



APTITUD COMBINATORIA EN LÍNEAS DE MAÍZ DERIVADAS DEL QUINTO CICLO DE SELECCIÓN MASAL ESTRATIFICADA

COMBINING ABILITY IN MAIZE LINES DERIVED FROM THE FIFTH CYCLE OF STRATIFIED MASS SELECTION

Elias Ubias-Serafin¹, Juan C. Raya-Pérez¹, Cesar L. Aguirre-Mancilla¹,
Alfredo J. Gámez-Vázquez², Jesús Frías-Pizano¹ y Jorge Covarrubias-Prieto^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto, Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México.

*Autor de correspondencia (jor_covarru-jrg@hotmail.com)

RESUMEN

La estimación de parámetros genéticos en el mejoramiento del maíz reviste gran importancia después de aplicar selección, la cual permite al fitomejorador definir las estrategias de aprovechamiento de la variabilidad genotípica expresada. El objetivo de esta investigación fue estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de ocho líneas endogámicas (L) S₁ mediante un dialélico parcial. Las 28 cruas directas generadas fueron evaluadas en el ciclo P-V 2022, mediante un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, en dos localidades, en condiciones de temporal con un riego de auxilio para germinación. Las líneas L2, L3 y L4 presentaron efectos positivos y significativos de ACG para la variable rendimiento de grano (RG), lo que nos indica que estas líneas mostraron un mayor efecto de genes de tipo aditivo. En las variables de floración (masculina y femenina), las líneas L2 y L3 presentaron efectos positivos y significativos de ACE. Las líneas L1 y L2 mostraron valores positivos y significativos de ACE para la variable RG. En la interacción genotipo-ambiente, la cruza L2×L4 (con efectos positivos y significativos de ACE y ACG) fue menos estable, con mayor rendimiento (6.67 t ha⁻¹) y superó con 1.36 y 1.4 t ha⁻¹ a los testigos (V1 y V2), respectivamente, pero más adaptable a las dos localidades, de acuerdo con el análisis biplot.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, dialélico, efectos genéticos.

SUMMARY

The estimation of genetic parameters in maize breeding is of great importance after the application of selection, which allows the breeder to define strategies to take advantage of the expressed genotypic variability. The objective of this research was to estimate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of eight S₁ inbred lines (L) by means of a partial diallel. The 28 direct crosses generated were evaluated in the P-V 2022 cycle, using a randomized complete block design, with four replications, in two locations, under rainfed conditions with an auxiliary irrigation for germination. Lines L2, L3 and L4 showed positive and significant ACG effects for grain yield (GR), indicating that these lines showed a greater effect of additive genes. For flowering variables (male and female), lines L2 and L3 showed positive and significant effects of ACE. Lines L1 and L2 showed positive and significant ACE values for the RG variable. In the genotype-environment interaction, the L2×L4 cross (with positive and significant ACE and ACG effects) was less stable, with higher yield (6.67 t ha⁻¹) and surpassed with 1.36 and 1.4 t ha⁻¹ the controls (V1 and V2), respectively, but more adaptable to the two locations, according to the biplot analysis.

Key words: *Zea mays* L., combining ability, diallel, genetic effects.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de la selección masal estratificada, como un método de piramidación de genes favorables, ha sido efectiva para incrementar el rendimiento de grano a través de ciclos de selección en poblaciones de maíz (Shrestha *et al.*, 2018). Las variedades mejoradas por el método de selección masal estratificada aumentan su rendimiento sin afectar la variabilidad genética aditiva y, por lo tanto, este tipo de selección resulta útil para mejorar maíces locales (Santiago *et al.*, 2020; López *et al.*, 2021).

Los diseños genéticos son herramientas que permiten seleccionar poblaciones de amplia base genética, como referencia para establecer un programa de mejoramiento (Sánchez *et al.*, 2019). En un programa de mejoramiento genético de maíz se requiere realizar una estimación de la variación genética aditiva, para optimizar las estrategias adecuadas de selección y establecer así un programa efectivo de mejoramiento (Sánchez *et al.*, 2017). El conocimiento de la acción génica de progenitores de maíz ayuda a seleccionar genotipos con potencial en características de interés, para ser utilizados en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas, con resultados superiores a los progenitores (de la Cruz *et al.*, 2003; López *et al.*, 2017).

La forma de obtener mayor eficiencia en el mejoramiento del maíz (Sprague y Tatum, 1942) es a través del método de cruas dialélicas, para estimar la magnitud de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). Griffing (1956) propuso los diseños dialélicos para estudiar los parámetros genéticos de un conjunto de progenitores y su descendencia y para señalar la importancia de los

efectos de ACG y ACE de cada uno de ellos; la ACG está asociada a la acción génica de tipo aditivo y la ACE a la de tipo no aditivo. Mogesse *et al.* (2020) definieron la aptitud combinatoria (AC) como la capacidad de un genotipo para transmitir características deseables a su descendencia (progenie). Los cruzamientos dialélicos permiten identificar las combinaciones superiores y seleccionar los mejores progenitores para diseñar el método de mejoramiento más eficiente (Mendes *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2016).

El uso de cruzas dialélicas permite identificar líneas endogámicas de maíz con alto potencial genético, que sirven para formar genotipos con mejores progenitores y, a su vez, el estudio de los caracteres cuantitativos en ACG y ACE contribuye a una mayor certeza para obtener mejores combinaciones entre las líneas (Sánchez *et al.*, 2017). Ramírez *et al.* (2019) indican que al eliminar líneas con valores bajos y negativos de ACG y ACE, durante la evaluación de un dialélico, ayuda a ser rigurosos en la selección de progenitores y permiten desechar líneas poco sobresalientes. Existen líneas con alta ACG que también forman cruzas de alta ACE con mayores efectos positivos o favorables que puedan ser utilizadas en un programa de mejoramiento, ya que presentan mayor rendimiento de grano (Acevedo *et al.*, 2020). Con base a lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta investigación fue cuantificar la ACG y ACE de ocho líneas S1 derivadas del quinto ciclo de selección masal estratificada en una variedad mejorada de polinización libre con cinco ciclos de selección masal estratificada para rendimiento de grano, baja fertilización nitrogenada y características agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos experimentos en condiciones de temporal, con riego de auxilio para la germinación, en dos localidades del estado de Guanajuato, ubicados en El Bajío de México: a) en el Campo Experimental del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) ubicado en el Km. 8 de la Carretera Juventino Rosas-Celaya, Guanajuato, que se localiza a 20° 34' 53" latitud norte y 100° 49' 38" longitud oeste y b) en la comunidad de Santa Rosa de Lima II (Sta. Rosa LII) a 20° 34' 13" latitud norte y 100° 55' 35" longitud oeste, en Celaya, Guanajuato; ambas localidades se ubican a 1760 msnm.

En el ciclo P-V 2020 se sembró un lote con semilla del quinto ciclo de selección masal estratificada para rendimiento de grano (SME), se derivaron varias líneas S1 con plantas seleccionadas por sus características agronómicas y, por la cantidad de semilla que produjeron, se seleccionaron las mejores ocho líneas. En el ciclo P-V 2021 se sembraron las líneas en dos surcos; el arreglo

de las líneas en campo fue el de progenitores apareados (Fehr, 1991) para facilitar los cruzamientos entre hembras y machos. A partir de los cruzamientos se obtuvieron 28 cruzas simples.

Las 28 cruzas simples y dos testigos locales, la variedad original (V1) y un compuesto de plantas cuateras derivadas del segundo ciclo de selección (V2), se evaluaron durante el ciclo P-V 2022 en ITR y Sta. Rosa LII, mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 4 surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho, con 20 plantas por surco de 5 m, para obtener una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹. Los datos se tomaron de los dos surcos centrales de la unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: longitud de mazorca (LM) medida en cm, diámetro de mazorca (DM) medida en cm, número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por hilera (NGH), rendimiento de grano (RG) en kg ha⁻¹, días a floración masculina (FM) y días a floración femenina (FF) en días después de la siembra, altura de planta (AP) medida en cm desde la base del suelo hasta la base de la espiga y altura de mazorca (AM) medida en cm desde la base del suelo hasta la inserción de la última mazorca. El tamaño de muestra fue de 10 plantas tomadas al azar para las variables AP y AM, de 10 mazorcas tomadas al azar para las variables NHM, NGH, DM y LM. Para RG se cosechó toda la parcela útil.

La dosis de fertilización utilizada fue la recomendada por el INIFAP para condiciones de temporal con riego de auxilio: 80-40-00 (N-P-K); El 50% del nitrógeno y todo el fósforo se aplicó al momento de la siembra. Posteriormente, a los cuarenta días después de la siembra se aplicó el resto del nitrógeno para completar la fórmula. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea (46-00-00) y DAP (18-46-00). Todas las plantas de cada unidad experimental se cosecharon y se pesó el grano para transformar el dato en t ha⁻¹, ajustándose a 14 % de humedad comercial.

Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) para las variables agronómicas evaluadas, el rendimiento de grano y dos componentes de las líneas progenitoras y de las cruzas con el programa AGD-R (Analysis of Genetic Designs in R) versión 5.1. Además, se realizó una gráfica biplot de la interacción genotipo-ambiente de las cruzas considerando las dos localidades y la variable RG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos de aptitud combinatoria general (ACG)

Las líneas L2, L3 y L4 mostraron efectos positivos y significativos ($P \leq 0.01$) de ACG (Cuadro 1) en la variable

RG. La L2 mostró también efectos positivos y significativos en las variables LM y NGH y obtuvo un mayor rendimiento con base en mayor NGH y LM entre las cruza en donde intervino a través de los efectos aditivos. La línea L4 mostró efectos positivos y significativos de ACG en las variables FM, FF y AP y el rendimiento se incrementó a través de un menor ciclo de cultivo (1.5 días menos a floración masculina que V1) y acumulación de materia seca (AP). En esta misma línea se presentaron valores negativos y significativos para el DM; es decir, que presentó un efecto negativo de ACG para la expresión de este carácter. Estos resultados concuerdan con Méndez *et al.* (2003), Sánchez *et al.* (2016) y Acevedo *et al.* (2020). Hernández *et al.* (2023) estimaron efectos de ACG en poblaciones de maíz y no encontraron valores positivos en las variables de días a floración masculina (FM) y femenina (FF). Las líneas L7 y L8 presentaron efectos negativos y significativos de ACE, pero su cruza obtuvo un valor positivo y significativo de ACE, pero con rendimiento bajo. La línea L8 obtuvo valores positivos y significativos de ACG en AP, AM y DM; es decir, mayor AP y AM en sus cruza y en incrementar el DM, reducir el rendimiento de grano, pero también en reducir la precocidad de los cruzamientos en los cuales intervino, lo que se observa en los valores significativos y negativos de FM y FF. Manjarrez *et al.* (2014) indican que es deseable obtener valores negativos en líneas porque están relacionados a menor AP. En la línea L1, la variable RG tuvo un valor negativo y significativo, menor AP y NHM y valores positivos y significativos en las variables de FM y FF, por lo que sus cruzamientos tendieron a ser más tardíos. La línea L6 presentó efectos negativos y significativos en

las variables FF, AM, LM, DM y NGH, por lo que, para la expresión de los efectos de ACG fueron importantes, pero no se dio el mismo caso para aumentar los días a FM; por otra parte, se observó una reducción en estas variables entre sus cruza y solamente se obtuvo un efecto positivo y significativo en AP y NHM. Al respecto, Soriano y De Pina (2003) mencionan que esta estimación de ACG permite la identificación de progenitores superiores, para ser utilizados en programas de mejoramiento intrapoblacional.

Quiroga (2020) evaluó la ACG en progenitores y obtuvo valores positivos y significativos en AP y AM, pero también encontró valores positivos y significativos de ACE en la variable relacionados con la componente de rendimiento NHM y concluyó que, si los genes aditivos no se están expresando en la ACG, pueden ser utilizados para cruzamientos simples que generen buenas combinaciones híbridas de ACE para rendimiento de grano; resultados similares fueron obtenidos en esta investigación.

Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

En FM, la mayoría de las cruza fueron iguales a los testigos. El efecto de la ACE para la variable FM resultó significativo en las cruza L2×L7, L3×L6 y L6×L8, con un intervalo de variación de 1.25 días y un promedio de 73.5 días, similar al testigo V1, pero dos días más precoz que V2. Las cruza L6×L7, L2×L5, L1×L8 y L1×L3 mostraron valores negativos de ACE, con un intervalo de variación de 2.25 y un promedio de 71.9 días, por lo que estas cruza fueron más precoces que ambos testigos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para variables agronómicas y rendimiento de grano en 8 líneas S₁ evaluadas en dos localidades del estado de Guanajuato, Ciclo P-V 2022.

Líneas	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	DM (cm)	NHM (No)	NGH (No)	RG (t ha ⁻¹)
L1	1.09 **	1.25 **	-3.06 *	2.93	0.21	0.06 *	-0.35 *	-0.59	-0.60 z
L2	-0.17	-0.22	-1.81	2.81	0.54 **	-0.02	0.18	1.73 **	0.73 **
L3	0.01	-0.03	-0.89	0.18	0.01	-0.03	0.22	0.10	0.26 **
L4	0.55 **	0.58 **	3.41 *	-0.12	-0.16	-0.06 *	0.18	-0.14	0.53 **
L5	0.13	0.04	-2.43	-6.00 **	0.19	-0.04	-0.02	-0.03	-0.04
L6	-0.28	-0.39 *	3.22 *	-3.54 *	-0.59 **	-0.07 *	0.43 *	-0.86 *	0.05
L7	-0.59 **	-0.59 **	-3.00 *	-2.45	0.04	0.01	-0.39 *	-0.07	-0.51 **
L8	-0.73 **	-0.64 **	4.56 **	6.18 **	-0.24 *	0.17 **	-0.27	-0.11	-0.42 **

*, **: indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente, ACG: efectos de aptitud combinatoria general, FM: floración masculina, FF: floración femenina, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, NHM: número de hileras por mazorca, NGH: número de granos por hilera, RG: rendimiento de grano, L: líneas endogámicas.

Guzmán *et al.* (2017) mencionan que la precocidad de las cruzas es debida a efectos genéticos aditivos y Hernández *et al.* (2023) indican que para días a FM y FF los mayores efectos de variación de ACE fueron explicados por la variable días a FM. Las cruzas L2×L7, L3×L6 y L6×L8 en la variable FF obtuvieron valores positivos y significativos con una variación de 1.25 días y un promedio de 75.70 días. Para la variable AP, las cruzas L2×L4, L5×L8, L3×L6 y L1×L7 mostraron valores positivos y significativos y las cruzas L2×L8, L1×L4, L2×L3, L6×L8 y L4×L5 resultaron con valores negativos y significativos.

La estimación de ACE para RG fueron positivos y significativos en las cruzas L1×L3, L1×L5, L1×L7, L2×L4, L2×L5, L3×L6 y L7×L8. Las cruzas L1×L4 y L3×L5 presentaron valores negativos y significativos. El rendimiento mayor se obtuvo en las cruzas L2×L4 y L2×L5 y fueron estadísticamente iguales, con 6.67 y 5.68 t ha⁻¹, respectivamente (ambas cruzas contienen a las líneas L2 y L4 de alta ACG y ACE) (Cuadro 2). Mendes *et al.* (2003) y Acevedo *et al.* (2020) encontraron que, para RG, tanto los efectos aditivos (GCA) como los no aditivos (SCA) fueron importantes. Picón-Rico *et al.* (2018) mencionan que las cruzas con efectos negativos de ACE son más precoces y tienen menor rendimiento; este resultado es similar a lo obtenido en esta investigación. Murtadha *et al.* (2018) difieren de los resultados obtenidos, ya que mencionan que líneas con baja ACG dan origen a cruzas con efectos positivos y significativos con mayor rendimiento de grano. Para la variable LM, los mayores efectos de ACE se obtuvieron en las cruzas L1×L3, L1×L4, L1×L5, L2×L3, L3×L6, L4×L8 y L5×L6 con valores positivos y significativos; sólo la línea L2 fue de alta ACG. Las líneas L2, L3 y L4 de alta ACG participaron para RG. La variable LM fluctuó de 13.75 a 18 cm, en la que la cruz L1×L5 (con efectos positivos y significativos de ACE) fue de mayor tamaño: 18 cm de longitud y la cruz L3×L4 (con efectos negativos de ACE) presentó un valor menor de 14.43 cm. En NGH, las cruzas L1×L3, L1×L5, L2×L4, L3×L6 y L4×L8 resultaron con efectos de ACE positivos y significativos; las líneas L2, L3 y L4 de alta ACG para RG participaron en algunas de estas cruzas.

La cruz L1×L3 obtuvo valores positivos y significativos para ACE en las variables RG, LM y NGH. La cruz L1×L6 (con efectos negativos y significativos de ACE), que proviene de un progenitor con valores negativos pero significativos de ACG (Vélez *et al.*, 2016; Murtadha *et al.*, 2018; López *et al.*, 2021), indican que las cruzas formadas con líneas de alta ACG dan como resultado genotipos con buena combinación en sus cruzas para lograr efectos positivos de ACE, como se observó en esta investigación.

Interacción genotipo-ambiente

La Figura 1 representa una gráfica biplot de la interacción genotipo-ambiente (GE) que existe en la variable rendimiento de grano en 28 cruzas y testigos (V1 y V2) evaluados en ITRoque y Sta. Rosa LII. En el eje de las abscisas (ITRoque) se observa que la cruz L2×L4 (con efectos altos y positivos de ACE) es poco predecible (menos estable), con mayor rendimiento (6.67 t ha⁻¹) y más adaptable a las dos localidades; es decir, rinde mejor en ambas localidades. Vélez-Torres *et al.* (2016) mencionan que el buen comportamiento de una cruz en un ambiente en específico es debido al tipo de acción génica, la adaptabilidad y estabilidad. Las cruzas L2×L5, L3×L4 y L3×L6 (con efectos positivos y significativos de ACE) presentan rendimientos superiores a las variedades testigo en la localidad de ITRoque; además, su rendimiento es predecible. Las cruzas L1×L3, L4×L5, L1×L5 y L4×L8 fueron las más cercanas al origen de los ejes, por lo que, su rendimiento es similar a la media de ambas localidades (ITRoque 4.78 y Sta. Rosa L 4.14 t ha⁻¹) y aunque son estables, su rendimiento fue menor al de las variedades testigo. Ponce-Encinas *et al.* (2022) coinciden que las cruzas cercanas al origen de los ejes en este tipo de gráficas presentan mayor estabilidad, porque existe menos influencia de la interacción GE. La cruz L5×L6 presentó baja adaptabilidad a los dos ambientes. El resto de las cruzas presentaron rendimientos menores en ambas localidades y, por lo tanto, menor adaptabilidad. Los testigos (V1 y V2) presentaron estabilidad y adaptabilidad, con un rendimiento promedio de 5.31 y 5.27 t ha⁻¹, respectivamente. De forma general, en el primer cuadrante se observa que la línea L2 generó las mejores combinaciones para la expresión del RG, lo cual coincide con un valor positivo y significativo de ACG (0.73**) y con valores positivos y significativos de ACE, en donde resaltó la cruz 2×4 por su alto RG y ACE. En el tercer cuadrante, la línea L1 presentó valores negativos y significativos de ACG en la variable RG (-0.60**) y con valores de ACE positivos y negativos en RG, que no permitieron superar el rendimiento de la media de las localidades. El coeficiente de determinación (R²) permite explicar el 79 % de la variación del rendimiento; sólo el 21 % permanece sin explicar, debido a los ambientes evaluados.

CONCLUSIONES

Las líneas L2, L3 y L4 pueden ser utilizadas para el aprovechamiento de sus características por selección recurrente, debido a sus efectos positivos de aditividad. La estimación de parámetros genéticos en líneas del quinto ciclo de Selección Masal Estratificada permitió identificar tres líneas con buena Aptitud Combinatoria General y que dieron combinaciones híbridas con alta Aptitud

Cuadro 2. Efecto de aptitud combinatoria específica (ACE) de 28 cruzas directas para variables agronómicas (FM, FF y AP) y rendimiento de grano (RG) y sus componentes (LM y NGH) evaluadas en dos localidades del estado de Guanajuato, Ciclo P-V 2022.

Cruzas	ACE						
	Variables agronómicas			RG y sus componentes			
	FM	FF	AP	RG	LM	NGH	
L1×L2	0.431	0.812	2.142	-0.847 **	-0.286	-0.934	
L1×L3	-1.005 *	-1.000 *	2.101	0.700 **	1.305 **	3.690 **	
L1×L4	0.202	0.125	-12.461 **	-0.880 **	0.861 **	0.940	
L1×L5	0.494	0.416	-3.107	0.781 **	1.367 **	3.336 **	
L1×L6	0.160	-0.020	-2.023	-0.551 **	-2.086 **	-4.580 **	
L1×L7	0.723	0.812	7.955 *	0.788 **	-0.663 *	-0.247	
L1×L8	-1.005 *	-1.145 **	5.392	0.007	-0.498	-2.205 *	
L2×L3	-0.110	-0.145	-11.273 **	-0.161	0.234	0.482	
L2×L4	0.348	0.479	12.413 **	1.007 **	0.840 **	2.607 **	
L2×L5	-1.110 **	-1.229 **	0.642	0.619 **	0.234	-1.997 *	
L2×L6	-0.693	-0.791	7.101	-0.251	-0.282	0.086	
L2×L7	1.494 **	1.291 **	4.080	-0.748 **	-1.109 **	-0.455	
L2×L8	-0.360	-0.416	-15.107 **	0.382 *	0.367	0.211	
L3×L4	0.160	0.416	2.622	0.342 *	-1.617 **	-3.767 **	
L3×L5	-0.297	-0.416	-0.023	-0.995 **	-0.923 **	-1.247	
L3×L6	1.494 **	1.645 **	7.809 *	0.671 **	1.559 **	3.961 **	
L3×L7	-0.318	-0.395	-6.836	-0.213	0.232	-0.080	
L3×L8	0.077	-0.104	5.601	-0.344 *	-0.790 *	-3.038 **	
L4×L5	0.160	0.208	-8.586 *	-0.314 *	-1.680 **	-2.122 *	
L4×L6	-0.172	-0.104	-2.377	0.377 *	0.090	-0.288	
L4×L7	-0.860 *	-1.145 **	4.226	-0.556 **	0.601	-0.580	
L4×L8	0.160	0.020	4.163	0.023	0.903 **	3.211 **	
L5×L6	-0.505	-0.562	1.976	0.118	0.809 *	1.607	
L5×L7	0.681	0.770	-3.294	-0.019	0.482	-1.059	
L5×L8	0.577	0.812	12.392 **	-0.189	-0.290	1.482	
L6×L7	-1.276 **	-1.166 **	-3.086	0.131	0.028	0.648	
L6×L8	0.994 *	1.000 *	-9.398 *	-0.497 **	-0.119	-1.434	
L7×L8	-0.443	-0.166	-3.044	0.618 **	0.428	1.773	

*, **: indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente, ACE: efectos de aptitud combinatoria específica, FM: floración masculina, FF: floración femenina, AP: altura de planta, RG: rendimiento de grano, LM: longitud de mazorca, NGH: número de granos por hilera.

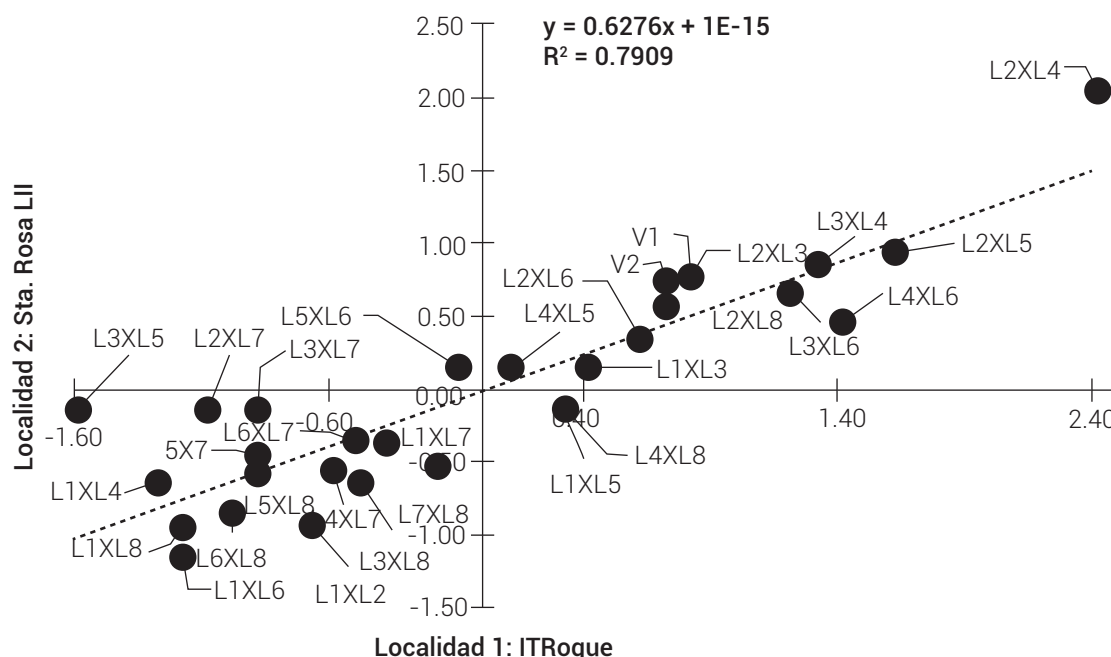


Figura 1. Biplot de interacción genotipo-ambiente del rendimiento de grano de 28 cruizas y testigos (V1 y V2) evaluadas en dos localidades del estado de Guanajuato, Ciclo P-V 2022.

Combinatoria Específica. Estos resultados nos indican que existe variabilidad genética para seguir realizando mejoramiento mediante el método de SME.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo C. M. A., A. Castillo G., M. Andrade R., M. E. Núñez V., F. Perdomo R. y R. Suárez R. (2020) Aptitud combinatoria y potencial agronómico de líneas de maíz con diferente nivel de endogamia. *Acta Agrícola y Pecuaria* 6:1-12, <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061023>
- de la Cruz L. E., E. Gutiérrez D. R., A. Palomo G. y S. Rodríguez H. (2003) Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:279-284.
- Fehr W. R. (1991) Principles of Cultivar Development: Theory and Technic. Agronomy books. 1, https://lib.dr.edu/agron_books/1.
- Griffing B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences* 9:463-493.
- Guzmán M., D. Díaz, C. Ramis, R. Figueroa R. y R. Jiménez (2017) Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en híbridos no convencionales de maíz con alto contenido de proteínas. *Bioagro* 29:175-184.
- Hernández T. A., J. A. López S., B. Estrada D., Z. Reséndiz R., J. M. Coronado B. y R. A. Malvar (2023) Aptitud combinatoria y efectos recíprocos de la precocidad en poblaciones nativas de maíz de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14:171-183, <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i2.2990>
- López L. C., M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. J. García Z., I. Benítez R., M. G. Vázquez C. y J. A. Carrillo S. (2017) Productividad de cruza simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:559-570.
- López L. C., M. Tadeo R., J. J. García Z., A. Espinosa C. y J. A. Mejía C. (2021) Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:699-711.
- Manjarrez S. M., F. Palemón A., N. O. Gómez M., A. Espinosa C., S. A. Rodríguez H., A. Damián N., E. Hernández C. y B. Cruz L. (2014) Aptitud combinatoria general y específica de maíces normales y de alta calidad de proteína. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1261-1273.
- Mendes A. A., L. A. Carlini G., A. Resende D. S., M. Figueiredo S., A. A. Franco G. and C. Lopes D. S. Jr. (2003) Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. *Scientia Agrícola* 60:83-89, <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000100013>
- Mogesse W., H. Zelleke and M. Nigussie (2020) General and specific combining ability of maize (*Zea mays* L.) inbred line for grain yield and yield related traits using 8x8 diallel crosses. *American Journal of Bioscience* 8:45-56, <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20200803.11>
- Murtadha M. A., J. Ariyo O. and S. Alghamdi S. (2018) Analysis of combining ability over environments in diallel crosses of maize (*Zea mays*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17:69-78, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.004>
- Picón-Rico R., R. H. Preciado O., F. Cervantes O., J. Covarrubias P. y A. Terrón I. (2018) Efectos heteróticos en líneas doble haploides de maíz de grano blanco y alto contenido de aceite. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:177-186.
- Ponce-Encinas M. C., F. López-Morales, J. Chura-Chuquijá, E. Hernández-Leal, G. Hernández-Salinas and A. Aragón-García (2022) Interacción genotipo-ambiente del rendimiento en híbridos de maíz amarillo mediante AMMI y SREG. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13:1247-1258, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3070>
- Quiroga C. J. (2020) Habilidad combinatoria general y específica relacionada con los componentes del rendimiento en cinco líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.). *Orinoquia* 24:15-26, <https://doi.org/10.22579/20112629.626>
- Ramírez D. J. L., V. A. Vidal M., I. Alemán D. T., A. Ledesma M., N. O. Gómez M., Y. Salinas M., E. Bautista R., L. M. Tapia V. y A. Ruiz C. (2019) Selección de líneas y cruza de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruza dialélicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 42:335-346.
- Sánchez R. F. J., M. C. Mendoza C. y C. G. Mendoza M. (2016) Estabilidad fenotípica de cruza simples e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:269-275.
- Sánchez R. F. J., M. C. Mendoza C., M. Mendoza R.†, F. Castillo G., S. Cruz I., S. Castro N. y J. D. Molina G.† (2017) Aptitud combinatoria de líneas

- endogámicas para la producción de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruza simple en condiciones de riego. *Agrociencia* 51:393-407.
- Sánchez V. M., L. Córdova T., A. Santacruz V., F. Castillo G., M. C. Castañeda S., A. Robledo P. y A. Méndez L. (2019) Diversidad genética en accesiones de 10 razas mexicanas de maíz de altitudes intermedias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:253-264, <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.732>
- Santiago L. N., J. García Z., A. Espinoza B., A., U. Santiago L., G. Esquivel E. y J. D. Molina G. (2020) Adaptación de maíz Tuxpeño a valles altos de México mediante selección masal. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43:259-265, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.259>
- Shrestha J., K. Bahadur and B. Balram (2018) Response of mass selection in maize (*Zea mays* L.). *Our Nature* 16:35-42, <https://doi.org/10.3126/on.v16i1.22119>
- Sprague G. F. and L. A. Tatum (1942) General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy* 34:264-275, <https://doi.org/10.2134/agronj1942.00021962003400100008x>
- Soriano V. J. M. S. and F. De Pina M. (2003) Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents. *Genetics and Molecular Biology* 26:465-471, <https://doi.org/10.1590/S1415-47572003000400010>
- Vélez-Torres M, J. J. García-Zavala, R. Lobato-Ortiz, I. Benítez-Riquelme, J. J. López-Reynoso, J. A. Mejía-Contreras y G. Esquivel-Esquivel (2016) Estabilidad del rendimiento de cruza dialélicas entre líneas de maíz de alta y baja aptitud combinatoria general. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:167-175.