1.5 t ha^{-1} . La longitud del totomoxtle varió de 21.9 a 28.4 cm y su ancho de 17 a 22.8 cm, lo que permite clasificar las brácteas para distintos nichos de mercados. En promedio, el número de brácteas totales fue de 13 por mazorca y el de brácteas útiles de 10.7. En combinación con el probador PTU, las líneas L5, L54 y L61 fueron las más promisorias para mejorar respectivamente el rendimiento total de totomoxtle, el rendimiento de totomoxtle útil y el porcentaje de totomoxtle útil. Esos mestizos, para los mismos atributos y en ese orden, superaron al mejor testigo PTN en 55 %, P88 en 50 % y P88 en 16.3 %. El mestizo L54xPTU combinó alto rendimiento de totomoxtle total con alto porcentaje de totomoxtle útil y rendimiento de grano, lo que indica que la línea L54 posee mejor aptitud combinatoria para mejorar esos atributos a la vez. La prueba de mestizos permitió identificar grupos de líneas S_1 promisorias para mejorar el rendimiento y calidad del totomoxtle, el rendimiento de grano o la combinación de esos caracteres de interés en maíz.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad, hoja para tamal, mestizos, totomoxtle.

SUMMARY

Cornhusks are the bracts of the cob traditionally used to wrap tamales, whose economic importance is increasing, and the availability of maize varieties for this purpose is limited. The objective of this research was to generate knowledge regarding the use of recurrent selection to identify S_1 lines with promising combining ability to improve both the yield and quality of cornhusks. In 2017, 96 top-crosses and four controls were evaluated in three environments in Puebla state, using a 10×10 simple lattice design. In the statistical analysis, combined analysis of variance and Tukey's comparison of means ($P \leq 0.05$) were performed. The average total cornhusk yield was 2.3 t ha^{-1} and the average useful cornhusk yield was 1.5 t ha^{-1} . Husk length ranged from 21.9 to 28.4 cm and their width from 17 to 22.8 cm, allowing for the classification of bracts for different market niches. On average, the total number of bracts was 13 per ear, and the number of useful bracts was

10.7. In combination with the PTU tester, lines L5, L54, and L61 showed the most promise in improving total cornhusk yield, useful cornhusk yield, and useful cornhusk percentage, respectively. These top-crosses, for the same attributes and in that order, outperformed the best control PTN by 55 %, P88 by 50 %, and P88 by 16.3 %. The L54xPTU top-cross combined high total and useful totomoxtle yields with a high percentage of useful husks and grain yield, indicating that the L54 line has better overall combining ability with the potential to improve these attributes simultaneously. The top-crosses test allowed the identification of promising S_1 line groups for improving both yield and totomoxtle quality, grain yield, or a combination of those traits of interest in maize.

Index words: *Zea mays* L., quality, cornhusk for tamale, top-crosses, totomoxtle.

INTRODUCCIÓN

La hoja para tamal o totomoxtle se refiere a las brácteas de la mazorca, con amplio uso artesanal (Hasan y Hasdiana, 2020), así como en la nutrición del ganado y producción de biogás (Kovačević *et al.*, 2023), con potencial como fibra económica y biodegradable para aplicación textil e industrial (Reddy y Yang, 2005).

En México, la envoltura de tamales es el uso más tradicional, que genera ingresos extras a los que se obtienen de la producción del grano y de otros subproductos del maíz (Hernández-Guzmán *et al.*, 2017), mejorando su rentabilidad (Alvarado-Teyssier *et al.*, 2020). La importancia del totomoxtle influyó en la selección realizada por agricultores, quienes buscan variedades con mayor rendimiento de grano y mejor cobertura de mazorca (King, 2006). Un estudio pionero desarrollado en Puebla, México, demostró que existe gran variabilidad en las características del totomoxtle entre y dentro de poblaciones nativas de maíz (Flores-Rosales *et al.*, 2015). Sobre este tema no existen estudios en otras regiones de México y hay aspectos poco estudiados que justifican el continuar las investigaciones con relación al totomoxtle; uno de ellos es el cómo mejorar el rendimiento y la calidad

del totomoxtle para su uso en la envoltura de tamales. Una estrategia es el aprovechamiento *per se* de poblaciones nativas sobresalientes para totomoxtle y/o aplicar esquemas de mejoramiento, como la Selección Recurrente por Aptitud Combinatoria General, que permite identificar líneas progenitoras con aptitud combinatoria superior para dar continuidad a programas de mejoramiento. La aptitud combinatoria se define como la capacidad de un genotipo para heredar características favorables a su descendencia (Mogesse *et al.*, 2020).

El hecho de dar continuidad a esquemas de selección recurrente conlleva alto costo, tiempo y esfuerzo para el desarrollo de variedades (Hernández *et al.*, 2024). Debido a lo anterior, se ha argumentado la posibilidad de utilizar mestizos con comportamiento altamente sobresaliente; sin embargo, existe el desafío que representa el manejo de líneas progenitoras con bajo nivel de endogamia y quizá la posibilidad de que el mestizo reconstruido pudiera cambiar el nivel de expresión de las cualidades por las cuales resultó sobresaliente. Al respecto, Sánchez-Ramírez *et al.* (2020) afirman que la selección recurrente otorga la posibilidad de utilizar los mestizos promisorios como híbridos no convencionales. Bharti y Chimata (2019) aseveran que esa opción es pertinente, debido a que el mejoramiento genético convencional es un proceso que puede requerir hasta diez años para liberar una nueva variedad. En contraste, existe la ruta más larga y costosa, pero prometedora, que consiste en cuantificar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de las líneas promisorias resultantes de la prueba de mestizos, identificar aquellas que, como lo señalan Acevedo *et al.* (2020), presenten a la vez alta ACG y formen cruza con alta ACE, para su integración al programa de mejoramiento para su uso a través de la hibridación.

El objetivo de esta investigación fue generar conocimiento relacionado con la aplicación de la selección recurrente para identificar líneas S_1 con aptitud combinatoria promisorio para mejorar el rendimiento y la calidad del totomoxtle para envoltura de tamales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

La evaluación tuvo lugar en tres ambientes: 1) localidad de Huaquechula, municipio de Huaquechula, Puebla ubicada a los 18° 46' N y 98° 32' O, altitud de 1594 m y suelo Phaeozem, 2) localidad de Cacaloxtitl, municipio de Huaquechula, Puebla ubicada a los 18° 46' N y 98° 29' O, altitud de 1628 m y suelo Fluvisol y 3) localidad de San

Juan Castillotla, municipio de Atlixco, Puebla, ubicada a los 18° 51' N y 98° 27' O, altitud de 1808 m, en suelo tipo Luvisol (INEGI, 2000).

Material genético

Con base en evaluaciones previas, realizadas en 2010 y 2012 en ambientes subtropicales de Nayarit, Puebla y Oaxaca, destacaron las poblaciones tuxpeño norteño (PTN) y tuxpeño (PTU) por su calidad de totomoxtle. Además, en Coapan, municipio de Jala, Nayarit, en 2012 se colectó una generación avanzada del híbrido comercial B880 de Dekalb (P88 para fines de esta investigación), con atributos favorables para totomoxtle. El híbrido B880, aun cuando se recomendó por su alto rendimiento de grano, fue uno de los primeros que en el sur de Nayarit mostró características deseables para totomoxtle. La generación avanzada a la que se hace alusión provino de ese híbrido original, adquirido por el productor José Antioco Elías Partida, originario de Coapan, municipio de Jala, Nayarit y quien al momento de la colecta manifestó estar usando el material genético durante seis años consecutivos, practicando selección fenotípica para totomoxtle con base en sus propios criterios. Dada la poca disponibilidad de semilla y para contar con semilla del mismo origen, las dos poblaciones y el híbrido se establecieron en Huaquechula, Puebla, en donde se realizó aumento fraternal.

En PTN y P88 se observó mayor producción de brácteas por mazorca y mayor variación para otros atributos del totomoxtle que la variación mostrada por PTU. Por ello, en 2013 se derivaron 118 líneas S_1 de PTN y en 2014 se derivaron 93 líneas S_1 de P88. Estas líneas se establecieron en 2015 en San Juan Castillotla, Puebla, en un lote de observación. Con el propósito de seleccionar líneas que pudieran eventualmente usarse indistintamente como progenitores masculinos o femeninos, sin comprometer el potencial de producción de semilla. Se descartaron líneas con baja capacidad de producción de polen, susceptibles a enfermedades, mala cobertura de mazorca y baja producción de semilla. Del total de líneas S_1 se seleccionaron 75 de PTN y 60 de P88, las cuales, en 2016, se establecieron en San Juan Castillotla en un lote aislado y condiciones de riego, donde se cruzaron con PTU como probador, en una relación línea:probador de 4:2. Las líneas se desespigaron antes de la liberación de polen y se descartaron aquellas con desfase en floración con respecto al probador. De las 75 líneas establecidas de PTN se obtuvo una producción satisfactoria de semilla de 52 mestizos y de las 60 líneas establecidas de P88 sólo de 44 mestizos.

Diseño, establecimiento y conducción del experimento

Los 96 mestizos, los testigos PTN, P88, PTU y una población nativa local (PNL) fueron evaluados en 2017 en tres ambientes mediante un diseño experimental látice simple 10x10 (Birkhoff, 1991). La unidad experimental constó de dos surcos de 6 m de largo y 0.8 m de ancho. La siembra tuvo lugar del 28 al 30 de junio de 2017, en condiciones de temporal. Para garantizar la densidad de población de 59,523 plantas ha^{-1} se depositaron dos semillas por mata, espaciadas a 0.21 m entre sí. La fertilización se realizó con la dosis 160-40-40, utilizando como fuentes Urea y Triple-17. En la siembra se aplicó 1/3 del nitrógeno, todo el fósforo y potasio. La primera escarda y el aclareo a una planta por mata tuvo lugar en promedio a los 30 días después de la siembra. La segunda escarda se realizó en promedio a los 50 días después de la siembra y en este momento se aplicó el resto del nitrógeno. La maleza se controló en forma manual. La cosecha se realizó del 23 al 25 de noviembre del mismo año.

Variables

Un total de 10 mazorcas con totomoxtle de plantas con competencia completa fueron caracterizadas por unidad experimental. Las variables fueron: 1) longitud de totomoxtle (LTT), en cm, desde la base del totomoxtle hasta la punta del mismo, 2) cobertura de mazorca (CMZ), en cm, referida al totomoxtle que sobrepasó la punta de la mazorca, 3) ancho de totomoxtle (ATT), en cm, medido en el centro de la primer bráctea que envolvió por completo a la mazorca, 4) peso de totomoxtle por mazorca (PTT), en gramos, 5) número total de brácteas (NTB), 6) peso por bráctea (PPB), en gramos, resultado de dividir PTT/NTB, 7) número de brácteas útiles (NBU), entendidas éstas como aquellas con ancho mínimo de 10 cm (Marmolejo, 1995), 8) peso de brácteas útiles (PBU), en gramos, 9) peso por bráctea útil (PPBU), en gramos, obtenido al dividir PBU/NBU, 10) porcentaje de brácteas útiles (%BU), como $\text{NBU}/\text{NTB} \times 100$ y 11) porcentaje de totomoxtle útil (%TU), como $\text{PBU}/\text{PTT} \times 100$. Además, se obtuvo el peso en gramos de: mazorca con totomoxtle, mazorca sin totomoxtle, grano (PGR) y olote (POL). Con ello se calculó, en t ha^{-1} : 12) rendimiento total de totomoxtle, 13) rendimiento de totomoxtle útil, 14) rendimiento de olote y 15) rendimiento de grano, con base en PGR, multiplicado por la densidad de población, ajustado por factor de desgrane y 14 % de humedad.

Análisis estadístico

En el análisis estadístico se realizó análisis de varianza combinado (Martínez, 1988) a los datos obtenidos en los tres ambientes y la prueba de comparación de medias de

Tukey ($P=0.05$) para variables con diferencias estadísticas significativas, aplicando el procedimiento GLM del software de libre acceso SAS OnDemand for Academics® Versión 3.81 (SAS, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Entre genotipos hubo diferencias altamente significativas para todas las variables estudiadas (Cuadro 1). Ello evidencia la existencia de variación entre los mestizos en los caracteres evaluados. Entre localidades también hubo diferencias estadísticas en todas las variables, excepto en el porcentaje de brácteas útiles, lo que indica que el ambiente influyó en la expresión de los caracteres evaluados. Este efecto ambiental puede explicarse con base al estudio de Ashraful *et al.* (2022), quienes al evaluar distintos caracteres agronómicos en híbridos de maíz encontraron coeficientes fenotípicos de varianza superiores a los coeficientes genotípicos, indicando la influencia ambiental en la expresión de algunos caracteres. Por el contrario, para la interacción Genotipo x Localidad (GxL) no hubo diferencias significativas en ocho variables, indicando respuesta similar de genotipos a través de ambientes. La evaluación de variedades en ambientes contrastantes permite identificar aquellas con características agronómicas sobresalientes y estables (Wolde *et al.*, 2018). Cobertura de mazorca y rendimiento de totomoxtle no presentaron interacción con el ambiente, por lo que son variables a las que podría dársele mayor importancia para discriminar entre genotipos. Lo mismo aplica para número de brácteas útiles, peso por bráctea útil y porcentaje de totomoxtle útil, que podrían emplearse como características complementarias de selección. Flores-Rosales *et al.* (2015) propusieron utilizar el peso, longitud, ancho y cobertura del totomoxtle como criterios para identificar poblaciones promisorias de maíz para mejorar la producción de totomoxtle.

La longitud y el ancho del totomoxtle son características importantes de calidad para este atributo. En la presente investigación se encontró que la longitud del totomoxtle varió de 21.9 a 28.4 cm, mientras que el ancho fluctuó entre 17 y 22.8 cm, lo que evidencia la variación entre mestizos en ambas características; variación atribuible mayormente a las diferencias entre las líneas S_1 que constituyeron a los mestizos. El valor promedio para estos atributos fue de 24.9 cm y de 19.8 cm, respectivamente.

El número total de brácteas varió de 10.1 a 15.8, con promedio de 13 brácteas por mazorca, mientras que el número de brácteas útiles estuvo en el intervalo de 6.4 a 14.6, con promedio de 10.7 (Cuadro 1). Estos resultados

Cuadro 1. Estadísticos de caracteres asociados al totomoxtle y rendimiento de grano de genotipos evaluados en 2017 en Puebla, México.

Variable [†]	Genotipo (G)		Localidad (L)		G x L	Error	Intervalo	Media	CV
LTT	9.0	**	72.3	**	1.32 *	1.12	21.9 - 28.4	24.9	4.1
CMZ	6.8	**	16.3	**	1.32 ns	1.13	3.9 - 10.0	6.8	15.5
ATT	7.3	**	19.7	**	1.81 **	1.01	17.0 - 22.8	19.8	5.1
PTT	95.6	**	4081	**	21.64 ns	17.91	28.5 - 51.8	37.5	11.3
NTB	6.5	**	25.7	**	0.53 **	0.32	10.1 - 15.8	13.0	4.2
PPB	0.4	**	14.3	**	0.12 *	0.13	2.3 - 3.7	2.9	9.7
NBU	13.3	**	15.6	**	0.13 ns	0.34	6.4 - 14.6	10.7	5.1
PBU	102.9	**	495.1	**	6.82 *	5.13	12.1 - 39.4	25.3	8.9
PPBU	0.1	**	1.5	**	0.12 ns	0.12	1.9 - 2.7	2.4	7.5
%BU	349.8	**	4.8	ns	18.64 **	12.71	55.9 - 93.0	81.7	4.4
%TTU	374.3	**	3551.4	**	27.53 ns	22.71	47.0 - 84.0	68.0	7.0
RTT	0.3	**	14.7	**	0.12 ns	0.12	1.7 - 3.1	2.3	11.3
RTTU	0.4	**	1.8	**	0.02 *	0.02	0.9 - 2.1	1.5	8.9
ROL	0.2	**	2.1	**	0.04 ns	0.04	1.7 - 2.5	2.1	10.1
RGR	2.1	**	28.6	**	0.91 ns	1.00	7.5 - 11.1	9.6	10.6

[†] LTT: Longitud de totomoxtle (cm), CMZ: Cobertura de mazorca (cm), ATT: Ancho de totomoxtle (cm), PTT: Peso de totomoxtle (g), NTB: Número total de brácteas, PPB: Peso por bráctea (g), NBU: Número de brácteas útiles, PBU: Peso de brácteas útiles (g), PPBU: Peso por bráctea útil (g), %BU: Porcentaje de brácteas útiles, %TTU: Porcentaje de totomoxtle útil, RTT: Rendimiento total de totomoxtle (t ha⁻¹), RTTU: Rendimiento de totomoxtle útil (t ha⁻¹), ROL: Rendimiento de olote (t ha⁻¹), RGR: Rendimiento de grano (t ha⁻¹). *, **: significativo ≤ 0.05 y ≤ 0.01, respectivamente, ns: no significativo, CV: coeficiente de variación (%).

son similares a los que reportan Ramesha *et al.* (1990) (7.4 a 14.4) y Ping-Chin y Pareddy (1994) (8 a 14 brácteas totales).

El rendimiento total de totomoxtle varió de 1.7 a 3.1 t ha⁻¹, con media de 2.3 t ha⁻¹. No existen estudios que permitan comparar los resultados obtenidos, pero el rendimiento total *per se* no debe considerarse como característica única para seleccionar genotipos promisorios en la producción de totomoxtle para envoltura de tamales, debido a que una proporción importante de las brácteas producidas en campo no reúne los atributos necesarios como para alcanzar un valor aceptable en el mercado local y menos para exportación. Normalmente se descartan brácteas cortas, angostas, muy delgadas en su espesor, de textura extrema (muy rugosa o muy fina), incompletas (daño físico o mecánico por pájaros, roedores e insectos) y afectadas por hongos.

El rendimiento de totomoxtle útil es un indicador directo del potencial de agregación de valor. En este trabajo dicho rendimiento varió de 0.86 a 2.14 t ha⁻¹, con una media de 1.5 t ha⁻¹. Marmolejo (1995) menciona que, con base en la experiencia de productores involucrados en la extracción de totomoxtle en la región sur del estado de Nayarit, es posible obtener 0.5 t ha⁻¹ de totomoxtle útil; mientras que, en esa misma región, Hernández-Guzmán y Parra (2007) encontraron que el rendimiento de totomoxtle aprovechable varía de 0.4 a 0.8 t ha⁻¹, con una media de 0.5 t ha⁻¹. Por lo tanto, la producción promedio que se obtuvo en este trabajo, con el uso en su mayoría de mestizos, superó los valores registrados en la escasa literatura disponible sobre el tema.

Con base en la densidad de población utilizada en este estudio (59,523 plantas ha⁻¹) se produjo un promedio de 636,896 brácteas útiles por hectárea. Este valor supera las 413,531 brácteas útiles por hectárea que en maíces

nativos de Jalisco reportaron Larios *et al.* (2006). La mayor producción de brácteas útiles en este estudio se explica porque 96 % de los genotipos evaluados fueron mestizos, formados a partir de líneas S_1 derivadas de dos variedades nativas de maíz sobresalientes *per se* en características asociadas al rendimiento, longitud, ancho y cobertura de totomoxtle. Aunado al origen de los mestizos, el manejo de los mismos pudo influir en la mayor producción registrada, ya que la prueba de mestizos provino de experimentos en donde hubo control de distintos factores de la producción, como fueron la fertilización (dosis y oportunidad de aplicación) y el control de malezas.

El porcentaje de totomoxtle útil es un indicador directo de la capacidad de los materiales genéticos para producir totomoxtle con potencial comercial. El promedio en este estudio fue de 68 % (Cuadro 1), lo que indica que existe un 32 % de totomoxtle que no contribuye desde el punto de vista económico. Esto es muy cercano a lo que arrojó una encuesta aplicada en Jala, Nayarit, en la cual se encontró que en un "empaque" promedio (espacio físico en donde se realiza el beneficio del totomoxtle), sólo 70-80 % de la materia prima que ingresa es apta para su comercialización con calidad de exportación (Hernández-Guzmán y Parra, 2007). De las 2.3 toneladas de totomoxtle que, en promedio, produjeron por hectárea los genotipos usados en este estudio, sólo 1.5 t ha^{-1} (Cuadro 1) son comercialmente útiles. Esto representa una oportunidad para que, a través de programas de mejoramiento genético y la aplicación de criterios de selección pertinentes, se coadyuve al incremento del rendimiento del totomoxtle y de su calidad, para satisfacer la creciente demanda y, como lo afirma Rizzo (2012), para aumentar las oportunidades de empleo. Además, el aprovechamiento del totomoxtle agrega valor a la producción de maíz (Alvarado-Teyssier *et al.*, 2020). En Nayarit, los productores obtienen pago por el totomoxtle que es superior tres o más veces al precio por kilo de grano de maíz (Rice, 2007). Es por ello que la producción y comercialización de totomoxtle es importante en Jalisco, Colima, Michoacán, Oaxaca y Tamaulipas (Long y Villarreal, 1998), lo que ha incrementado su exportación a USA (King, 2006) para la envoltura de tamales (Hernández-Guzmán y Parra, 2007).

Flores-Rosales *et al.* (2015) concluyeron que la cobertura de mazorca aunada al rendimiento, longitud y ancho de totomoxtle son caracteres fenotípicos pertinentes para ser usados como criterios de selección en la identificación de poblaciones sobresalientes. En el presente estudio, en ese orden, se encontró un valor promedio para esos caracteres de 6.8 cm, 2.3 t ha^{-1} , 24.9 cm y 19.8 cm (Cuadro 1). Este nivel de producción de totomoxtle representa una importante oportunidad de ingresos para productores maiceros, ya que el precio estándar por kilogramo de totomoxtle puede ser hasta de 20 pesos, como lo afirman García *et al.* (2024),

para el caso de totomoxtle producido por maíces nativos tipo tuxpeños de la región del Totonacapan, Veracruz, México. La cobertura resulta importante porque a mayor valor, mayor protección para la mazorca y brácteas. El rendimiento de totomoxtle es fundamental, ya que se asocia con el ingreso generado por la venta del producto, mientras que la longitud y el ancho no sólo influyen en el rendimiento y en la calidad del totomoxtle, sino que se asocian de manera directa con una mayor facilidad para la envoltura de tamales.

Comparación de medias de Tukey

De los 96 mestizos evaluados, en el Cuadro 2 se incluye el 10 % superior con base en la prueba de Tukey para las variables que son de particular interés debido al impacto que eventualmente tienen en la economía derivada del aprovechamiento del totomoxtle. Esas variables son muy pertinentes para el propósito de este estudio, ya que permiten comparar y contrastar mestizos promisorios con las variedades testigo, en términos de su potencial para la producción de totomoxtle. El rendimiento de grano se incluye en el cuadro, debido a que su aprovechamiento se complementa con el del totomoxtle, lo que agrega valor al cultivo del maíz.

Con base en esa prueba, todos los mestizos que se muestran en el Cuadro 2 se ubicaron en el primer grupo de superioridad estadística, por lo que no hubo diferencia estadística ($P=0.05$) entre ellos, pero sí respecto a las variedades testigo, particularmente en lo que se refiere al rendimiento de totomoxtle total y útil. En combinación con el probador PTU, las líneas L5, L54 y L61 fueron las más promisorias para mejorar respectivamente el rendimiento total de totomoxtle, el rendimiento de totomoxtle útil y el porcentaje de totomoxtle útil. Esos mestizos, para los mismos atributos y en ese orden, superaron al mejor testigo PTN en 55 %, P88 en 50 % y P88 en 16.3 %. El mestizo L54xPTU combinó alto rendimiento de totomoxtle total con alto porcentaje de totomoxtle útil y rendimiento de grano, lo que indica que la línea L54 posee mejor aptitud combinatoria para mejorar esos atributos a la vez. La línea L16E mostró esa misma aptitud.

Como se evidencia en el Cuadro 2, es posible identificar distintos grupos de líneas S_1 promisorias en función de la variable de interés, al igual que es posible identificar líneas promisorias por combinar aptitud para mejorar distintos atributos deseables. Es de esperarse que estas líneas muestren comportamiento satisfactorio en combinación híbrida, ya que la aptitud combinatoria se define en las primeras etapas de endogamia de las líneas (Bernardo, 1992) y dicha aptitud combinatoria es heredable (Bekavac *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Promedios de rendimiento de los 10 mestizos superiores y variedades testigo evaluadas en 2017 en Puebla, México.

Rendimiento de totomoxtle total		Rendimiento de totomoxtle útil		Porcentaje de totomoxtle útil		Rendimiento de grano	
Mestizo [†]	t ha ⁻¹	Mestizo [†]	t ha ⁻¹	Mestizo [†]	t ha ⁻¹	Mestizo [†]	t ha ⁻¹
L5xPTU	3.1 a	L54xPTU	2.1 a	L61xPTU	84.0 A	L14xPTU	11.1 a
L96xPTU	2.9 a	L4xPTU	2.0 a	L38xPTU	81.2 a	L54xPTU	11.0 a
L77xPTU	2.9 a	L48xPTU	2.0 a	L64xPTU	80.9 a	L34xPTU	10.9 a
L72xPTU	2.8 a	L5xPTU	2.0 a	L19xPTU	80.8 a	L16xPTU	10.9 a
L4xPTU	2.8 a	L72xPTU	2.0 a	L16xPTU	80.2 a	L90xPTU	10.7 a
L54xPTU	2.7 a	L82xPTU	2.0 a	L53xPTU	80.2 a	L36xPTU	10.7 a
L74xPTU	2.7 a	L77xPTU	1.9 a	L20xPTU	80.1 a	L56xPTU	10.6 a
L85xPTU	2.7 a	L96xPTU	1.9 a	L54xPTU	79.8 a	L79xPTU	10.5 a
L46xPTU	2.6 a	L19xPTU	1.9 a	L67xPTU	79.2 a	L39xPTU	10.5 a
L76xPTU	2.6 a	L67xPTU	1.9 a	L48xPTU	78.9 a	L29xPTU	10.5 a
Testigos							
PTN	2.0 f	P88	1.4 e	P88	72.2 b	PTN	9.1 b
P88	1.9 f	PTN	1.3 e	PTN	65.0 e	P88	8.8 b
PNL	1.9 f	PNL	0.9 g	PNL	49.5 h	PTU	7.7 c
PTU	1.8 f	PTU	0.9 g	PTU	48.1 h	PNL	7.4 c

[†]Para cada variable sólo se reportan los 10 mestizos que se ubicaron en el grupo estadísticamente superior, resultante de la prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

La superioridad de mestizos en caracteres deseables para el mejoramiento y aprovechamiento del totomoxtle en comparación con las variedades testigo se atribuye de manera fundamental a la aptitud combinatoria de las líneas S₁ participantes.

Se identificaron líneas S₁ con aptitud combinatoria promisorio para mejorar de manera simultánea el rendimiento de totomoxtle, la calidad de totomoxtle y el rendimiento de grano o sólo para mejorar atributos del totomoxtle o rendimiento de grano.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo C. M. A., A. Castillo G., M. Andrade R., M. E. Núñez V., F. Perdomo R. y R. Suárez R. (2020) Aptitud combinatoria y potencial agronómico de líneas de maíz con diferente nivel de endogamia. *Acta Agrícola y Pecuaria* 6:1-12, <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061023>

Alvarado-Teyssier R., J. S. Escobedo-Garrido, E. Aceves-Ruiz, J. J. Morales y P. M. Mora (2020) La cadena de valor en la hoja de maíz (Totomoxtle) en el valle de Puebla, México. *Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo* 17:583-602, <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i4.1393>

Ashraful M. A., R. Marufur, A. Salahuddin, J. Nasrin, M. K. Al-Amin, M. Rafiqul I., A. M. Alsuhaibani, A. Gaber and A. Hossain (2022) Genetic variation and genotype by environment interaction for agronomic traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Plants* 11:1-16, <https://doi.org/10.3390/plants11111522>

Bekavac G., B. Purar y D. Jocković (2008) Relationships between line *per se* and testcross performance for agronomic traits in two broad-based populations of maize. *Euphytica* 162: 363-369, <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9527-y>

Bernardo R. (1992) Retention of genetically superior lines during early generations testcrossing of maize. *Crop Science* 32:933-937.

Bharti G. and M. K. Chimata (2019) Review on new plant breeding techniques. *International Journal of Science and Research* 8:723-730, <https://doi.org/10.21275/ART20196898>

Birkhoff G. (1991) Lattice Theory: Volume 25 Part 2. American Mathematical Society, Colloquium Publications. Providence, Rhode Island, USA. 418 p.

Flores-Rosales M. Del C., J. A. Hernández-Guzmán, A. Gil-Muñoz, P. A. López, F. Parra-Inzunza y F. V. González-Cossío (2015) Variability in cornhusk traits of landraces from the state of Puebla, Mexico. *Agronomy Journal* 107:1119-1127, <https://doi.org/10.2134/agronj14.0542>

- García T. J., I. Meneses M., E. Meneses M., E. Sánchez G., S. Domínguez M. y R. E. Santes O. (2024) Rendimiento de grano y totomoxtle bajo sistema de transición agroecológica en maíz nativo. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 7:666-679, <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n1-050>
- Hasan A. M. and A. H. Hasdiana (2020) The potential for making handicraft products using corn husk fiber as an alternative raw material. ISSHE, Indonesia. 6 p., <https://doi.org/10.4108/eai.25-11-2020.2306740>
- Hernández-Guzmán J. A. y F. Parra I. (2007) Valor agregado en la producción de maíz; el caso de la industria del totomoxtle en Jala, Nayarit. In: II Foro Internacional Biológico Agropecuario, celebrado en Tuxpan, Veracruz, del 24 al 27 de septiembre de 2007. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan, Ver., México. pp:156-164.
- Hernández-Guzmán J. A., A. Gil M., H. López S., P. A. López, E. Hernández R., E. Ortiz T., J. de D. Guerrero R., O. R. Taboada G., G. González R., R. Valdivia B., L. S. Ibarra S. y S. Alvarado C. (2017) Experiencia de investigación y vinculación en torno a la conservación y aprovechamiento de las razas de maíz Jala, Bofo y Harinoso de Ocho en Nayarit. In: I. Ocampo F. & J. Ramírez J. (Coordinadores). El enfoque regional en el desarrollo agrícola; la innovación en agricultura campesina. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Altres Costa-Amic Editores, Puebla, Pue. pp:364-389.
- Hernández M. R., A. Santacruz V., C. A. Reyes M., H. López S., R. Lobato O. y F. Castillo G. (2024) Desarrollo de híbridos de maíz de cruza simple con diferentes estrategias de selección de progenitores. *Revista Bio Ciencias* 11:1-16, <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1607>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000) Síntesis geográfica del estado de Puebla. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México. pp: 65-74.
- King A. (2006) Ten years with NAFTA: A review of the literature and the analysis of farmer responses in Sonora and Veracruz, Mexico. CIMMYT Special Report 06-01, Mexico, D.F. CIMMYT/ Congressional Hunger Center. 51 p.
- Kovačević Z., A. Zergollern, K. Vvišić, A. Gudelj and S. Velaga (2023) Analysis of fibres extracted from corn husk. 49th symposium "Actual tasks on agricultural engineering", Opatija, Croatia. pp:263-270.
- Larios R. J., R. Inzunza M., J. M. Martínez B. y F. Santiaguillo H. J. (2006) Investigación y transferencia de tecnología para producir y comercializar hoja de maíz para tamal con pequeños productores de Jalisco. Informe Técnico del Proyecto de Servicio Universitario, Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional de Occidente, Chapingo, Méx. 51 p.
- Long N. and M. Villarreal (1998) Small product, big issues: Value contestations and cultural identities in cross-border commodity networks. *Development and Change* 29:725-750, <https://doi.org/10.1111/1467-7660.00097>
- Marmolejo A. J. A. (1995) Aprovechamiento de la hoja de maíz (Totomoxtle) en la zona sur del estado de Nayarit. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nayarit, Xalisco, Nay. 49 p.
- Martínez G. A. (1988). Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, S. A. de C. V., México. 756 p.
- Moges W., H. Zelleke and M. Nigussie (2020) General and specific combining ability of maize (*Zea mays* L.) inbred line for grain yield and yield related traits using 8x8 diallel crosses. *American Journal of Bioscience* 8:45-56, <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20200803.11>
- Ping-Chin C. and R. Pareddy D. (1994) Morphology and development of the tassel and ear. In: Freeling, M. (Editors). The maize handbook (37-47). Springer-Verlag, New York, USA.
- Ramesha M. S., S. J. Patil, J. V. Gaud and S. S. Patil (1990) Correlation, combining ability and heterosis studies on husk number and shank length in maize. *Indian Journal of Genetics* 50:338-341.
- Reddy N. and Y. Yang (2005) Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. *Green Chemistry* 7:190-195, <https://doi.org/10.1039/b415102j>
- Rice E. B. (2007) Conservation in a changing world: *in situ* conservation of the giant maize of Jala. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54:701-713, <https://doi.org/10.1007/s10722-006-0023-3>
- Rizzo L. R. de la L. (2012) Developing alternative markets in Veracruz: The case of totomoxtle. Thesis of Master Degree, University of Texas at Austin, Faculty of the Graduate School. Texas, USA.
- Sánchez-Ramírez F. J., Ma. del C. Mendoza-Castillo y C. G. Mendoza-Mendoza (2020) Evaluación de mestizos y uso de técnicas multivariadas para identificar líneas sobresalientes de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11:433-439, <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1778>
- SAS, Statistical Analysis System (2012) SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Wolde L., T. Keno, B. Tadesse, G. Bogale and B. Abebe (2018) Mega-environment targeting of maize varieties using AMMI and GGE-biplot analysis in Ethiopia. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences* 28:65-84