



EVALUACIÓN MORFOFISIOLÓGICA Y ESTABILIDAD EN COLECCIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ por Ana Laura Ramírez Córdova se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) .



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



EVALUACIÓN MORFOFISIOLÓGICA Y ESTABILIDAD EN COLECCIONES DE
MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ

Por:

I.C.A. Ana Laura Ramírez Córdova

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO



Evaluación morfofisiológica y estabilidad en colecciones de maíz nativo del estado de
San Luis Potosí

Por:

I.C.A. Ana Laura Ramírez Córdova

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de
Maestra en Ciencias Agropecuarias

Directo de Tesis:

Dr. Pablo Delgado Sánchez

Asesores:

Dra. María de la Luz Guerrero González

M. C. Jesús Martínez Sánchez

PÁGINA DE APROBACIÓN

El trabajo titulado "**Evaluación morfofisiológica y estabilidad en colecciones de maíz nativo del estado de San Luis Potosí**" fue realizado por la I.C.A **Ana Laura Ramírez Córdoba** como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ciencias Agropecuarias**, y fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Pablo Delgado Sánchez

Director de Tesis

Firma

Dra. María de la Luz Guerrero González

Asesora

Firma

M. C. Jesús Martínez Sánchez

Asesor

Firma

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a 22 días del mes de agosto de 2022

DEDICATORIA

*A mis Padres **Gabriel Ramírez Hernández, Elisia Córdova Ulín** y mis hermanos **José Gabriel y Nallely Karina** por su apoyo y amor incondicional a pesar de todo, gracias a su esfuerzo he llegado hasta aquí.*

*A **M. C. Sergio González de la Cruz** por todo su esfuerzo dedicado para recorrer el camino a mi lado.*

*A mi profesora de bachiller **Dra. Laura García Cansino**, este es el fruto de mi esfuerzo, gracias por su apoyo.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por permitirme formar parte de su cuerpo estudiantil y ser la sede de la adquisición de mis conocimientos, específicamente en la Facultad de Agronomía y Veterinaria y al Centro de Investigación y Estudios de posgrado (CIEP) por toda la contribución a mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (No. CVU 945706) por otorgarme la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

Al Dr. Pablo Delgado Sánchez, la Dra. María de la Luz Guerrero González y al M. C. Jesús Martínez Sánchez por sus por sus consejos, colaboración, apoyo y dirección de este trabajo.

Al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de las UASLP, por sus instalaciones y a todo el grupo de trabajo que lo conforma pues gracias a ellos y su colaboración me permitieron desarrollar el trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron o participaron en el desarrollo de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	3
Objetivos.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Importancia del Maíz Nativo	4
Maíz y el Cambio Climático.....	5
Importancia de la Caracterización Morfológica	6
Eficiencia Fotosintética.....	7
Interacción Genotipo X Ambiente	8
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Ubicación Geográfica del Experimento.....	12
Material Genético.....	12
Diseño Experimental.....	15
Manejo Agronómico	15
Variables de Estudio	17
Análisis Estadístico.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
Caracterización Morfológica	21
Variables Fisiológicas.....	24
Interacción Genotipo X Ambiente	25
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	33

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Localidades de evaluación de 19 poblaciones de maíz nativo.....	12
2	Información de las 55 poblaciones de maíz.....	13
3	Cuadrados medios de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.....	21
4	Características agronómicas y rendimiento de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.....	22
5	Cuadrados medios de la eficiencia fotosintética en de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.....	24
6	Medias de la Eficiencia fotosintética de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.....	25
7	Suma de cuadrados, cuadrados medios y significancia estadística del Rendimiento de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.....	26
8	Cuadrados medios y significancia de la prueba de Gollob, para los componentes del modelo SRGE de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.....	26
9	Promedio del rendimiento de grano (t ha-1) de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales.....	29

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Parcelas experimentales. A) Localidad de FAyV, B) Localidad de Los Cerritos.....	16
2	Gráfica GGE Biplot (SREG) donde se modela el patrón which-won-where.....	29
3	Grafica GGE Biplot (SREG) rendimiento medio y estabilidad de los genotipos para las 55 poblaciones de maíces nativos evaluados en dos ambientes.....	30
4	Grafica GGE Biplot (SREG) rendimiento medio y estabilidad de los genotipos para las 55 poblaciones de maíces nativos evaluados en dos ambientes.....	31

RESUMEN

México es considerado como el centro de origen del cultivo de maíz contando con 59 razas y cientos de miles de variedades, que se han conservado por productores locales. El maíz presenta una gran diversidad genética, dicha diversidad ha sido de suma importancia y base del mejoramiento genético pero los estudios se han concentrado en la zona del sureste del país. Por lo anterior, es importante realizar estudios de caracterización morfológica para actualizar y ampliar la información que se tiene, lo que podría contribuir a encontrar características para mitigar los efectos del estrés hídrico. El presente tuvo como objetivo evaluar la características morfológicas de las 55 poblaciones de maíz del estado de San Luis Potosí, su eficiencia fotosintética para encontrar estrés hídrico en las poblaciones, su interacción genotipo x ambiente y estabilidad en el rendimiento. Se establecieron dos parcelas experimentales, FAyV y Los Cerritos donde se evaluaron los comportamientos a través de un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, utilizando análisis de varianza para los comportamientos morfofisiológicos, mientras que la variable rendimiento se analizó con un análisis de varianza combinado y posteriormente se aplicó el modelo de regresión en los sitios (SREG) para estudiar la interacción. La estabilidad fue modelada utilizando la gráfica GGE biplot. En la localidad de Los Cerritos se tuvo una mejor expresión por lo cual se realizaron las evaluaciones de morfología para caracterizar las poblaciones y eficiencia fotosintética para identificar estrés hídrico en la etapa de floración. El análisis de varianza para la caracterización morfológica presentó diferencia altamente significativa encontrando variabilidad en los DFM y DFF desde los 86 hasta 130 días después de la siembra. La diversidad de las alturas aporta opciones para mejoramiento en fines de follaje en el caso de los portes altos, mientras que, para los portes bajos podrían servir debido a su bajo requerimiento hídrico de desarrollo. La disminución de la eficiencia fotosintética nos permitió encontrar a las poblaciones 2290 y 5480 tuvieron un estrés en la etapa de floración y provoco una rendimiento por debajo del promedio. La evaluación de interacción genotipo x ambiente mostro que las poblaciones 5, 665 y 438 fueron las más estables y con buen rendimiento.

Palabras clave: Maíz nativo, fluorescencia, *Zea mays*, componentes de rendimiento, temporal.

SUMMARY

Mexico is considered the point of origin of corn cultivation, with the greatest diversity made up of 59 races and hundreds of thousands of varieties, which have been preserved over the years by local producers. Maize has a great genetic diversity, due to its high adaptability to the abiotic and biotic factors to which it is exposed. This diversity has been of the utmost importance and the basis for genetic improvement, but studies have been concentrated in the southeastern part of the country. Therefore, it is important to carry out morphological characterization studies to update and expand the information available, which could contribute to finding characteristics that can serve to mitigate the effects that water stress could have. Genotype x environment interaction assessments allow us to explore the behavior of different genotypes in contrasting environments. Therefore, the objective of this study was to evaluate the morphological characteristics of the 55 maize populations in the state of San Luis Potosí, their photosynthetic efficiency to find water stress in the populations and evaluate their genotype x environment interaction and yield stability. Therefore, two experimental plots are presented, FAyV and Los Cerritos, where behaviors were evaluated through a randomized block design with two repetitions, using analysis of variance for morphophysiological behaviors, while the performance variable was analyzed with an analysis of variance of combined variance and later the regression model in the sites (SREG) was applied to study the interaction. Stability was modeled using the GGE biplot. Among the results show that in the town of Los Cerritos there was a better expression, morphology evaluations were carried out to characterize the populations and photosynthetic efficiency to identify water stress in the flowering stage. The analysis of variance for the morphological characterization presented a highly significant difference, finding variability in the DFM and DFF from 86 to 130 days after sowing. The diversity of plant heights provides options for improvement in foliage purposes in the case of tall plants, while for low plants they could be useful due to their low water requirement for development. The decrease in photosynthetic efficiency allowed us to find that populations 2290 and 5480 had stress in the flowering stage and caused a below average yield. While the evaluation of genotype x environment interaction showed that populations 5, 665, and 438 were the most stable and with good performance.

Keywords: Native maize, fluorescence, *Zea mays*, yield components, rainfed.

INTRODUCCIÓN

En Mesoamérica, las primeras civilizaciones practicaban la agricultura como un pacto, se basaban en pedir permiso a la tierra a través de diversos rituales para poder trabajarla, cuidaban de ella procurando volverla a su estado original y compartían los frutos de la cosecha con la comunidad. Particularmente, en México la agricultura surgió con la domesticación del maíz hace más de 10 mil años volviéndose parte fundamental debido a su importancia alimenticia, social y cultural. La diversidad del maíz que el país tiene es amplia, está compuesta por 59 razas y cientos de miles de variedades que han sido resguardadas, recreadas, conservadas y usadas principalmente por comunidades campesinas (García *et al.*, 2002; Salgado, 2011; Ruz *et al.*, 2013).

Durante el 2020 en México se obtuvo una producción de 27.4 millones de toneladas en una superficie de 7.5 millones de hectáreas. El promedio del rendimiento grano de ese año fue de 4 t/ha (SIAP, 2022) lo que indica rendimientos bajos derivados a que aproximadamente el 80% de la superficie sembrada se encuentra en condiciones de temporal o secano dependiendo del régimen de lluvias que suelen ser erráticas e insuficientes (Reyes *et al.*, 2017). Si bien, las condiciones de lluvia marcan una pauta en la producción del maíz, su adaptabilidad ha logrado que se cultive en casi todo el territorio nacional (Salgado, 2011).

Las poblaciones nativas han sido preservadas a través de numerosas generaciones, coexistiendo con microorganismos benéficos y patógenos en condiciones microecológicas específicas, factores que han favorecido la preservación de la diversidad genética del cultivo (Castillo *et al.*, 2000), además, ha permitido el desarrollo de características que ayudan a las plantas a tener tolerancia a factores bióticos y abióticos. Estas interacciones actúan sobre la semilla y la planta modificando el genotipo (Aguirre y García, 2012).

El genotipo, es un conjunto de información genética contenida en la semilla que ha sido heredada de los parentales, esto es lo que determina las características fenotípicas de la planta, por lo que estos rasgos no se pueden apreciar directamente. Por otro lado, al

hablar de fenotipo hacemos referencia a las características visibles que expresa el organismo dependiendo del ambiente (Aguirre y García, 2012; Londoño, 2017)

Por lo anterior, se entiende como interacción genotipo x ambiente, como a la diversidad de respuesta que manifiestan los distintos cultivos a diferentes ambientes, y solo es importante si este es significativo en el fenotipo de la planta. Para poder realizar una evaluación de la interacción entre genotipo y el ambiente es necesario tener al menos dos materiales genéticos diferentes y como mínimo dos ambientes diferentes, de esta manera, con la información que se obtiene en dicho estudio podría conducir a un genotipo estable y a disminuir los errores en la elección de material para mejorar (Orona *et al.*, 2013; Frutos *et al.*, 2014; Lozano-Ramírez *et al.*, 2015). Cuando un genotipo se considera estable, es porque crece en diversos ambientes y presenta una producción superior al promedio, en otras palabras, el ambiente no influye de manera significativa en la expresión del rendimiento (Fierros *et al.*, 2016).

Por lo anterior el presente trabajo consiste en evaluar el comportamiento morfológico y estabilidad de 55 poblaciones originarias del estado de San Luis Potosí en dos ambientes Palma de la Cruz y Los Cerritos.

Hipótesis

Existe diferencia significativa entre las poblaciones de maíces nativos del estado de San Luis Potosí por sus características morfológicas y estabilidad, lo que permitiría realizar una mejor selección de materiales de acuerdo con el rendimiento.

Objetivos

General

Evaluar la morfología y estabilidad de las poblaciones para seleccionar los mejores materiales.

Específicos

- 1) Caracterizar morfológicamente las poblaciones de maíz del estado de San Luis Potosí.
- 2) Evaluar la eficiencia del fotosistema II de las poblaciones como indicador de estrés.
- 3) Analizar la estabilidad del rendimiento de grano y seleccionar las mejores poblaciones.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Maíz Nativo

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos de mayor importancia económica a nivel mundial, por su valor como alimento para consumo humano, para ganado o como materia prima para numerosos productos industriales (Sánchez y Pérez-Urria, 2014). La especie fue domesticada hace 10000 años aproximadamente en Mesoamérica, componiendo junto a la calabaza y el frijol la triada mesoamericana (Caballero *et al.*, 2019).

En México el maíz forma parte de la identidad de la nación de manera social, cultura y es el principal alimento de la población. (Salgado, 2011; Ruiz *et al.*, 2013). La importancia de este cultivo se deriva a que la nación es considerada el centro de origen del cultivo de maíz, esta afirmación la sostiene gracias a que a lo largo del todo el territorio nacional se ha encontrado 59 razas nativas y cientos de miles de variedades que han sido resguardadas por los pueblos campesinos. Debido a su adaptabilidad el maíz se ha podido adaptar a diversas condiciones ayudando así a su distribución (Turren *et al.*, 2012; Serratos, 2009).

Las poblaciones nativas de maíz, generalmente llamadas criollas, han sido preservadas por los productores a través de numerosas generaciones (Kato *et al.*, 2009), coexistiendo con microorganismos benéficos y patógenos en condiciones microecológicas específicas, factores que han favorecido la preservación de la diversidad genética del cultivo (Castillo *et al.*, 2000), además, ha permitido el desarrollo a lo largo de los años de características que ayudan a las plantas a tener tolerancia a factores bióticos y abióticos (Salinas *et al.*, 2015).

Los maíces nativos constituyen la base genética de las semillas mejoradas, asimismo, son de suma importancia para la subsistencia de los pequeños productores rurales (Hernández, 1985), como es el caso de la comunidad Teenek de la zona huasteca del estado de San Luis Potosí; en donde se puede observar la relación que existe entre el

cultivo de maíz y aspectos alimentarios, espirituales, míticos, religiosos y económico-sociales. Los habitantes de la comunidad Teenek realizan selección de semillas de acuerdo con aspectos fenotípicos de la mazorca para poder mejorar su producción (Quevedo *et al.*, 2017).

Maíz y el Cambio Climático

Los efectos generados por el cambio climático, debido a la contaminación y al mal manejo de los recursos naturales por parte de la sociedad, ha generado estragos a nivel mundial. Particularmente, enfrentar estos efectos es uno de los grandes retos de la agricultura, esto debido a la relación con los efectos en los recursos hídricos disponibles.

Ahora bien, se ha demostrado que el clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados; el clima depende de variables del ciclo hidrológico, como la precipitación y la humedad ambiental. Además, el sistema climático y el ciclo hidrológico están ligados a los océanos, su dinámica es afectada por el calentamiento global y este a su vez interactúa con el sistema climático (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2012)

Por lo anterior, se han realizado diversos pronósticos para poder visualizar los diferentes escenarios basados en los datos históricos. Para México se ha indicado que probablemente la temperatura incremente 4 °C a finales de este siglo, de acuerdo con el promedio 1961-1990 y 5 °C (Montero-Martínez y Pérez-López, 2008). El aumento de temperatura desencadenara una considerable escasez de recursos hídricos, lo cual ocasionara una merma significativa en la producción por hectárea en diversos cultivos, que debido al estrés térmico algunos cultivos no podrán ser producidos en algunas zonas.

Asimismo, la disminución de la precipitación será superior al 15% lo que provocara la disminución en el escurrimiento de la superficie y la recarga de los mantos acuíferos, derivando la disminución de la producción del agua, por lo que es de suma importancia desarrollar variedades con tolerancia a estrés hídrico (Martínez-Austria y Patiño-Gómez, 2012).

Además, el aumento de la temperatura provocara variación en el rendimiento del cultivo de maíz debido a que afectara la fisiología; problemas con la polinización,

incrementa la respiración, disminuye la fotosíntesis en consecuencia acorta las etapas fenológicas. A pesar de que son plantas C₄ que tienen mecanismos que les permiten adaptarse a zonas donde existen limitaciones de agua, los panoramas del aumento de temperatura indican que para el 2030, México tendrá una disminución en las áreas potenciales de distribución de 43 a 47 razas de maíces (Ureta *et al.*, 2012)

Por lo anterior, entre las recomendaciones que se exponen para enfrentar este problema están las modificaciones en las fechas de siembra, ajustes a los calendarios de riego y el uso de nuevas variedades que se puedan adaptar a las nuevas condiciones (Ahumada *et al.*, 2014) por lo que es de suma importancia realizar caracterizaciones de las poblaciones de maíz para poder aprovechar características deseables que contribuyan a mejorar estrategias de aprovechamiento (Martínez-Sánchez *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior para poder desarrollar nuevas variedades primero hay que identificar genotipos que expresen altos rendimientos en granos y un comportamiento estable a través de distintos ambientes (Martínez-Sánchez *et al.*, 2016).

Importancia de la Caracterización Morfológica

Indagar en la diversidad de las poblaciones de maíz dentro y entre ellas gracias a las diferencias morfológicas es provechoso para poder evaluar su potencial agronómico. Realizar las mediciones de las características morfológicas no requiere de aparatos sofisticados, lo que permite que se realice fácilmente, su apreciación es directa del fenotipo. No obstante, es necesario que dicho análisis sea realizado por un experto debido a que la expresión de las características está sujeta a los cambios ambientales provocando variación en el desarrollo de las etapas de la planta (Bolaños y Edmeades, 1993).

El maíz es un cultivo con mucha diversidad y gracias a ello se ha estudiado con diversos fines, siendo uno de estos conocer la variabilidad de las poblaciones en cuanto a sus características morfológicas debido a que tiene la capacidad de adaptación en respuesta al conjunto de condiciones en que se desarrolla, lo que se puede manifestar en variaciones de altura, días a floración, altura de mazorca, etc. Se ha realizado estudios para caracterizar el maíz, comenzado con la clasificación racial planteando la integración de múltiples características (López-Romero *et al.*, 2005).

El estudio de la caracterización en México es de suma importancia debido a que nos proporciona información de que podría ser útil para el mejoramiento genético y contribuir a la diversidad genética (Dulloo *et al.*, 2013; Eakin *et al.*, 2014). A lo largo de los años se han realizado diversos estudios de dichas caracterizaciones en las regiones centro-sur, y se han generado información de poblaciones de maíz en los estados de Puebla, Tabasco, Chiapas y Oaxaca, por mencionar algunos. Aunque recientemente en el estado de Tamaulipas se realizaron estudios para caracterizar morfológica y agronómicas con el fin de ampliar y actualizar la información que se tiene (González-Martínez *et al.*, 2020).

San Luis Potosí cuenta con distintos ambientes contrastantes entre sí por lo que le ha permitido que se considere como un lugar con potencial para la variabilidad genética del maíz, además de considerarse como una ruta de migración de esta diversidad características morfológicas del cultivo de maíz hacia el norte del país. En el año 2009 se reportó la presencia de 12 razas en el estado y para el 2013 solo se identificaron 7 de ellas, Tuxpeño, Celaya, Ratón, Olotillo, Elotes Occidentales, Cónico Norteño y Tuxpeño Norteño (Ortega *et al.*, 2013). Con el fin de ampliar los conocimientos de la variación de las características y actualizar la información que se tiene del estado acerca de las poblaciones de maíz es importante realizar nuevas evaluaciones.

Eficiencia Fotosintética

El desarrollo óptimo de un cultivo se obtiene a condiciones normalmente específicas. Por lo tanto, existen diferentes factores que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como, los factores bióticos y abióticos. Así mismo, cuando los cultivos son sometidos a algún estrés debido a las condiciones ambientales desarrollan diversos mecanismos para tolerancia. Por lo anterior, el cierre estomático es una de las primeras respuestas de la planta cuando es sometida a estrés lo que provoca una disminución de la fijación de CO₂ que bajo situaciones de luminosidad puede generar sobreexcitación de los centros de reacción del fotosistema II (PSII) (Ahmed *et al.*, 2009).

La energía lumínica obtenida por la molécula de clorofila puede emplearse de tres maneras: en la fotosíntesis, disipada como calor y reemitida como luz (fluorescencia

de la clorofila). Particularmente, la emisión de la fluorescencia del PSII es una vía minoritaria, debido a que compite con dos vías más importantes no fotoquímicas. Por lo que la alteración en cualquiera de estas vías de emisión de energía, provoca cambios en el rendimiento de fluorescencia de las clorofilas del PSII (Hichem *et al.*, 2009).

La eficiencia fotosintética, es que tan eficaz los electrones son procesados en la fotosíntesis por cantidad de luz absorbida y se expresa como la relación de F_v/F_m , donde F_v es fluorescencia variable y F_m es fluorescencia máxima de la plana adaptada a condiciones de luz y puede ser cuantificada en el PSII. Así mismo, la disminución en la relación de F_v/F_m muestra una reducción de la eficiencia fotoquímica del PSII y un daño en el aparato fotosintético lo que nos indica un estrés hídrico, debido a que provoca una disminución en la capacidad fotosintética global, por lo tanto, la medición de la fluorescencia emitida por las hojas de las plantas es una técnica útil cuando se requiere obtener información sobre la fotosíntesis y evaluar el estado fisiológico de la planta (Jiménez-Suancha *et al.*, 2015).

La medición de la fluorescencia es una técnica no destructiva y ampliamente utilizada para evaluar la respuesta de las plantas en condiciones de estrés hídrico, la relación de la eficiencia fotosintética y rendimiento de grano, el efecto de las altas temperaturas, etc. La medición se realiza en las primeras hojas del cultivo de la parte superior con apoyo de un MINI-PAM-II, con este equipo se aplicará un pulso de luz a las hojas para la detención de la clorofila, para registrar variables de tasa de transporte de electrones (ETR) y quenching no fotoquímico (NPQ). El valor del PSII bajo condiciones óptimas para varias especies de plantas oscila en 0.832 y en plantas dañadas o estresadas comienzan a disminuir (Ashghizadeh y Ehsanzadep 2008; Gilson, 2008).

Interacción Genotipo X Ambiente

El crecimiento y desarrollo de las plantas se propician en condiciones edafológicas y atmosféricas, al conjunto de estos factores como suelo, temperatura, lluvia es considerado un ambiente, también se le denomina espacio físico conformado por factores bióticos y abióticos que actúan sobre la semilla y es capaz de modificar el

genotipo (Ponce, 2001; Aguirre y García, 2012). Por otra parte, se entiende que genotipo es el conjunto de genes de un organismo, la información que heredan los padres a los hijos y no se puede ver de manera visual sino por medio de técnicas muy complejas. Mientras tanto, las características visibles, la apariencia del organismo, se consideran como parte del fenotipo (Aguirre y García 2012; Londoño, 2017).

Partiendo del marco anterior, se puede definir que la interacción genotipo x ambiente es las manifestaciones de diferentes características que expresa la semilla al someterlo en distintas condiciones. Dicho en otras palabras, el genotipo al ser expuesto a varios ambientes nos da como resultado características visibles de la planta; altura, forma, color, tamaño, número de hojas, rendimiento, etc. Ahora bien, para analizar el fenotipo relacionadas con las diferentes interacciones con el ambiente, se emplea un modelo básico que se denota a continuación:

$$P = G + E + GE$$

Donde: P = Fenotipo, G = Genotipo, E = Ambiente y GE = Interacción Genotipo x Ambiente. Por consiguiente, del modelo anterior podemos interpretar que para un genotipo “X” hay distintos fenotipos dependiendo del ambiente y su interacción con el mismo (Lozano, 2014; Frutos, 2011). Cabe señalar que, Lozano-Ramírez *et al.* (2015) demuestran la importancia de estas interacciones, remarcando que si estas no existieran el cultivo “X” sería capaz de proporcionar los mismos datos al someterlo a diferentes ambientes.

Por consiguiente, se señala que para disminuir los errores en la selección de materiales para mejoramiento es necesario realizar experimentos con repeticiones tanto en tiempo como en espacio, lo cual nos puede conducir al encuentro de un genotipo estable en alguna característica cuantitativa, para el caso del maíz la característica de interés es el rendimiento de grano (Orona *et al.*, 2013; Fierros *et al.*, 2016).

Por esa razón, se han realizado múltiples estudios para encontrar materiales cercanos al genotipo ideal. Durante 2002 al 2005 se evaluaron 13 híbridos comerciales en el área de Sampacho, Córdoba, Argentina. Mediante el análisis de los datos por medio del modelo de regresión en los sitios (SREG) encontraron cuatro materiales; AW190MG,

DK700, 32F07 y DK747, con rendimientos superiores a 12 ton ha⁻¹. Además de considerar a DK700 el genotipo ideal del área de Sampacho (Ibañez *et al.*, 2006).

Por otro lado, en Ghana debido a la importancia del cultivo del maíz y a su baja productividad (1.7 ton ha⁻¹), se llevó a cabo una evaluación de rendimiento y estabilidad de 45 híbridos de cruce simple bajo condiciones de temporal en tres localidades, las cuales fueron seleccionadas de tal manera que contribuyeran a la expresión de la variabilidad genética. Este análisis llevo a identificar cuatro materiales de alto rendimiento; TZEEI 78 x TZEEI 66, TZEEI64 x TZEEI 64, TZEEI 66 x TZEEI 64 y TZEEI 94 x TZEEI 76, de los cuales, TZEEI 78 x TZEEI 66 se posicionó como el más estable y se propuso seguir con los estudios para liberarlo comercialmente (Owusu *et al.*, 2018).

A su vez, Seyoum *et al.* (2019) debido a la variabilidad de las precipitaciones en Etiopía, decidieron cuantificar las interacciones de 10 genotipos en 7 ambientes diferenciados por precipitación y temperatura, agregando una tercera interacción, manejo de distintas densidades de siembra, este estudio demostró que, en comparación al híbrido que sembraban los agricultores, BH-540, el rendimiento de TH13321 en la misma densidad de siembra (7 plantas m⁻²) fue superior en un 48% (3.7 t ha⁻¹).

Particularmente, en México se han realizado estudios para la evaluar la estabilidad de materiales híbridos de maíz para poder tener un mejor programa de fitomejoramiento. Tal fue el caso de la evaluación de 29 híbridos blancos en 15 ambientes de América tropical bajo un diseño alfa-látice, y los resultados fueron modelados por AMMI y SREG con el modelo de factores analíticos (FA) con el fin de estudiar las interacciones y permitir las agrupaciones de ambientes y genotipos. El análisis AMMI mostro que una localidad de Guatemala, una de México y otra de Nicaragua tenían las mayores interacciones y definió un híbrido estable. Por otro lado, el método SREG FA fue capaz de identificar cuatro subgrupos y agrupó ambientes de diferentes países con características similares (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

Por otro lado, es sabido la raza tuxpeña se destaca por su amplia adaptación y buen rendimiento, por lo que la hace uno de los materiales más utilizados en los programas de mejoramiento. Por esta razón, se llevó a cabo un estudio de interacción genotipo x ambiente sobre el rendimiento y características del grano, los materiales fueron la

población original y los ciclos 14 y 19 de selección masal visual. No obstante, mediante la utilización del modelo AMMI se encontró que el material con mejor estabilidad y rendimiento fue el ciclo 19 (López-Morales *et al.*, 2017).

Asimismo, bajo la premisa de que Chiapas es uno de los estados con mayor diversidad genética del maíz, Martínez-Sánchez *et al.* (2018) evaluaron 19 poblaciones provenientes de localidades con problemas de sequía, bajo 6 ambientes. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza combinado, mientras que el rendimiento se modeló con SREG, localizando a la población Tuxpeño 32 estable con potencial para responder a condiciones de sequía intraestival (Martínez-Sánchez *et al.*, 2018).

Basado en los argumentos anteriores, el presente trabajo expone la investigación de interacción genotipo x ambiente realizado en dos localidades del estado de San Luis Potosí con 55 poblaciones del estado ya mencionado con el fin de encontrar un material estable basados en el rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación Geográfica del Experimento

Las parcelas experimentales fueron establecidas durante el ciclo primavera-verano 2021, en la zona centro se estableció en la localidad de Soledad de Graciano Sánchez en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (FAyV), mientras que en la zona altiplano se estableció en la localidad de Los Cerritos municipio de Ahualulco (Cuadro 1). Teniendo así un total de dos ambientes de producción.

Cuadro 1. Localidades de evaluación de 19 poblaciones de maíz nativo.

Localidad	Municipio	Altitud (msnm)	Lat. N	Long O	Temp (°C)	PP (mm)	Fecha de siembra
FAyV	Soledad de Graciano Sánchez	1835	22°13'48"	100°51'22"	17.1	238	14 de mayo
Los Cerritos	Ahualulco	2023	22°38'00"	101°13'33"	19	375	11 de junio

Material Genético

En el año 2019 el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, obtuvo 132 accesiones de poblaciones de maíces del estado, proporcionadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Durante el ciclo primavera-verano 2020 se realizó la multiplicación de semillas de dichas poblaciones, de las cuales se utilizaron 55 poblaciones, por disponibilidad de semillas, para la evaluación. De dos poblaciones no se tenían ningún registro solo se conoce que fueron proporcionada por algunos agricultores al laboratorio, de las accesiones proporcionadas por el CIMMYT 46 poblaciones son originarias de San Luis Potosí, dos de la zona centro, 23 de la zona media, 14 de la zona huasteca y 7 de la zona del altiplano, las nueve poblaciones restantes son originarias de otro estado (cuadro 2).

Cuadro 2. Información de las 55 poblaciones de maíz.

No	Población	Origen	Región	Altitud (msnm)	Raza
1	1	-	-	-	-
2	5	-	-	-	-
3	423	Ciudad del maíz	Media	1250	Tuxpeña, Cónico
4	424	Río Verde	Media	1010	Tuxpeño
5	425	Estación Villar	Media	1400 – 1524	Tuxpeño
6	426	Villa de Pozos	Centro	1890 – 1900	Tuxpeño, Olotillo
7	427	El Charco	Media	1300	Olotillo, Tuxpeño
8	428	San José de Gallinas	Media	1100 – 1120	Olotillo, Tuxpeño
9	429	San Ciro	Media	980	Tuxpeño
10	430	Rayón y Obregón	Media	1155	Tuxpeño
11	432	Tampacán	Huasteca	200 – 305	Olotillo
12	433	Xilitla	Huasteca	800 – 810	Olotillo, Tuxpeño
13	438	Xilitla	Huasteca	580	Celaya, Tuxpeño
14	440	San José de Gallinas	Media	1698	Cónico norteño
15	443	Coxcatlán	Huasteca	244 - 300	Tuxpeño, Olotillo
16	655	Xilitla	Huasteca	800 - 1037	Tuxpeño, Olotillo
17	658	Xilitla	Huasteca	700	Tuxpeño
18	665	Ciudad del Maíz	Media	1250	Celaya, Cónico norteño
19	666	Charcas y Venado	Altiplano		Celaya, Nal-tel
20	667	Rayón y Obregón	Media		Celaya, Tuxpeño
21	2290	San José de Gallinas	Media	1100 - 1120	Tuxpeño
22	2292	Rayón y Obregón	Media	1155	Tuxpeño
23	2299	Tamazunchale	Huasteca	210	Tuxpeño, Olotillo

Cuadro 2. Continuación

No	Población	Origen	Región	Altitud (msnm)	Raza
24	2304	Villa de Reyes	Centro	1700 – 2000	Cónico norteño
25	2305	Cárdenas y Potrero	Media	1200	Tabloncillo, Tuxpeño
26	2538	Xilitla	Huasteca	1037 - 800	Tuxpeño
27	5479	Tampacán	Huasteca	200 – 310	Tuxpeño, Olotillo
28	5480	Axtla de Terrazas	Huasteca	150	Tuxpeño, Olotillo
29	9927	Xilitla	Huasteca	800	Tuxpeño
30	15938	Venado	Altiplano	1790 – 1800	Celaya, Cónico norteño
31	16416	Ciudad Fernández	Media	997	Tuxpeño
32	16417	Ciudad Fernández	Media	997	-
33	17894	Ciudad de Maíz y la Rinconada	Media	1233	Tuxpeño, Norteño
34	17895	Tamazunchale	Huasteca	200	Tuxpeño
35	18565	Ciudad Fernández	Media	1000	Celaya, Tuxpeño
36	19669	Morelos	-	940	-
37	19670	Morelos	-	940	-
38	19672	Morelos	-	940	-
39	19855	Rayón	Media	963	Tuxpeño
40	19889	Cedral	Altiplano	1698	Cónico norteño
41	19957	Cárdenas	Media	1220	Tuxpeño
42	20347	Río Verde	Media	1000 - 1080	Tuxpeño, Celaya
43	21201	Cedral	Altiplano	1714	
44	21342	Cedral	Altiplano	1714	Tuxpeño, ratón
45	21343	México	-	-	Ratón, Tuxpeño
46	23624	Rayón	Media	850	Cónico, Tuxpeño, Celaya

Cuadro 2. Continuación

No	Población	Origen	Región	Altitud (msnm)	Raza
47	23627	Tampacán	Huasteca	200 – 310	Tuxpeño, Dzit-Bacal
48	23640	Cárdenas	Media	1200	Tuxpeño
49	23677	Rayón	Media	1100	Tuxpeño
50	24005	Venado	Altiplano	1800 - 1900	-
51	24795	Xilitla	Huasteca	800 – 900	Tuxpeño, Olotillo
52	26091	México	-	-	-
53	26100	México	-	-	Tuxpeño
54	27017	Salinas	Altiplano	2100	-
55	29434	México		200	Tuxpeño, Olotillo

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Los tratamientos fueron las 55 poblaciones de maíz seleccionadas. La unidad experimental consistió en dos surcos de 5.0 m de longitud y 0.8 m de ancho, teniendo, con una población final de 44 plantas, que corresponden a una densidad de 50 000 plantas/ha.

Manejo Agronómico

Para el presente trabajo, el proceso de siembra de los ensayos se realizó el 14 de mayo y 11 de junio del 2021, respectivamente para FAyV y Los Cerritos. Además, durante la siembra se colocaron por cada punto cuatro semillas, de esta manera asegurar la emergencia, sin embargo, 15 días posterior a la siembra se realizó un raleo para dejar dos ejemplares por punto. Dentro del diseño, se estableció que la distancia entre puntos sea de 0.50 m y 0.80 m entre surco. Cabe señalar que la evaluación de este proyecto se llevó a cabo bajo condiciones de temporal.

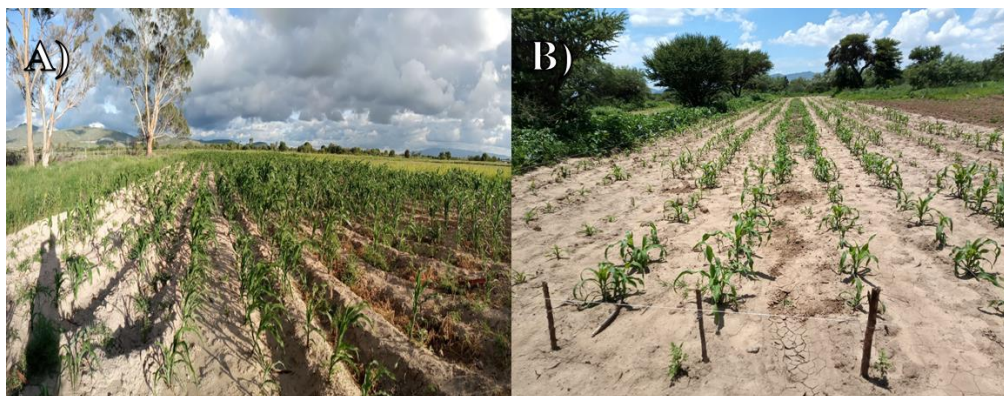


Figura 1. Parcelas experimentales. A) Localidad de FAyV, B) Localidad de Los Cerritos.

La fertilización es parte importante para las plantas, ya que requieren de nutrientes que el suelo no puede solventar. Por esa razón, se aplican dos fertilizaciones al cultivo del maíz, las dosis de fertilizante recomendadas por el INIFAP para las localidades son de 140-60-00. Es preciso señalar, que la primera fertilización se realizó 15 días después de la siembra (dds) correspondiendo al 50% de nitrógeno y 100% de fosforo de la dosis antes mencionada. Así mismo, 40 dds se realizó la segunda aplicación con el 50% de nitrógeno restante. Dichas fertilizaciones se aplicaron a una distancia de 10 cm de la plántula y fue enterrado a 5 cm de profundidad, mientras el suelo estaba húmedo, de esta manera, las plantas tienen un mejor aprovechamiento del fertilizante, evitando que se evapore o se pierda por el agua de la lluvia. Por otro lado, dentro de las necesidades básicas de nutrientes del maíz es el nitrógeno, el fosforo y potasio, pero al considerar que los suelos de San Luis Potosí tienen disponibilidad de potasio (Charcas-Salazar *et al.*, 2012) solo se consideró aplicar los dos primeros nutrientes, por ello, las fuentes de nutrientes que se aplicaron fueron UREA y DAP. También, se realizó un control de maleza previo a la siembra con Atrazina y Elumis a razón de 1 l ha⁻¹, y a los 45 dds se aplicó cipermetrina (1 l ha⁻¹) para prevenir daños por gusano cogollero.

Variables de Estudio

En la localidad de Los Cerritos se registraron las características para la evaluación morfológica, basados en los criterios de los descriptores para maíz del International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR, 1991), de la siguiente manera:

Floración: se contaron los días desde la siembra hasta que la unidad experimental presente el 50% de las espigas liberando polen para días a floración masculina (DFM), en cuanto a días a floración femenina (DFF) se contaron los días desde la siembra hasta que la unidad experimental presentara el 50% de plantas con estigmas.

Altura de planta (ALP) y de mazorca (ALM): con apoyo de un estadal se midió después de la floración, desde la base del tallo hasta el ápice de la espiga, para la segunda se midió desde la base hasta el nudo donde se insertaba la mazorca principal

Componentes de rendimiento: Para cuantificar esta variable, se seleccionaron 5 mazorcas, se utilizó una regla graduada en centímetros para medir la longitud de cada mazorca (LMZ) de la base hasta la punta, el diámetro de mazorca (DMZ) se mide en la parte media, utilizando un vernier, por último se cuantificó los número de hileras por mazorca (#HMZ), granos por hilera (#GXH), y el número de granos por mazorca (#GXM) se determinó por el producto #HMZ x #GXH.

Rendimiento de grano: se estimó cosechando la unidad experimental utilizando el modelo que plantean Espinosa *et al.*, (2018), descrito a continuación:

$$REND \left(\frac{kg}{ha} \text{ al } 12\% \text{ de humedad} \right) = (PC \text{ Ajustado})(\% \text{ Grano})(F \text{ Hum})(FC \text{ ha})$$

Donde:

- PC Ajustado = peso ajustado por la fórmula de IOWA. Una vez que se cosechó la unidad experimental, se pesó el total de las mazorcas cosechadas, también se utilizó el número de fallas (diferencia entre el número real de plantas y el número de plantas de la unidad).

- $PC \text{ Ajustado} = \text{peso de campo} \left[1 + \left(\frac{\text{No de fallas}}{\text{No de plantas reales}} \right)^{0.33} \right]$
- % Grano = porcentaje de grano, para cuantificar esta variable, se utilizaron 5 mazorcas por unidad y se pesaron, posteriormente se procede a desgranarse y se pesan nuevamente solamente los grano
 - $\% \text{ Grano} = \frac{\text{Peso de grano de 5 mazorcas (g)}}{\text{peso de 5 mazorcas}} \times 100$
- F Hum = factor de humedad, se utilizó un instrumento para detectar la de humedad de los granos, este equipo proporciona un dato que posteriormente se utiliza en la siguiente ecuación.
 - $F \text{ Hum} = \frac{100 - \text{humedad de grano}}{100 - 12\%}$

**El 12% es el porcentaje requerido del maíz para su comercialización.
- FC ha = factor de conversión a hectárea, no es otra cosa más que la división una hectárea en m² denominado superficie total, entre la superficie cosechada de cada unidad
 - $FA \text{ ha} = \frac{10,000m^2}{\text{Superficie cosechada } m^2}$

Eficiencia fotosintética: con apoyo del equipo portátil MINI-PAM-II se determinó en la etapa de floración en la segunda hoja después de la hoja bandera, además que se tomaron dos mediciones, una nocturna (PSII Noc) y otra diurna (PSI Diu)

Análisis Estadístico

El análisis estadístico es fundamental para estos estudios, ya que los resultados proporcionados por estos análisis determinaran las diferentes interacciones ambientales y morfológicas, entre otros. Para este estudio se realizaron dos tipos de análisis estadístico, un análisis estadístico de varianza de bloques al azar y un segundo análisis de varianza combinado. El análisis de varianza de bloques al azar se utilizó para el comportamiento morfológico de las poblaciones y se implementaron para la localidad de Los cerritos,

debido a que, en esta parcela experimental, las poblaciones tuvieron una mejor expresión de sus características morfológicas. Mientras que, el análisis de varianza combinado se utilizó para el comportamiento de los genotipos en los diferentes ambientes, mediante el siguiente modelo (Martínez-Sánchez *et al.*, 2018):

$$y_{ijpl} = \mu + r_{p(j)} + \beta_{l(pj)} + \tau_i + \delta_j + (\tau\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijpl}$$

Donde:

y_{ijpl} = comportamiento medio del genotipo i en ambiente j en la repetición p en el bloque l

μ = media general

$r_{p(j)}$ = efecto de la repetición p dentro del ambiente j

$\beta_{l(pj)}$ = efecto del bloque l dentro de la repetición p en el ambiente j

τ_i = efecto del i-ésimo genotipo

δ_j = efecto del j-ésimo ambiente

$(\tau\delta)_{ij}$ = efecto interacción (G x A) del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente

ε_{ijpl} = error aleatorio no observable que se asume homogéneo con distribuciones normales e independientes (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

El análisis de varianza se corrió con el sistema SAS (SAS, 2000) aplicando la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

Para estimar el efecto del genotipo combinado con la interacción de género, se utilizó el modelo de SREG, el cual considera al aditivo de genotipo anidado al ambiente, como un efecto fijo, pero con términos multiplicativos utilizando el modelo lineal siguiente (Frutos, 2011):

$$y_{ijpl} = \mu + r_{p(j)} + \beta_{l(pj)} + \delta_j + \sum_{n=1}^t \lambda_n \alpha_{in} \gamma_{jn} + \varepsilon_{ijpl}$$

Donde:

λ_n = valor singular para el componente; α_{in} = vectores propios asociados con los genotipos para cada componente principal; γ_{jn} = vectores propios asociados con los ambientes para cada componente (Lozano-Ramírez *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Morfológica

Se encontró diferencias significativas ($P < 0.01$) entre las poblaciones para todas las variables morfológicas evaluadas y para los bloques solo hubo diferencia significativa en número de granos por hilera (Cuadro3).

Cuadro 3. Cuadrados medios de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.

Variable	Fuentes de variación		Cuadrado medio del error	C.V. (%)
	Población	Bloque		
DFM (dds)	95.03 ^{**}	3.63	9.61	3.27
DFE (dds)	92.15 ^{**}	1.30	11.99	3.53
ALP (cm)	1610.31 ^{**}	4.00	818.58	13.02
ALM (cm)	837.01 ^{**}	1.30	383.75	20.69
LMZ (cm)	6.11 ^{**}	0.80	1.80	9.23
DMZ (cm)	0.194 ^{**}	0.01	0.05	5.93
#HMZ	3.69 ^{**}	2.04	0.76	7.66
# GXH	36.99 ^{**}	25.53	9.12	9.40
# GXM	7403.97 ^{**}	8892.00 [*]	2094.12	12.50
REN (t/ha)	1.46 ^{**}	0.007	0.37	23.44

C.V.=coeficiente de variación, * y ** significativo a nivel de $P < 0.05$ y $P < 0.01$, respectivamente.

La expresión de la variabilidad morfológica de las 55 poblaciones se puede apreciar en el Cuadro 4, los días a floración masculina y femenina osciló entre los 128 a 86 días y 130 a 90 días, respectivamente. En muchas localidades donde se realizan siembras a temporal con poblaciones nativas de maíz procuran conservar maíces con diferencias en la floración con el fin de tener opciones de siembra (Muños, 2003).

Las poblaciones 426, 2304 y 21343 presentaron sincronía floral, a 99, 98 y 90 dds respectivamente, la sincronía floral es deseable debido a que asegura la fecundación y la formación de grano (Luna y Gutiérrez, 2000; Contreras-Molina *et al.*, 2016). La altura de planta y de mazorca se encontró entre 274 a 160 y 144.5 a 60.5 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 podrían ser una opción para enfrentar los ambientes con problemas de estrés por sequía debido a que su requerimiento hídrico sería menor para su desarrollo (Ramírez, 2013; Martínez-Sánchez *et al.*, 2017).

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 4.65 a 3.32, 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, conocer estos rasgos es importante debido al efecto que tienen sobre el rendimiento (Sah *et al.*, 2020)

Cuadro 4. Características agronómicas y rendimiento de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.

POB	DFM (dds)	DFE (dds)	ALP (cm)	ALM (cm)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	# HMZ	# GXH	# GXM	REN (t/ha)
1	91	94	160.0	60.5	11.6	4.49	14	24	319	2.16
5	99	102	274.0	144.5	16.0	4.41	11	33	353	4.00
423	97	102	199.0	82.0	12.6	3.82	11	27	293	2.31
424	92	96	216.5	84.0	13.0	4.23	13	29	379	2.57
425	93	95	179.0	67.5	13.5	4.38	14	31	405	2.31
426	99	99	201.0	77.0	16.1	3.59	8	35	281	3.60
427	99	101	250.0	106.5	16.1	3.90	11	31	324	3.16
428	118	119	171.5	72.5	13.7	4.06	10	28	269	1.73
429	96	100	218.0	97.0	13.8	4.25	13	33	424	3.14
430	96	101	244.0	102.5	16.1	4.25	11	36	409	2.96
432	98	103	236.5	123.5	14.8	3.66	10	34	311	2.82
433	91	94	204.0	85.5	14.8	3.32	9	31	273	3.57
438	94	97	225.5	100.0	16.7	4.47	13	36	452	3.68
440	90	100	247.0	119.5	16.0	3.94	10	36	353	3.33
443	128	130	235.0	109.5	14.1	3.79	10	35	359	0.97
655	98	106	250.5	122.5	14.1	3.68	12	32	392	1.48
658	91	95	224.0	106.5	14.7	3.65	10	36	355	1.87
665	90	92	203.5	76.0	15.0	4.08	13	35	443	3.59
666	99	97	198.5	68.5	12.4	3.82	12	28	332	2.04

Cuadro 4. Continuación

POB	DFM (dds)	DFE (dds)	ALP (cm)	ALM (cm)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	# HMZ	# GXH	# GXM	REN (t/ha)
667	97	102	231.0	106.0	12.2	4.37	13	28	362	2.02
2290	94	96	232.5	89.0	14.9	4.19	11	33	350	2.38
2292	100	103	257.5	117.5	15.2	4.46	12	34	409	4.59
2299	86	94	244.5	114.5	14.2	3.50	9	32	295	2.49
2304	98	98	248.5	95.5	15.0	4.59	12	31	353	3.01
2305	94	101	247.0	101.5	14.8	4.19	10	33	337	3.17
2538	96	100	215.5	83.0	12.6	4.10	11	27	297	2.32
5479	89	93	180.0	81.0	14.5	3.80	12	34	369	2.74
5480	103	108	229.5	100.5	15.5	3.62	11	31	320	2.71
9927	97	101	252.0	111.5	16.5	3.91	12	36	420	2.48
15938	92	94	200.5	91.5	10.9	3.92	11	25	276	1.39
16416	89	92	259.0	125.5	14.4	4.22	12	30	357	3.34
16417	89	90	186.0	71.0	12.6	4.32	12	27	308	0.75
17894	91	98	273.5	140.5	19.2	4.65	12	42	509	3.52
17895	95	102	232.5	101.5	14.6	3.71	11	36	382	2.37
18565	87	90	166.0	60.0	14.3	4.08	12	32	362	2.75
19669	93	93	174.0	62.0	14.5	4.41	15	33	481	2.48
19670	97	102	237.5	96.0	13.5	4.32	16	29	437	2.54
19672	90	94	227.5	100.0	12.9	3.72	12	30	358	1.29
19855	92	98	189.5	66.5	16.5	4.09	12	36	408	3.17
19889	87	90	218.5	88.5	11.3	4.12	13	26	335	2.42
19957	92	98	243.0	116.5	13.4	4.28	11	32	356	4.28
20347	95	100	231.5	113.5	14.4	3.59	11	29	314	1.77
21201	90	92	217.5	98.0	13.2	3.67	11	25	274	1.22
21342	91	92	177.5	60.5	13.4	3.88	13	32	418	2.73
21343	90	90	212.0	89.5	13.5	3.65	11	27	307	1.91
23624	105	106	254.0	106.5	13.5	4.14	13	27	347	3.04
23627	92	96	250.0	123.0	16.2	3.87	11	37	413	2.11
23640	89	95	194.0	77.0	18.2	4.34	12	39	454	2.59
23677	96	100	236.5	109.0	16.7	4.58	12	34	384	5.11
24005	96	98	208.0	79.0	16.7	4.12	11	40	435	2.53
24795	96	99	175.5	73.5	18.5	3.99	11	43	463	2.73
26091	92	93	209.5	75.0	15.0	4.03	13	34	429	2.17
26100	94	96	207.0	94.5	15.6	4.11	12	33	386	2.53
27017	97	100	198.0	87.0	12.7	4.16	10	25	252	2.27
29434	90	92	227.5	95.0	16.1	4.21	12	38	460	2.53
DMS 0.05	13.298	14.85	122.68	83.998	5.7678	1.0305	4	13	196	2.6432

DMS=diferencia mínima significativa

Variables Fisiológicas

En el cultivo de maíz la etapa inicial, el periodo de floración y llenado de grano son críticas para determinar el rendimiento de grano. Si durante el periodo de floración se presenta un estrés hídrico podría mermar el rendimiento. La evaluación de la eficiencia del PSII nos permite identificar si la planta es afectada por un estrés hídrico.

Por lo anterior, se observó diferencias ($P < 0.01$) en el comportamiento de PSII Noc y PSII Diu las poblaciones y en los bloques (Cuadro 5). El comportamiento oscilo para PSII Noc 0.9175 a 0.394 y en PSII Diu 0.6855 a 0.1415 (Cuadro 6), la diferencia en las mediciones en cuanto a los periodos tomados se debe a que durante el día la planta está expuesta a altas temperatura y la planta reacciona con los mecanismos de defesan provocando una disminución en el PSII y en cuanto se pasa a un periodo de oscuridad la planta se recupera dando como resultado el aumento en la eficiencia (Rincón-Tuexi *et al.*, 2006).

Las poblaciones 2290 y 5480 presentaron PSII por debajo de 0.6 (0.394 y 0.4815 respectivamente) considerando que Jiménez-Suancha *et al.* (2015) reportan que si los valores se encuentran por debajo son indicadores de un estrés hídrico. Por lo tanto, las dos poblaciones mencionadas se encuentran bajo estrés y podría verse reflejado en el rendimiento.

Cuadro 5. Cuadrados medios de la eficiencia fotosintética en de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.

Variable	Población	Bloque	Error	C.V. (%)
PSII Noc	0.016 ^{**}	0.03 [*]	0.008	11.31
PSII Diu	0.036 ^{**}	0.036 [*]	0.008	30.05

C.V.=coeficiente de variación, * y ** significativo a nivel de $P < 0.05$ y $P < 0.01$, respectivamente.

Cuadro 6. Medias de la Eficiencia fotosintética de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de Los Cerritos.

POB	PSII Noc	PSII Diu	POB	PSII Noc	PSII Diu	POB	PSII Noc	PSII Diu
1	0.637	0.252	667	0.7285	0.296	19855	0.8455	0.297
5	0.9175	0.335	2290	0.394	0.2785	19889	0.7915	0.1515
423	0.856	0.3215	2292	0.889	0.232	19957	0.8095	0.191
424	0.831	0.1945	2299	0.895	0.371	20347	0.7755	0.472
425	0.812	0.1415	2304	0.804	0.3445	21201	0.811	0.144
426	0.895	0.35	2305	0.8375	0.5155	21342	0.8005	0.34
427	0.825	0.202	2538	0.8005	0.215	21343	0.7945	0.373
428	0.8625	0.188	5479	0.8365	0.376	23624	0.837	0.256
429	0.815	0.5275	5480	0.4815	0.351	23627	0.817	0.26
430	0.824	0.6775	9927	0.815	0.1635	23640	0.83	0.4225
432	0.8175	0.483	15938	0.757	0.17	23677	0.8515	0.3065
433	0.804	0.346	16416	0.8225	0.203	24005	0.852	0.345
438	0.8125	0.2655	16417	0.829	0.1405	24795	0.8805	0.264
440	0.8115	0.16	17894	0.8915	0.281	26091	0.7675	0.312
443	0.846	0.2205	17895	0.9105	0.31	26100	0.901	0.33
655	0.8295	0.676	18565	0.843	0.221	27017	0.8505	0.1595
658	0.8175	0.273	19669	0.7475	0.6855	29434	0.8875	0.2285
665	0.8475	0.1275	19670	0.874	0.4445	DMS 0.05	0.394	0.387
666	0.6795	0.1485	19672	0.862	0.1775			

DMS=diferencia mínima significativa

Interacción Genotipo X Ambiente

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre los ambientes de evaluación (FAyV y Los Cerritos), las poblaciones (genotipos) y para la interacción ambientes x genotipos, para la variable del rendimiento, lo que indica que hay diversidad en genética entre las 55 poblaciones y variación en los dos ambientes (Cuadro 7).

Cuadro 7 Suma de cuadrados, cuadrados medios y significancia estadística del Rendimiento de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.

FV	S.C.	% EXPLICACIÓN	% ACUMULADO	C.M.
Ambientes	88.16	41.72	41.72	88.16**
Genotipo	76.64	36.27	77.99	1.41**
Ambientes Genotipo	46.49	22.00	100	0.86**

** Significativos a nivel de $P < 0.01$; C.M. = cuadrado medio; S.C = Suma de cuadrados

Para la variable de rendimiento en la interacción genotipo x ambiente en la prueba de Gollob podemos observar que el componente principal 1 (CP1) explica 68.73% de la variación mientras que el componente 2 (CP2) explica el 31.23%, nos permite una interpretación confiable de la interacción, ya que la suma de los valores está por arriba del 75% (Ledesma-Ramírez *et al.*, 2012) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia de la prueba de Gollob, para los componentes del modelo SRGE de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos.

FV	S.C.	% EXPLICACIÓN	% ACUMULADO	C.M.
CP1	84.68	68.76	68.76	1.56**
CP2	38.46	31.23	100	0.73**

** Significativos a nivel de $P < 0.01$; C.M. = cuadrado medio; S.C = Suma de cuadrados

En el Cuadro 9 se puede apreciar el rendimiento de las 55 poblaciones estudiadas en los dos ambientes. Se puede observar que para la localidad de FAyV el rendimiento promedio es de 1.5 t ha⁻¹ mientras que para Los Cerritos es de 2.73 t ha⁻¹, siendo esta última la localidad con la mejor respuesta en rendimiento.

El CP1 se encuentra correlacionado con el genotipo y representa la parte del rendimiento que es afectado por las características del genotipo, mientras que para el CP2 expresa la parte del rendimiento que se debe a la interacción del genotipo x ambiente de las poblaciones a través de los ambiente debido a la interacción (Martínez-Sánchez *et al.*, 2017).

Si el CP2 presente los valores más bajos nos indica que la población tiene menor interacción (Yan *et al.*, 2000), tal es el caso de las poblaciones 5 (3.01 t ha⁻¹), 665 (2.85 t ha⁻¹) y 438 (2.15 t ha⁻¹) con -0.070, -0.175 y -0.275 respectivamente y presentan rendimientos arriba del 2.1 t ha⁻¹, el origen de estas poblaciones se encuentra en la zona media del estado, lugar donde la precipitación promedio es de 500 mm anuales y considerando que 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⁻¹ y para Los Cerritos fue 23677 con 5.11 t ha⁻¹, ambas con origen en la zona media. Martínez-Sánchez *et al.* (2017), reportaron que el uso del modelo de SREG es eficiente para estudiar las interacciones y estabilidad.

Cuadro 9. Promedio del rendimiento de grano (t ha⁻¹) de 55 poblaciones de maíz nativo de San Luis Potosí en la localidad de los Cerritos y valores de las coordenadas de los dos primeros componentes principales.

POB	AMBIENTE		PROMEDIO	SREG	
	FAyV	LOS CERRITOS		CP1	CP2
1	1.18	2.16	1.67	-0.200	0.003
5	2.03	4.00	3.01	0.596	-0.070
423	3.15	2.31	2.73	0.128	-0.859
424	0.54	2.57	1.55	-0.137	0.362
425	1.18	2.31	1.74	-0.145	0.028
426	1.63	3.60	2.61	0.395	0.044
427	1.08	3.16	2.12	0.155	0.218
428	2.58	1.73	2.15	-0.167	-0.700
429	1.69	3.14	2.41	0.233	-0.060
430	1.06	2.96	2.01	0.080	0.194
432	1.70	2.82	2.26	0.115	-0.119
433	1.49	3.57	2.53	0.364	0.099
438	2.36	3.68	3.02	0.524	-0.275
440	1.15	3.33	2.24	0.230	0.215
443	1.18	0.97	1.07	-0.639	-0.193
655	1.23	1.48	1.35	-0.445	-0.133

Cuadro 9. Continuación

POB	AMBIENTE		PROMEDIO	SREG	
	FAyV	LOS CERRITOS		CP1	CP2
658	1.21	1.87	1.54	-0.302	-0.056
665	2.11	3.59	2.85	0.456	-0.175
666	0.99	2.04	1.51	-0.270	0.072
667	1.83	2.02	1.92	-0.163	-0.311
2290	0.68	2.38	1.53	-0.186	0.266
2292	1.58	4.59	3.09	0.755	0.230
2299	1.36	2.49	1.93	-0.052	-0.022
2304	2.57	3.01	2.79	0.304	-0.479
2305	2.05	3.17	2.61	0.292	-0.218
2538	0.52	2.32	1.42	-0.230	0.328
5479	1.11	2.74	1.93	0.007	0.132
5480	0.72	2.71	1.71	-0.061	0.305
9927	1.72	2.48	2.10	-0.008	-0.187
15938	0.40	1.39	0.89	-0.591	0.229
16416	0.83	3.34	2.09	0.190	0.359
16417	0.95	0.75	0.85	-0.752	-0.126
17894	0.75	3.52	2.13	0.243	0.426
17895	2.47	2.37	2.42	0.055	-0.543
18565	1.21	2.75	1.98	0.024	0.089
19669	0.99	2.48	1.73	-0.109	0.144
19670	0.47	2.54	1.50	-0.156	0.390
19672	1.32	1.29	1.30	-0.503	-0.206
19855	2.56	3.17	2.86	0.362	-0.448
19889	1.25	2.42	1.84	-0.093	0.016
19957	1.17	4.28	2.72	0.583	0.362
20347	1.02	1.77	1.39	-0.367	0.012
21201	0.79	1.22	1.00	-0.600	0.025
21342	1.33	2.69	2.01	0.018	0.025
21343	1.68	1.91	1.80	-0.222	-0.263
23624	1.01	3.04	2.03	0.104	0.228
23627	0.53	2.11	1.32	-0.306	0.288
23640	0.66	2.59	1.62	-0.111	0.312
23677	1.96	5.11	3.54	1.000	0.146
24005	0.89	2.53	1.71	-0.102	0.199
24795	0.88	2.73	1.80	-0.031	0.236
26091	1.05	2.17	1.61	-0.213	0.064
26100	2.58	2.53	2.55	0.130	-0.563
27017	1.01	2.27	1.64	-0.183	0.098
29434	1.64	2.53	2.08	-0.001	-0.140
Promedio	1.50	2.73	2.12		
CP1	1.36245455	0.37107359	-0.8209212		
CP2	2.62854545	1	0.30462218		

En la Figura 1 se presenta la gráfica del patrón which-won-where (quién fue el mejor y en dónde), que construye un polígono usando como vértices las poblaciones que se encuentran 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 x ambiente, considerando también que si dichas vértices tienen el mayor rendimiento (Frutos, 2011) podemos ubicar las poblaciones con los mejores rendimientos en cada ambiente, para Los Cerritos fueron la poblaciones 19957, 2292 y 23677 con 4.28, 3.09 y 5.11 t ha⁻¹, para la FAYV la población 423 fue la que mejor se comportó con 2.03ha⁻¹.

Por la posición de los vectores se pueden formar dos grupos el primero se localiza FAYV donde se registró los rendimientos mas bajo de las 55 poblaciones en comparación con Los cerritos presentó los rendimientos más altos.

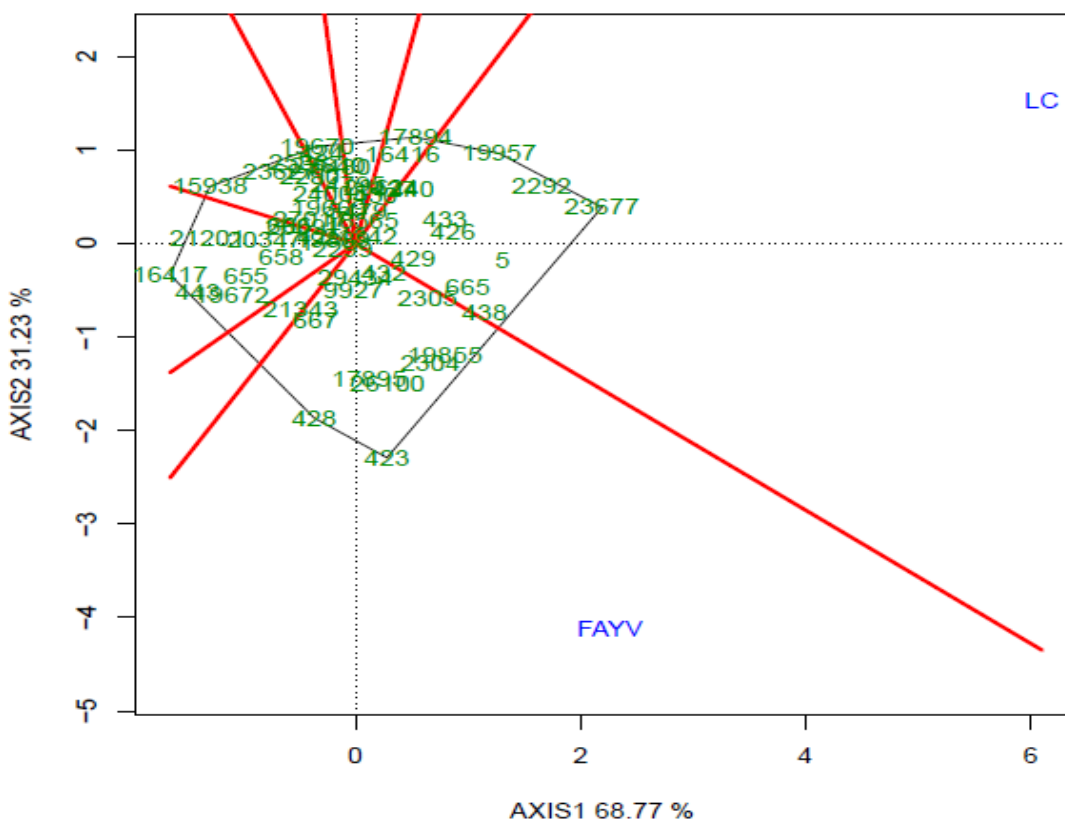


Figura 2. Gráfica GGE Biplot (SREG) donde se modela el patrón which-won-where.

Se realizó el segundo gráfico (Figura 3) para evaluar el promedio versus estabilidad, se representa el promedio del rendimiento como la media de las coordenadas de los ambientes la cual es representada por una pequeña circunferencia. La estabilidad de las poblaciones 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 podemos ubicar que las poblaciones 423 y 428 tienen el vector más largo por ende son las que tienen mayor interacción, por otro 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 su rendimiento está tan solo un poco arriba del promedio. Arellano *et al.* (2014) encontró que de las 25 variedades de maíz nativo de color azul evaluadas bajo interacción, habían algunas que presentaban una 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 por otra parte Martínez-Sánchez (2017) de las 19 poblaciones que evaluaron dos poblaciones con la mejor estabilidad pero los rendimientos registrados fueron muy similares al promedio general.

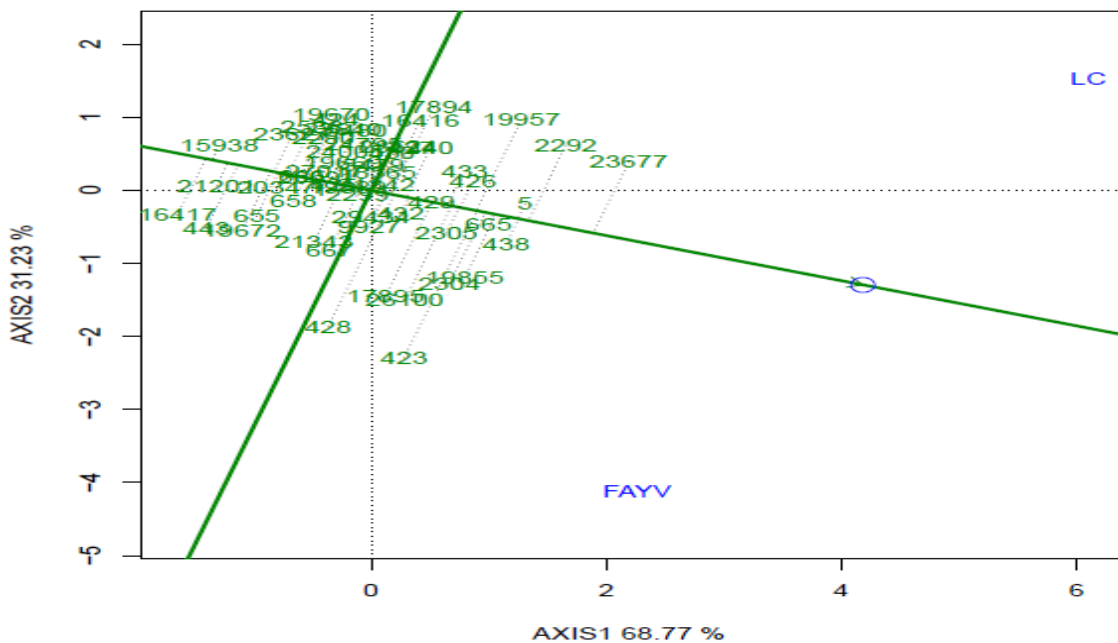


Figura 3. Grafica GGE Biplot (SREG) rendimiento medio y estabilidad de los genotipos para las 55 poblaciones de maíces nativos evaluados en dos ambientes.

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 4 del genotipo ideal se representa con un punto absolutamente estable y los círculos concéntricos con el genotipo ideal en el centro nos permite visualizar la distancia que hay entre las poblaciones y el ideal (Frutos, 2011). Las tres poblaciones que se visualizan más cercanas al ideal son 5, 665 y 438 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 tuxpeña y López-Morales *et al.* (2017) 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.

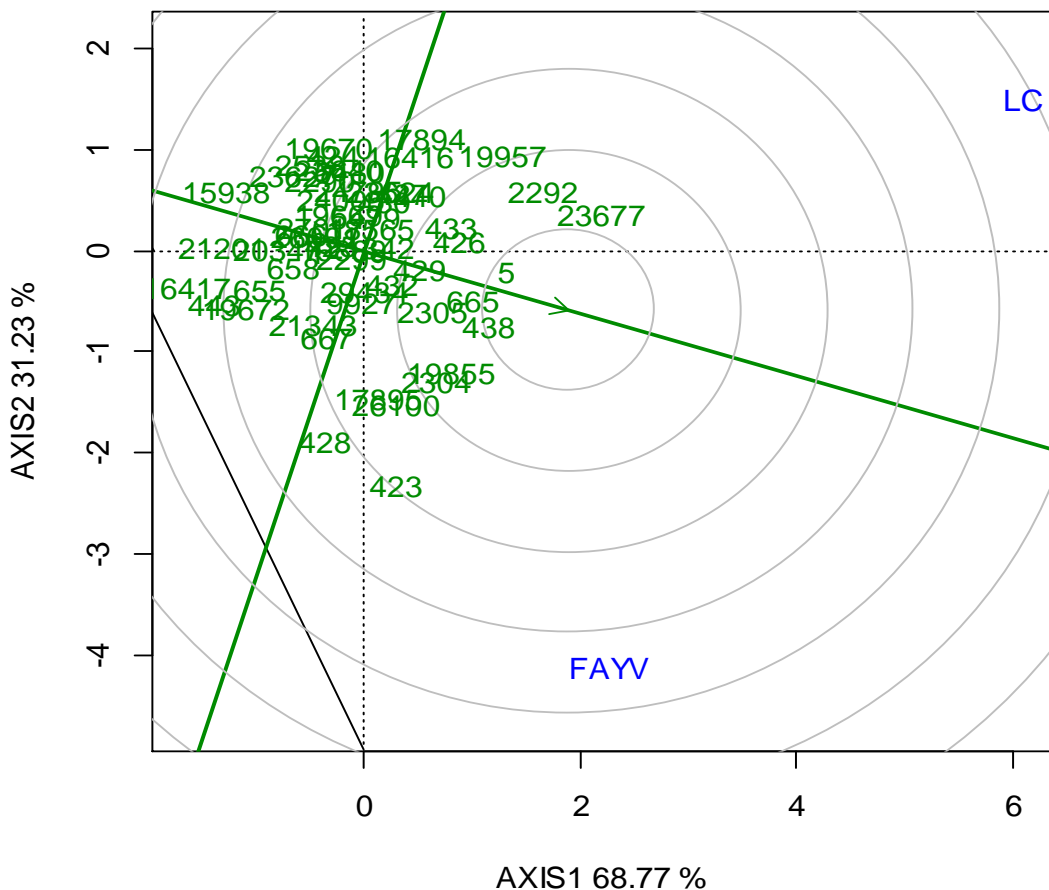


Figura 4. Grafica GGE Biplot (SREG) rendimiento medio y estabilidad de los genotipos para las 55 poblaciones de maíces nativos evaluados en dos ambientes.

CONCLUSIONES

Se encontró que existe diferencias entre las características morfológicas de las 55 poblaciones, la cual puede ser utilizada para dirigir mejoramientos con distintos fines tal es el caso de las poblaciones con porte alto para producción de forraje, la sincronía floral como una estrategia para mitigar el daño por estrés modificando las fechas de siembra, también es importante aprovechar las diferencias encontradas en los componentes de rendimiento para aumentar el mismo.

La evaluación de la eficiencia del PSII como indicador de estrés nos ayudó a identificar que las poblaciones 2290 y 5480 presentaban una disminución en la eficiencia lo que podría indicar que existía efecto por estrés hídrico, reflejando una disminución en el rendimiento al estar por debajo del promedio.

Gracias al modelo de SREG se identificaron 3 poblaciones con rendimientos por arriba del promedio y estabilidad 5, 665 y 438, las cuales se proponen para continuar con los estudios de interacción genotipo x ambiente aumentando el número de ambientes al que sean sometidos y aumentar las variables fisiológicas para comprender el desarrollo del cultivo bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.

LITERATURA CITADA

- Aguirre G.J.A. y M.L. García L. 2012. Selección para el mejoramiento de maíz criollo. Manual de capacitación. Folleto No 4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F. Pp 18-19.
- Ahmed C.B., B.B. Rouina, S. Sensoy, M. Boukhris y F.B. Abdallah, 2009. Changes in gas exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars under contrasting water availability regimes. *Environ. Exp. Bot.* 67, Pp 345-352.
- Ahumada C. A., G. Velázquez A., E. Flores T. y J. Romero-González. 2014. Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.* Núm. 61. Pp 48-53.
- Ashghizadeh H.R. and P. Ehsanzadeh. 2008. Maize (*Zea Maize L.*) Performance Under Drought: Decreased Photosynthetic Area vs. Decreased Efficiency of PSII. In: Allen, J.F., Gantt, E., Golbeck, J.H., Osmond, B. (eds) *Photosynthesis. Energy from the Sun.* Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6709-9_311.
- Bolaños J. y G. O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for water stress tolerance in lowland tropical maize. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Research.* Vol. (31). Pp 233-252.
- Castillo F., E. Herrera, J. Romero, R. Ortega, M. Goodman, y M. Smith. 2000. Diversidad genética del maíz y su aprovechamiento in situ a nivel regional. En: CIAT, editor, *Fitomejoramiento Participativo en América Latina y el Caribe.* Mem. Simp. Internacional. Quito, Ecuador. Ago 31-Sep. 3. 1999. CIAT – Programa PRGA del CGIAR. Cali, Colombia. 7 p.
- Charcas-Salazar H., J.R. Aguirre-Rivera y H.M. Durán-García. 2012. Suelos irrigados en la región de Rioverde, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* Vol. (3). Núm. 3. Pp 509-523.
- Contreras-Molina O., A. Gil-Muñoz, P.A. López, D. Reyes-López y J.D. Guerrero-Rodríguez. 2016. Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* Núm. 17. Pp. 3633-3647.
- Dulloo M. E., I. Thormann, E. Fiorino, S. De Felice, V. R. Rao and L. Snook. 2013. Trends in research using plant genetic resources from germplasm collections: from 1996 to 2006. *Crop Science.* Vol. (53). Pp1217-122.
- Eakin H., H. Perales, K. Appendini and S. Sweeney. 2014. Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change.* Vol. (45). Pp133-155.

- Fierros L.G., M.P. Ortega, G.J. Acosta, H.V. Valenzuela, V.I. Padilla, F.S. Velarde, y P.E. Gutiérrez. 2016. Interacción genotipo-ambiente en garbanzo blanco de semilla extragrande en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. (7). Pp 507-519.
- Frutos E., M.P. Galindo and V. Leiva. 2014. An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stoch Environ Res Risk Assess*. Vol. (28). Pp 1629-1641.
- García Z. J., R.J. López, G.J. Molina y S.T. Cervantes. 2002. Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una cruzada intervarietal F2 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. (25). Pp 387-391.
- Glison N. 2008. Respuestas de *Lotus corniculatus* ante el déficit hídrico y nitrogenado; crecimiento, aparato fotosintético tilacoidal y acumulación de prolina. Trabajo especial. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. 25 p.
- González-Martínez J., M. Rocandio-Rodríguez, A. R. Contreras-Toledo, S. Joaquín-Cancino, V. Vanoye-Eligio, J. C. Chacón-Hernández y A. Hernández-Bautista. 2020. Diversidad Morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano de Tamaulipas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. (43). Pp 361-370.
- Hernández X.E. 1985. *Biología agrícola. Los conocimientos biológicos y su aplicación a la agricultura*. CECSA. México DF.
- Hichem H., A. Naceur and D. Mounir. 2009 Effects of salt stress on photosynthesis, PSII photochemistry and thermal energy dissipation in leaves of two corn (*Zea mays* L.) varieties. *Photosynthetica*. Vol. (47). Pp 517–526.
- Jiménez-Suanca S.C., O.H. Alvarado y H.E. Balaguera-López. 2015. Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. Vol (9). Pp 149-160.
- Kato Y. A. K., C. Mapes. S., L.M. Mera, O., J.A. Serratos, H., y R.A. Bye B., 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. *Diversificación y distribución reciente del maíz en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ed. Impresora Apolo, S.A. de C.V. Pp 69-81.
- Ledesma-Ramírez L., E. Solís-Moya, M.P. Suaste-Franco, J.F. Rodríguez-Caracheo y M.L. Cruz-González. 2012. Análisis GGE biplot del rendimiento de trigo (*Triticum spp*) con riego normal y restringido en el bajío, México. *Agrociencia*. Vol. (46). Pp 119-131.
- Londoño M.B. 2017. Del determinismo fenotípico al determinismo genotípico. *Revista CES Medicina*. Vol. (19). Pp 57-62.

- López-Romero G., A. Santacruz-Valera, A. Muñoz-Orozco, F. Castillo-González, L. Córdova-Téllez y H. Vaquera-Huerta. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia*. Vol. (30). Pp 284-290
- Lozano-Ramírez Á., A. Santacruz-Varela, F. San-Vicente-García, J. Crossa, J. Burgueño y J. D. Molina-Galán. 2015. Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. (38). Pp 337-347.
- Luna F. M. y J. R. Gutiérrez S. 2000. Investigación fisiotécnica de maíz de temporal en la región alta del norte de México. *Revista Fitotecnia*. Vol. (23). Pp 195-210.
- Martín-Austria P. F. y C. Patiño-Gómez. 2012. Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y Ciencia del Agua*. Vol. (3). Pp 5-20.
- Martínez-Sánchez J., N. Espinosa P. y Y. Villegas A. 2016. Interacción genotipo-ambiente en poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. Vol. (3). Pp 38-46.
- Martínez-Sánchez J., N. Espinoza-Paz y P. Cadena-Iñiguez. 2017. Caracterización morfológica de población de maíz nativo (*Zea mays* L.) en Chiapas, México. *Revista Agroproductividad*. Vol. (10). Pp 26-33.
- Muñoz O. A. 2003. Centli Maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 211p.
- Orona, C. F., J. Medina, M., FM. Tucuch, C., JM. Soto, R y IH. Almeyda, L. 2013. Parámetros de estabilidad en rendimiento y adaptabilidad de 25 genotipos de arroz en Campeche, México. *Phyton*. Vol. (28). Pp 255-261.
- Ortega C. A., M.J. Guerrero H. y R. E. Preciado O. 2013. Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Editorial del Colegio de Postgraduados, Biblioteca Básica de Agricultura. 1ª edición. México, D.F. Pp 47-72.
- Quevedo P.D. C., H.J. Cervantes, E.L. Noriero y V.J.M. Zepeda. 2017. Maíz: sustento de vida en la cultura Teenek, comunidad Tamaletom, Tancanhuitz, S.L.P. México. *Revista Geografía agrícola*. Vol. (58). Pp 5-19.
- Ramírez C.A. 2013. Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria*. Vol (17). Pp 7-21.
- Reyes-Méndez C.A., M.A. Cantú-Almaguer, H. R. Gill-Langarica, J.G. García-Olivares y N.M. Pérez. 2017. Interacción genotipo*ambiente en maíz cultivado en Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. (8). Pp 571-582.

- Rincón-Tuexi J.A., S. Castro-Nava, J.A. López-Santillán, A.J. Huerta, C. Trejo-López y F. Briones-Encinia. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton*. Vol. (75). Pp 31-40.
- Ruiz C.J.A., J.J. Sánchez, J.M. Hernández, M.C. Willcox, G. Ramírez, J.L. Ramírez y D.R. González. 2013. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. (4). Pp 829-842.
- Sah R.P., M. Chakraborty, K. Prasad, M. Pandit, V. K. Tudu, M. K. Chakravarty, S. C. Narayan, M. Rana and D. Moharana. 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*. Vol. (10). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Salgado A. 2011. Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz nativo en América Latina. Biodiversidad, erosión y contaminación genética del maíz nativo, *Diversidad, erosión y contaminación genética de maíz nativo México*. Pp 18-29.
- Salinas G., J. Chen, C. Garay, S. Hearne, T. Molnar, C. Petroli, K. Pixley, P.C. Saint, C. Sansaloni, D. Sehgal, S. Singh y P. Vikram. 2015. Descubriendo recursos genéticos de maíz y trigo para el desarrollo de variedades mejoradas adaptadas al cambio climático. Vol. (26). Pp 30-31.
- Sánchez, O.I. y E.C. Pérez-Urria. 2014. Maíz I. REDUCA (Biología). Serie Botánica. Vol. 7. Pp 151-171.
- Serrato H. J. 2009. El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Greenpeace. Ciudad de México, México. 33 p.
- SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y pesquera). 2022. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do.
- Turrent F.A., T.A. Wise y E. Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Reporte 24. Mexican Rural. Development Research Reports. Pp 15-16.
- WeatherData. 2022. Base de datos de precipitación de San Luis Potosí durante en año 2022. Recuperado de <https://ram-n.github.io/weatherData/>
- Yan W., A. Hunt, Q. Sheng and Zslavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. Vol. (41). Pp 597-605.