

## INTERACCIÓN GENOTIPO × AMBIENTE EN MAÍCES NATIVOS DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

### GENOTYPE × ENVIRONMENT INTERACTION IN MAIZE LANDRACES OF SAN LUIS POTOSI, MÉXICO

<sup>1</sup>Ana Laura Ramírez-Córdova<sup>ORCID</sup>, <sup>1</sup>Pablo Delgado-Sánchez<sup>ORCID</sup>, <sup>2§</sup>Jesús Martínez-Sánchez<sup>ORCID</sup>, <sup>1</sup>María de la Luz Guerrero-González<sup>ORCID</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Agronomía y Veterinaria. San Luis Potosí, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental

Centro de Chiapas. Chiapas, México. <sup>§</sup>Autor de correspondencia: ([martinez.jesus@inifap.gob.mx](mailto:martinez.jesus@inifap.gob.mx)).

#### RESUMEN

En el estado de San Luis Potosí, existe un gran potencial para el estudio, conservación, mejoramiento y aprovechamiento de los maíces nativos. En este trabajo, se evaluó la variación morfológica y la interacción genotipo × ambiente de poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí. En el año 2021, se evaluaron 55 poblaciones en dos ambientes contrastantes, bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Los datos morfológicos se analizaron mediante análisis de varianza, mientras que para el rendimiento de grano se utilizaron el modelo de regresión en los sitios (SREG) y las gráficas GGE biplot para estudiar la interacción. El análisis de varianza para la caracterización morfológica presentó diferencias significativas para todas las variables. El análisis de interacción genotipo × ambiente y la estabilidad mostraron que las poblaciones 5, 665 y 438 fueron las más estables y con rendimiento superior al resto de las poblaciones.

**Palabras clave:** caracterización morfológica, componentes del rendimiento, estabilidad.

#### ABSTRACT

In the state of San Luis Potosí, there is great potential for the study, conservation, improvement and use of maize landraces. In this work, the morphological variation and the genotype × environment interaction of maize landraces populations from San Luis Potosí. In 2021, 55

populations were evaluated in two contrasting environments, under a randomized block design with two repetitions. Morphological data were analyzed by analysis of variance, while for grain yield the site regression model (SREG) and the GGE biplot plot were used to study the interaction. The analysis of variance for morphological characterization showed significant differences for all variables. The analysis of genotype × environment interaction and stability showed that populations 5, 665 and 438 were the most stable and with higher performance than the rest of the populations.

**Index words:** morphological characterization, performance components, stability.

#### INTRODUCCIÓN

En el estado de San Luis Potosí las condiciones agroecológicas para la producción de maíz son muy diversas, razón por la cual el maíz nativo presentan una gran diversidad. En la entidad, diversos trabajos de colecta de maíces nativos han documentado la presencia de siete razas de maíz que presentan buen desempeño bajo condiciones de sequía: Tuxpeño, Ratón, Celaya, Olotillo, Elotes Occidentales, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño (Ortega-Corona et al., 2013; Ávila-Perches et al., 2010). Además, en varias regiones del estado se presentan condiciones medioambientales propicias para la selección de maíces nativos con tolerancia a altas temperaturas y estrés hídrico, factores que son limitantes para la

producción de maíz (SIAP, 2023; Diedhiou et al., 2022; Hellin et al., 2014). Diedhiou et al. (2021) reportaron que los maíces nativos de las regiones Altiplano y Media pueden representar un importante recurso genético para enfrentar los incrementos de temperatura y déficit hídrico, por ser los menos afectados en condiciones de laboratorio simulando la sequía mediante pruebas de germinación bajo presión osmótica y con diferentes niveles de temperatura y humedad. Sin embargo, es necesario complementar la información mediante estudios de campo en ambientes múltiples. Diversos autores han demostrado que los maíces nativos presentan una respuesta competitiva en rendimiento de grano bajo condiciones de temporal para diferentes regiones de México (Alvarado-Gómez et al., 2016; Martínez-Sánchez et al., 2016; Pecina-Martínez et al., 2011).

Ante los efectos del cambio climático, los maíces nativos poseen genes que favorecen un mejor desarrollo bajo condiciones de déficit hídrico, bajo esta premisa, es fundamental su conservación, caracterización, producción y mejoramiento (Turrent-Fernández et al., 2016). Existen diferentes metodologías para evaluar y seleccionar maíces nativos en campo bajo condiciones de temporal y ambientes restrictivos. Para ello es necesario evaluar diferentes poblaciones de maíces nativos en ambientes contrastantes y seleccionar las de mejor comportamiento (Martínez-Sánchez et al., 2018). Las técnicas estadísticas AMMI y SREG han sido efectivas para seleccionar genotipos con buen rendimiento de grano y estabilidad, lo que establece las bases para el mejoramiento formal de los maíces nativos (Arellano et al., 2014).

También, es necesario evaluar la variación agromorfológica de las poblaciones nativas de maíz para seleccionar caracteres deseables como la precocidad, que es útil en las estrategias de escape a la sequía en regiones con déficit hídrico bajo condiciones de temporal, para este fin, es factible recurrir a los recursos genéticos resguardados en los bancos de germoplasma o a la colecta y

evaluación de poblaciones de maíz nativo preservadas *in situ* por los agricultores (Diego-Flores et al., 2023). Bajo este contexto, se evaluó la variación morfológica y la interacción genotipo  $\times$  ambiente de poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí, en ambientes contrastantes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Los experimentos fueron conducidos bajo condiciones de temporal en el año 2021 en dos localidades (ambientes), el primero en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (FAyV), a una altitud de 1835 m, coordenadas geográficas 22°13'48" LN, -100°81'22" LO, promedios de temperatura media anual y precipitaciones de 17 °C y 238 mm, respectivamente. El segundo se estableció en la localidad de Los Cerritos (LC) municipio de Ahualulco, a una altitud de 2023 m, coordenadas geográficas 22°38'00' LN, -101°13',33" LO, promedios de temperatura media anual y precipitación de 19 °C y 375 mm.

### Diseño de muestreo

Respecto al material genético, se utilizaron 55 poblaciones de maíces nativos, 46 originarias de San Luis Potosí: 14 de la huasteca, 23 de la región media, dos de la región Centro y 7 del Altiplano más 9 poblaciones de otros estados (dos de Guanajuato, tres de Morelos y cuatro del estado de México). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones por localidad. La unidad experimental fueron dos surcos de 5.0 m de longitud y 0.8 m de ancho, con dos plantas cada 50 cm, para alcanzar una densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>. El manejo agronómico en ambas localidades fue el recomendado por el INIFAP. Se midieron los días a floración masculina y femenina, alturas de planta y mazorca, rendimiento de grano y componentes del rendimiento: número de hileras, granos por hilera y granos por mazorca.

### Manejo y análisis de datos

Las variables morfológicas se analizaron mediante análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey (Datos no presentados) con los datos de la localidad de Los Cerritos, mientras que la interacción genotipo × ambiente y la estabilidad se interpretaron con el modelo SREG y las gráficas GGE biplot con datos de ambas localidades. Se utilizaron los programas estadísticos SAS y GEAR (Pacheco et al., 2015).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) entre las poblaciones para todas las características morfológicas evaluadas y para los bloques solo hubo diferencia significativa en granos por mazorca (Tabla I). Los días a floración masculina y femenina oscilaron entre los 128 a 86 días y 130 a 90 días, respectivamente. Debido a que en muchas localidades donde se realizan siembras de temporal con poblaciones nativas de maíz procuran conservar maíces con diferencias en la floración con el fin de tener opciones ante las variaciones climáticas (Diego-Flores et al., 2023; Muñoz, 2003).

Las poblaciones 426, 2304 y 21343 presentaron sincronía floral a 99, 98 y 90 días después de la siembra (*dds*), respectivamente, la sincronía floral es deseable debido a que asegura la fecundación y la formación de grano (Contreras-Molina et al., 2016; Luna y Gutiérrez, 2000). La altura de planta y de mazorca registraron valores entre 274 a 160 y 144 a 60 cm, las poblaciones con porte muy altos se asocian a problemas de acame, pero son deseadas para producción de forraje, por otro lado, las poblaciones con porte bajo y precoces facilitan la implementación de estrategias de escape a la sequía (Martínez-Sánchez et al., 2017; Ramírez, 2013). En cuanto a los componentes de rendimiento se encontraron mazorcas con longitud de 19.2 a 10.9 cm, el diámetro de mazorca fue de 4.7 a 3.3, los números de hileras por mazorca fueron de 16 a 8 hileras, de 43 a 25 granos por hilera y de 509 a 252 granos por mazorca, las poblaciones con los valores más altos en estos caracteres, son importantes porque pueden ser utilizadas para transferir estos rasgos a las líneas que forman nuevos híbridos comerciales que carecen de buen tamaño de grano (Sah et al., 2020; Ramírez-Díaz et al., 2015).

**Tabla I.** Significancia estadística de poblaciones de maíz nativo evaluadas en San Luis Potosí en caracteres fenológicos, vegetativos y componentes del rendimiento.

Carácter	Fuentes de variación		Cuadrado medio del error	CV (%)	Mín. Máx.	
	Población	Bloque				
DFM (días a floración masculina, <i>dds</i> )	95.03 <sup>**</sup>	3.63	9.61	3.27	86	128
DFF (días a floración femenina, <i>dds</i> )	92.15 <sup>**</sup>	1.30	11.99	3.53	90	130
ALP (altura de planta, cm)	1610.31 <sup>**</sup>	4.00	818.58	13.02	160	274
ALM (altura de mazorca, cm)	837.01 <sup>**</sup>	1.30	383.75	20.69	60	144
LMZ (longitud de mazorca, cm)	6.11 <sup>**</sup>	0.80	1.80	9.23	10.9	19.2
DMZ (diámetro de mazorca, cm)	0.194 <sup>**</sup>	0.01	0.05	5.93	3.3	4.7
NH (número de hileras)	3.69 <sup>**</sup>	2.04	0.76	7.66	8	16
GH (granos por hilera)	36.99 <sup>**</sup>	25.53	9.12	9.40	25	43
GXM (granos por mazorca)	7403.97 <sup>**</sup>	8892.0 <sup>*</sup>	2094.12	12.50	252	509

CV = coeficiente de variación, \* y \*\* significativo a nivel de  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$ , respectivamente.

**Tabla 2.** Análisis de varianza combinado del rendimiento de poblaciones de maíz nativo evaluadas en San Luis Potosí en dos ambientes contrastantes.

FV	SC	Explicación (%)	Acumulado (%)	CM
Ambiente	88.16	41.72	41.72	88.16**
Poblaciones	76.64	36.27	77.99	1.41**
Ambiente × Poblaciones	46.49	22.00	100	0.86**

\*\* Significativos a nivel de  $p < 0.01$ , CM = cuadrado medio, SC = suma de cuadrados, FV = fuentes de variación.

**Tabla 3.** Prueba de Gollob para los componentes del modelo SREG de poblaciones de maíz nativo evaluadas en San Luis Potosí en dos ambientes contrastantes.

FV	SC	Explicación (%)	Acumulado (%)	CM
CPI	84.68	68.76	68.76	1.56**
CP2	38.46	31.23	100	0.73**

\*\* Significativos a nivel de  $p < 0.01$ , CM = cuadrado medio, SC = Suma de cuadrados, FV = fuentes de variación.

En el análisis de varianza combinado hubo diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre los ambientes de evaluación (FAyV y Los Cerritos), las poblaciones y para la interacción poblaciones × ambientes en el rendimiento de grano, lo que indica que hay diversidad genética entre las 55 poblaciones y variación en los dos ambientes (Tabla 2). Para la variable de rendimiento en la interacción poblaciones × ambientes, en la prueba de Gollob se puede observar que el componente principal 1 (CPI) explica 68.73 % de la variación mientras que el componente 2 (CP2) explica el 31.23 %, valores que dan certeza estadística a la evaluación (Ledesma-Ramírez et al., 2012) (Tabla 3).

En cuanto al rendimiento promedio de las 55 poblaciones estudiadas en los dos ambientes. Para la localidad de FAyV el rendimiento promedio es de 1.5 t ha<sup>-1</sup> mientras que para Los Cerritos es de 2.73 t ha<sup>-1</sup>, siendo esta última la localidad con la mejor respuesta en rendimiento (Datos no presentados). El CPI se encuentra correlacionado con el genotipo y representa la parte del rendimiento que es afectado por las características del genotipo (Martínez-Sánchez et al., 2018). Si el CP2 presenta valores bajos nos indica que la población tiene menor interacción (Yan & Tinker, 2006), tal es el caso de las poblaciones 5 (3.01 t

ha<sup>-1</sup>), 665 (2.85 t ha<sup>-1</sup>) y 438 (2.15 t ha<sup>-1</sup>) con -0.070, -0.175 y -0.275 respectivamente y presentan rendimientos arriba del 2.1 t ha<sup>-1</sup>, el origen de estas poblaciones se encuentra en la zona media del estado, lugar donde ocurren 500 mm de lluvia por año y considerando que en el periodo del experimento se presentaron precipitaciones que sumaron un aproximado de 520 mm (WeatherData, 2022), su buen comportamiento se podría deber a esa condición. La población con mejor comportamiento en la localidad de FAyV fue 423 con 3.15 t ha<sup>-1</sup> y para Los Cerritos fue 23677 con 5.11 t ha<sup>-1</sup>, ambas con origen en la zona media. Estos resultados coinciden con Dhiedhiou et al. (2021) quienes reportaron que los maíces nativos de las regiones Media y Altiplano pueden ser un importante recurso genético para enfrentar los incrementos de temperatura y sequía por efecto del cambio climático. Ninguna de las poblaciones provenientes de otros estados destacó en rendimiento de grano, lo que demuestra la adaptación de las poblaciones sobresalientes a las condiciones medioambientales de San Luis Potosí.

En la Figura 1 se muestra el GGE biplot que describe el patrón quién fue el mejor y en dónde, que construye un polígono usando como vértices las poblaciones más alejadas del origen del biplot, para este caso son 1997, 23677, 423, 428, 443,

16417, 21201, 15938, 19670 y 17894, de tal manera que las 55 poblaciones se encuentren dentro del polígono formado. Las 10 poblaciones mencionadas anteriormente son las más sensibles a la interacción genotipo  $\times$  ambiente, considerando también que si dichas vértices tienen el mayor rendimiento se puede ubicar las poblaciones con los mejores rendimientos en cada ambiente (Frutos et al., 2014), para Los Cerritos fueron las poblaciones 19957, 2292 y 23677 con 4.28, 3.09 y 5.11 t ha<sup>-1</sup>, para la FAYV la población 423 fue la que mejor se comportó con 2.03 ha. Se formaron dos grupos, el primero se localiza FAYV donde se registró los rendimientos más bajos de las 55 poblaciones en comparación con Los Cerritos que presentó los rendimientos más altos (Figura I).

En la Figura 2 se muestra el rendimiento promedio versus estabilidad, la línea con una flecha que pasa por el origen del biplot indica el rendimiento promedio de las poblaciones. La estabilidad se representa de forma perpendicular al

eje de las ordenadas, lo que indica que entre mayor longitud tenga el vector mayor será la interacción (Frutos et al., 2014). Por lo anterior se puede ubicar que las poblaciones 423 y 428 tienen el vector más largo por ende son las que tienen mayor interacción, por otro lado, entre las poblaciones con menor longitud de vector ubicamos a la población 429 lo que nos indica que es una de las poblaciones más estables y con rendimiento de grano arriba del promedio. Arellano et al. (2014) evaluaron variedades de maíces azules en ambientes múltiples del Altiplano Central de México, encontraron que algunas poblaciones presentaban estabilidad, pero rendimientos por debajo del promedio, las que obtuvieron los mejores rendimientos tenían la mayor interacción y solamente localizó una población con estabilidad y rendimiento arriba del promedio, Martínez-Sánchez et al. (2016) encontraron resultados similares evaluando maíces locales de clima cálido del estado de Chiapas.

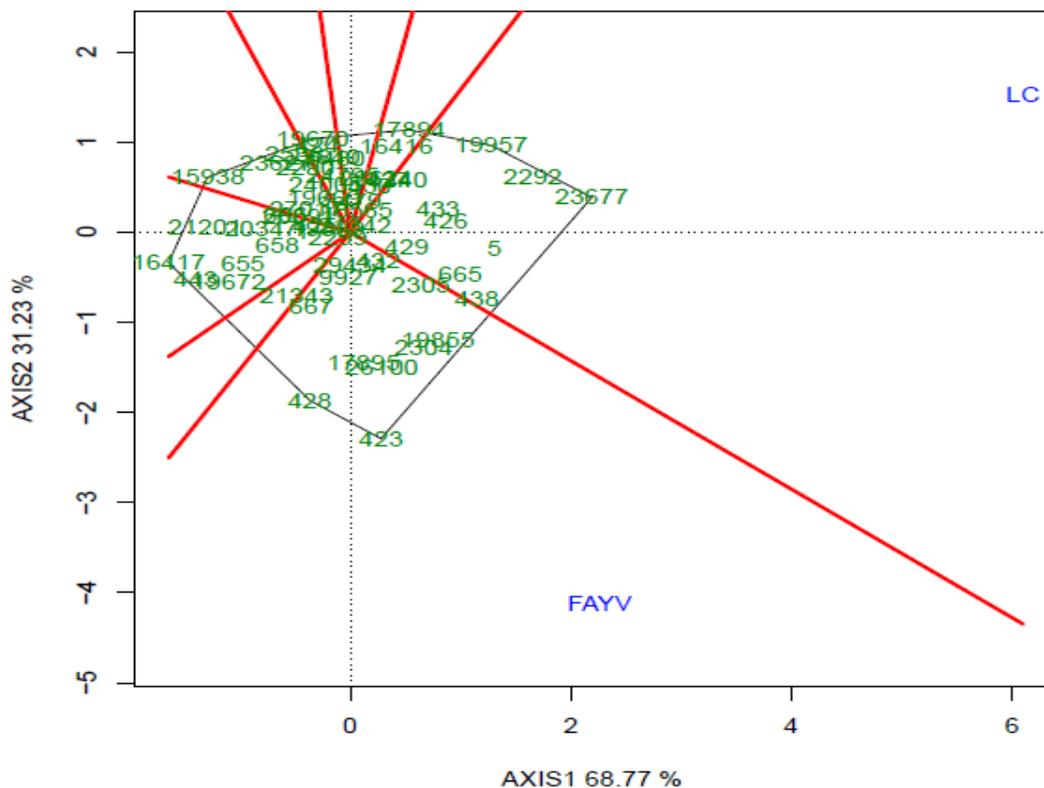
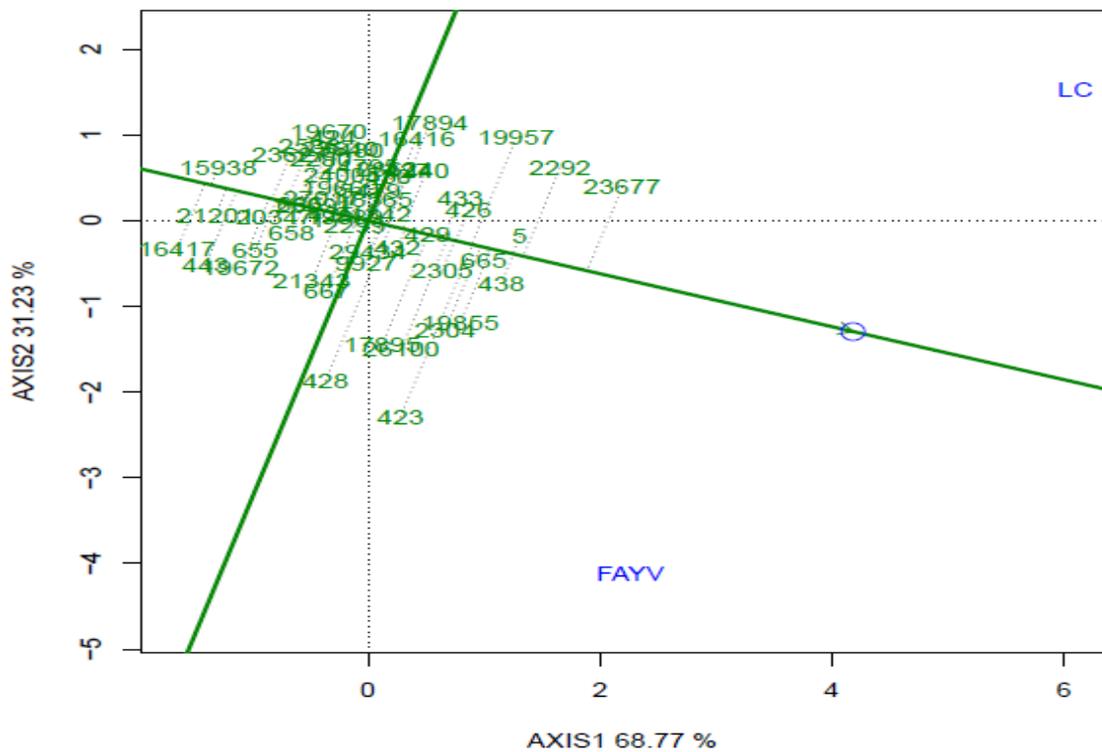


Figura I. GGE biplot (SREG) donde se modela el patrón quien fue el mejor y en dónde (which-won-where).



**Figura 2.** Rendimiento medio versus estabilidad en maíces nativos evaluados en dos ambientes contrastantes de San Luis Potosí.

Las características de un genotipo ideal son tener un rendimiento arriba del promedio y una alta estabilidad, a pesar de que el genotipo ideal no existe nos ayuda a referenciar para evaluar un conjunto de poblaciones. La representación en la **Figura 3** del genotipo ideal se representa con un punto absolutamente estable y los círculos concéntricos nos permiten visualizar la cercanía que hay entre las poblaciones y el ideal (Frutos et al., 2014). Las tres poblaciones que se visualizan más cercanas al ideal son 5, 665 y 438 provenientes de la región media, que se identifican con estabilidad y rendimientos por arriba del promedio general, una de las características en común de estas poblaciones es que tienen características de la raza tuxpeño, Martínez-Sánchez et al. (2018) mencionan que esta raza se destaca por su capacidad de adaptabilidad y alto rendimiento lo que ha llevado a que este tipo de material sea base para el mejoramiento genético.

## CONCLUSIONES

Hubo diferencias entre ambientes, poblaciones y la interacción poblaciones × ambientes en el rendimiento de grano, se encontró que existen diferencias significativas en los caracteres fenológicos, vegetativos y los componentes del rendimiento, las poblaciones provenientes de la región media fueron las de mejor rendimiento de grano y gracias al modelo de regresión en los sitios se identificaron tres poblaciones con rendimientos por arriba del promedio y estabilidad 5, 665 y 438. En el estado de San Luis Potosí, México, existen poblaciones nativas de maíz con alto potencial agronómico para ser utilizadas en diferentes programas de conservación, mejoramiento genético y aprovechamiento sustentable.

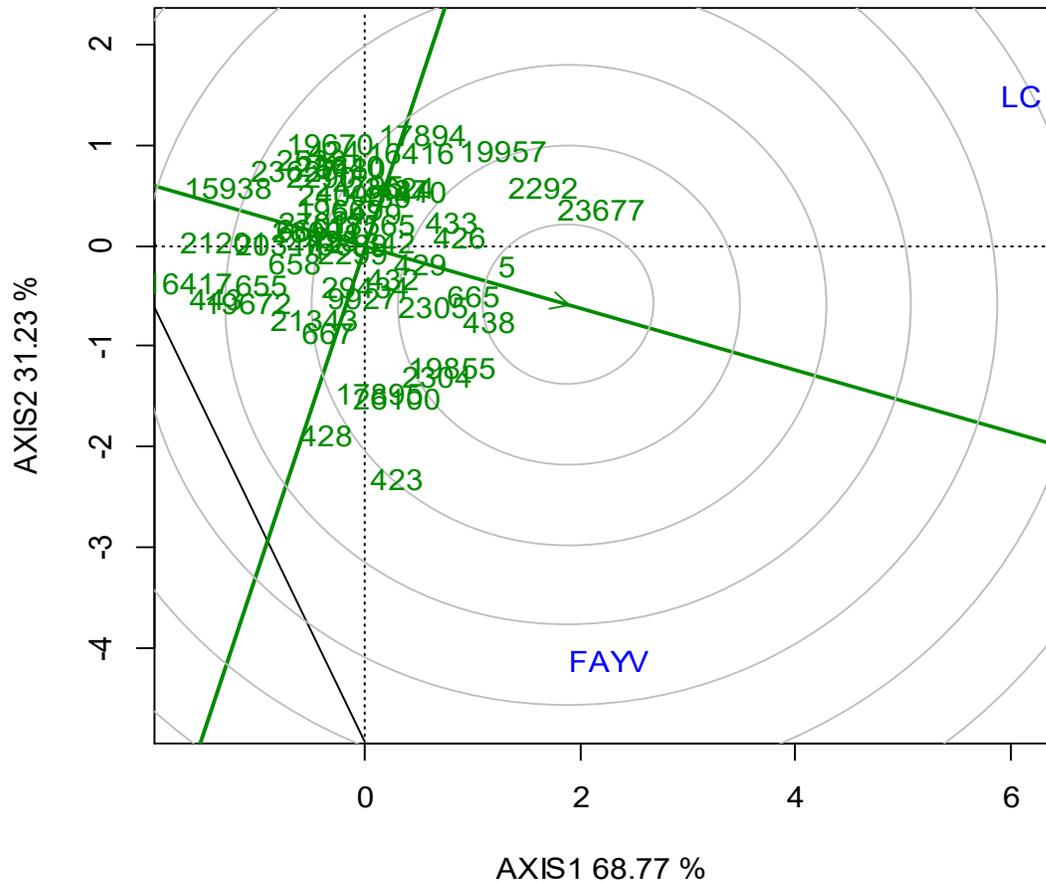


Figura 3. Ranking de las poblaciones evaluadas con respecto al genotipo ideal.

### AGRADECIMIENTOS

Al CONAHACYT por financiar los estudios de maestría de Ana Laura Ramírez Córdova.

### REFERENCIAS

- Alvarado-Gómez, L. C., Graillet-Juárez, E. M., Martínez-Martínez, M., Arieta-Román, R. J. y Fernández-Figueroa, J.A. (2016). Potencial de rendimiento y variabilidad del maíz nativo (*Zea mays* L.) rojo en suelos ácidos de baja fertilidad en Acayucan, Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 4(2), 112–117. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v4i2.79>
- Arellano, V. J. L., Rojas, M. I. y Gutiérrez, H. G. F. (2014). Variedades de maíz azul chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1469-80. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.828>
- Ávila-Perches, M.A., Dorantes-González, J.R.A., Gámez-Vázquez, H. G. y Gámez-Vázquez, A. J. (2010). *Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México*. San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Bajío. 81p.
- Contreras-Molina, O., Gil-Muñoz, A., Antonio-López, P., Reyes-López, D. y Guerrero-Rodríguez, J. D. (2016). Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17, 3633-3647.

- Diedhiou, I., Ramírez-Tobías, H. M., Fortanelli-Martínez, J. & Flores-Ramírez, R. (2021). Effects of different temperatures and water stress in germination and initial growth of creole genotypes of maize from three different agroclimatic regions of San Luis Potosí (México). *Maydica*, 66(1), 1-16.
- Diedhiou, I., Ramírez-Tobías, H.M., Fortanelli-Martínez, J. & Flores-Ramírez, R. (2022). Maize intercropping in the traditional "Milpa" system. Physiological, morphological, and agronomical parameters under induced warming: evidence of related effect of climate change in San Luis Potosí (Mexico). *Life*, 12, 1589. <https://doi.org/10.3390/life12101589>
- Diego-Flores, P., Padilla-Cortes, E., Martínez-Martínez, L., Carrillo-Rodríguez, J. C. y Chavez-Servia, J. L. (2023). Variación fenotípica entre poblaciones precoces de maíz nativo de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(2), 106-117. <https://doi.org/10.60158/rma.v10i2.406>.
- Frutos E., Galindo, M. P. & Leiva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 28, 1629-1641. <https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z>
- Hellin, J., Bellon, M. R., & Hearne, S. J. (2014). Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement*, 28(4), 484-501. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.921800>.
- Ledesma-Ramírez, L., Solís-Moya, E., Suaste-Franco, M. P., Rodríguez-Caracheo, J. F. y Cruz-González, M.L. (2012). Análisis GGE BILOT del rendimiento de trigo (*Triticum* spp.) con riego normal y restringido en El Bajío, México. *Agrociencia*, 46(2), 119-131.
- Luna, F. M. y Gutiérrez, S. J. R. (2000). Investigación fisiotécnica de maíz de temporal en la región alta del Norte de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23, 195-210. <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.195>.
- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N. y Villegas-Aparicio, Y. (2016). Interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 3(1), 38-48.
- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N. y Cadena-Iñiguez, P. (2017). Caracterización morfológica en poblaciones de maíz nativo (*Zea mays* L.) en Chiapas, México. *Agroproductividad*, 10(9), 26-33.
- Martínez-Sánchez, J., Espinosa-Paz, N., Ramírez-Córdoba, A. L., Camas-Gómez, R. y Villegas-Aparicio, Y. (2018). Expresión fenotípica y estabilidad en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(1), 1-11.
- Muñoz, O. A. (2003). *Centli maíz*. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Estado de México. 211 p.
- Ortega-Corona, A., Guerrero-Herrera, M. J. y Preciado-Ortiz, R. E. (2013). *Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico. Núm 7. 250 p.
- Pacheco, A., Vargas, M., Alvarado, G., Rodríguez, F., Crossa, J. & Burgueño, J. (2015). "GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows) Version 2.0", CIMMYT Research Data & Software Repository Network, VI6 <http://hdl.handle.net/11529/10203>
- Pecina-Martínez, A. J., Mendoza-Castillo, M. C., López-Santillán, J. A., Castillo-González, F. y Ortiz-Cereceres, J. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2), 85-92.
- Ramírez, C. A. (2013). Selección de maíces nativos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(2), 7-21.
- Ramírez-Díaz, J. L., Ledesma-Miramontes, A., Gómez-Montiel, N. O., Vidal-Martínez, V. A., Gómez-Montiel, N. O., Ruíz-Corral, J. A., Velázquez-Cardelas, G.A., Ron-Parra, J., Salinas-Moreno, Y. y Nájera-Calvo, L.A.

- (2015). Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 119-131.
- Sah, R. P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V. K., Chakravarty, M. K., Narayan, S. C., Rana, M. & Moha, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10, 2044. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Cierre de la producción agrícola en México 2023*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Turrent-Fernández, A., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Thompson, C. y Mejía-Andrade, H. (2016). Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1717-39. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.165>
- WeatherData. (2022). *Base de datos de precipitación de San Luis Potosí durante el año 2022*. <https://ram-n.github.io/weatherData>.
- Yan, W. and Tinker, N.A. (2006). Biplot analysis of multi-environmental trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 86, 623-645. <https://doi.org/10.4141/P05-169>