

Aptitud combinatoria y resistencia al daño foliar de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) en germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas

Zoila Reséndiz Ramírez¹
José Alberto López Santillán^{1§}
Benigno Estrada Drouaillet¹
Eduardo Osorio Hernández¹
José Agapito Pecina Martínez²
Ma. del Carmen Mendoza Castillo²
Cesar A. Reyes Mendez³

¹Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cuarto Piso del Centro de Generación de Conocimiento Centro Universitario Victoria, Cd. Victoria, Tamaulipas. CP. 87000, (resendizmorelos.mod4@gmail.com; benestrada@uat.edu.mx; eosorio@uat.edu.mx). ²Genética-Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. (jpecina@colpos.mx; carmen@colpos.mx). CP. 56230. ³Campo Experimental Río Bravo-INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa km 6, Tamaulipas. CP. 88900. (reyes.cesar@inifap.gob.mx).

§Autor para correspondencia: jalopez@uat.edu.mx.

Resumen

Una plaga agrícola de importancia económica es *S. frugiperda*, en Tamaulipas es común la incidencia en maíz, provocando daño foliar lo que reduce el rendimiento de grano, una solución a esta problemática es utilizar cultivares resistentes; el germoplasma nativo de Tamaulipas a coevolucionado con este insecto, provocando resistencia al mismo. Con el objetivo de evaluar los efectos genéticos y la resistencia de cultivares de maíz derivados de germoplasma nativo, se determinó el daño foliar provocado por *S. frugiperda* en seis líneas endogámicas y sus 30 cruzas, en condiciones de aplicación y no aplicación de insecticida en la localidad de Güémez (primavera-verano, 2015), se realizó un análisis dialélico con el diseño I de Griffing. Para el daño foliar hubo efectos significativos de aptitud combinatoria general (ACG), específica (ACE) e interacción ACG×tratamiento de insecticida; solo existieron efectos significativos de ACG en el tratamiento de no aplicación. La expresión genética de este germoplasma determinada por los valores medios del daño foliar mostró una amplia variación, la línea LIHL₅S₃ tuvo efectos significativos y negativos de ACG y la cruza TGL₂S₃×LIHL₅S₃ los mayores efectos de ACE negativos y un menor daño foliar (1.12), las cruzas PWL₁S₃×TGL₂S₃, PWL₁S₃×LINL₄S₃, TML₃S₃×LINL₄S₃ y TML₃S₃×PWL₆S₃ sobresalieron con daño foliar mayor a 1.7; sin embargo, tuvieron una reducción inferior a 15.5% del rendimiento de grano. La variación del daño foliar dependió de efectos aditivos y no aditivos y existió resistencia a *S. frugiperda*, tanto por no preferencia como por tolerancia al daño foliar.

Palabras clave: *Zea mays*, aptitud combinatoria, dialélico, gusano cogollero.

Recibido: noviembre de 2017

Aceptado: enero de 2018

Introducción

Las regiones agrícolas del centro y sur de Tamaulipas, presentan condiciones ambientales de trópico seco, húmedo y Valles Altos (Castro *et al.*, 2013) y clima variado y extremo, por lo cual, el maíz se establece bajo diversos sistemas de producción (Reséndiz *et al.*, 2014), en algunos de estos se utiliza germoplasma nativo de alta variabilidad, resistencia a condiciones de tensión ambiental y potencial de rendimiento de grano, entre otras características deseables (Pecina *et al.*, 2011).

La mayoría de estos sistemas de producción se establecen en ambientes favorables para el desarrollo de *S. frugiperda* o gusano cogollero (Blanco *et al.*, 2014; Loera y Castillo, 2015), por lo que, su presencia es común en los agroecosistemas dedicados a la producción de maíz en estas regiones, principalmente en el ciclo agrícola primavera-verano se presentan condiciones favorables de temperatura y humedad para el crecimiento y desarrollo de este insecto (Reséndiz *et al.*, 2016), llegando a desarrollar más de cuatro generaciones durante un mismo ciclo agrícola (Blanco *et al.*, 2014).

Alimentándose principalmente de tejidos foliares en desarrollo, provocando disminución del área foliar de la planta de maíz, en casos extremos hasta 70% de ésta, lo que puede reducir el rendimiento de grano (Hruska y Gould, 1997); este insecto también se alimenta de otros tejidos en desarrollo como tallo, inflorescencias, brácteas y grano (Valdez-Torres *et al.*, 2012; Loera y Castillo, 2015), lo cual favorece la infestación por microcoleópteros y hongos como *Aspergillus* spp. (Rodríguez-del-Bosque *et al.*, 2010) y *Fusarium* spp, microorganismos que producen micotoxinas (García-Aguirre y Martínez-Flores, 2010; Martínez *et al.*, 2013), esto además de disminuir el rendimiento de grano, afecta la calidad del mismo (Reséndiz *et al.*, 2016), es una plaga de importancia económica en el maíz.

Su control se realiza con frecuencia mediante aplicación de insecticidas químicos, aumentando los costos de producción (Barrientos-Gutiérrez *et al.*, 2013) y se induce el desarrollo de resistencia del insecto (Ahmad y Arif, 2010), además, puede ser fuente de contaminación ambiental (Devine *et al.*, 2008). Por otra parte, muchos sistemas de producción de maíz del centro y sur de Tamaulipas se establecen a baja escala y para autoconsumo, donde el costo que representa la utilización de cultivares híbridos resulta inviable y la baja adaptación de los mismos a estos ambientes específicos aumenta esta problemática (Turrent *et al.*, 2012; García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014). Una solución viable, es formar y liberar cultivares que puedan ser utilizados en las condiciones ambientales específicas de cada región y resistentes a *S. frugiperda* y que no incrementen los costos de producción.

En este sentido, en un programa de mejoramiento genético, la elección del germoplasma a utilizar es una decisión determinante para el éxito del mismo, por lo cual, la utilización de germoplasma nativo como población base para el desarrollo de cultivares resistentes a *S. frugiperda* es una alternativa viable, ya que este germoplasma tiene alta adaptación a las condiciones ambientales de estas regiones (Castro *et al.*, 2013), amplia variabilidad (Pecina *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2013), además se ha desarrollado bajo la presencia constante de este lepidóptero, por lo cual es fuente de características que brindan resistencia al ataque del mismo (Cantú *et al.*, 2012; Loera y

Castillo, 2015). La utilización de este germoplasma en programas de mejoramiento genético, permite la conservación, manejo y aprovechamiento de este recurso fitogenético, contribuyendo en la disminución de la pérdida y erosión genética del mismo (González *et al.*, 2014).

La planeación de un programa de fitomejoramiento, se basa en conocer el componente genético del germoplasma base utilizado (Gutiérrez *et al.*, 2004); es decir, comprender la acción génica que controla los caracteres de interés; en este sentido, la aptitud combinatoria de los progenitores permite seleccionar a aquellos con un comportamiento promedio sobresaliente en una serie de cruzamientos (Luna-Ortega *et al.*, 2013), e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento y de esta manera, definir patrones heteróticos (Guillen-de la Cruz *et al.*, 2009), los que constituyen una fuente de germoplasma para la generación de líneas élite de gran utilidad en un programa de mejoramiento dinámico; lo anterior, se puede lograr mediante la evaluación de cruzamientos dialélicos (Antuna *et al.*, 2003).

La evaluación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) mediante cruzamientos dialélicos, permite clasificar eficientemente los progenitores en base al comportamiento de su progenie (Antuna *et al.*, 2003), se considera eficaz en la identificación de fuentes útiles de germoplasma para programas de mejoramiento genético de maíz (Ávila *et al.*, 2009) en este sentido, la ACG determina la porción aditiva de los efectos genéticos que controlan la expresión de las características fenotípicas de interés, en tanto que la ACE los efectos no aditivos, esto es la acción génica de dominancia y epistasis (Camposeco *et al.*, 2015).

De esta manera, cuando existen mayores efectos de ACG, es viable aprovechar la porción aditiva de la varianza genética disponible, a través de cualquier metodología de selección recurrente; mientras que la existencia de una mayor ACE, favorece la explotación de la varianza no aditiva, mediante la implementación de un programa de selección recurrente recíproca o de hibridación (Preciado *et al.*, 2005). El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos genéticos del daño foliar provocado por *S. frugiperda* y la resistencia al mismo de líneas derivadas de germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas y sus cruzas.

Materiales y métodos

El experimento se realizó durante el ciclo primavera- verano 2015, en el Campo Experimental “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas ubicado en el municipio de Güémez, Tamaulipas, a 23° 56’ 26” de latitud norte y 99° 05’ 59” longitud oeste, a una altitud 193 msnm. Con un clima subtropical, semiseco y calido extremo, temperatura promedio anual de 23.8 °C, con una precipitación anual de 721.1 mm.

Se evaluaron seis líneas endogámicas S₃ de maíz, PWL₁S₃ y PWL₆S₃ derivadas de una población nativa de Padilla C-3001, TGL₂S₃ y TML₃S₃ derivadas de las poblaciones C-3007 y C-3012 de Tula y LINL₄S₃ y LIHL₅S₃ de las poblaciones C-3033 y C-3040 de Llera, Tam. y sus cruzas directas y recíprocas, dando un total de 36 cultivares; se establecieron en dos tratamientos, el primero con insecticida para el control de *S. frugiperda* con tres aplicaciones de Denim[®] 19 CE

(benzoato de emamectina) a una dosis de 200 ml ha⁻¹ en cada aplicación; la primera aplicación se realizó al momento de la expansión completa de la hoja 5, segunda a hoja 9 y tercera a hoja bandera y el segundo sin insecticida.

La siembra se realizó de manera manual el 11 de septiembre de 2015, los cultivares se establecieron a una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹ en condiciones de riego, se aplicó la dosis de fertilizante de 120N-60P-00K, 50% del N y 100% de P en la siembra y el resto del N en la primera escarda, 32 días después de la siembra; el control de malezas se realizó de forma manual al momento de expansión completa de las hojas 8 y 14. La parcela experimental fue un surco de 5 m de longitud y una separación de 0.80 m entre surcos, el experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de parcelas divididas, donde la parcela grande fueron los tratamientos con y sin insecticida para control de *S. frugiperda* y la parcela chica los cultivares, con tres repeticiones.

Se determinó el daño foliar por *S. frugiperda*, mediante la escala modificada de daño de Fernández y Expósito (2000) (Cuadro 1), al momento de floración masculina por planta individual en todas las plantas de la parcela experimental, para después obtener el promedio por planta.

Cuadro 1. Escala visual modificada de daño foliar provocado por *S. frugiperda* en cultivares derivados de germoplasma maíz nativo de Tamaulipas.

Grado	Características de daño
0	Ningún daño visible
1	Perforaciones en forma de ventana, circulares, alargadas pequeñas menores a 5 mm en menos de 20% del área foliar de la planta
2	Perforaciones circulares o alargadas entre 5 a 10 mm, afectando entre 20 y 40% del área foliar de la planta
3	Perforaciones circulares o alargadas mayores a 10 mm, afectando 40 a 60% del área foliar de la planta con menos de 20% de destrucción del verticilo
4	Perforaciones circulares o alargadas mayores a 10 mm, afectando entre 60 a 80% del área foliar de la planta con el verticilo destruido más de 50%
5	Perforaciones circulares o alargadas mayores a 10 mm, afectando entre 80 a 100% del área foliar de la planta con el verticilo completamente destruido

El rendimiento de grano por planta (RGP), se calculó como el producto del peso de mazorca por parcela experimental a la cosecha, por el contenido de materia seca del grano, estandarizado a 14% de humedad del grano, por la proporción del peso de grano respecto al peso total de mazorca y promediado mediante el número total de plantas por parcela. Mediante la diferencia entre tratamientos con y sin insecticida se calculó la disminución del RGP a causa del daño foliar de *S. frugiperda* en gramos y porcentaje.

Se realizó un análisis de varianza y un análisis dialélico bajo el método I de Griffing y el modelo I (efectos fijos), para determinar aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), efectos maternos (EM) y recíprocos (ER) utilizando el programa de DIALLEL-SAS05 propuesto por Zhang y Kang (2005). Por otra parte, se consideró como cultivares de baja preferencia para

S. frugiperda, aquellos que tuvieron un daño foliar inferior al valor de la media menos la varianza ($\mu - \sigma$) y cultivares de alta preferencia, a los que tuvieron un daño foliar superior al valor de la media más la varianza ($\mu + \sigma$) (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos de aplicación de insecticida para la variable daño foliar de *S. frugiperda* (Cuadro 2), con un daño foliar promedio de 0.14 en el tratamiento con insecticida, inferior al tratamiento sin insecticida con un daño foliar promedio de 1.64.

Cuadro 2. Significancia estadística de efectos genéticos de 6 líneas progenitoras S₃ de maíz y sus cruza para el daño foliar de *S. frugiperda* con y sin insecticida.

Fuente de variación	Daño foliar de <i>S. frugiperda</i>		
	Combinado	TCI	TSI
Trat	<0.001	-	-
Cruza	0.018	0.903	0.044
Cruza×trat	0.03	-	-
Acg	0.012	0.813	0.012
Ace	0.042	0.51	0.137
Acg×trat	0.035	-	-
Ace×trat	0.45	-	-
Rec	0.349	0.954	0.42
Rec×trat	0.676	-	-
Mat	0.128	0.754	0.227
Mat×trat	0.631	-	-
Nomat	0.536	0.932	0.573
Nomat×trat	0.639	-	-

TCI= tratamiento con insecticida; TSI= tratamiento sin insecticida; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica; TRAT= tratamiento de insecticida; REC= efectos recíprocos; MAT= efectos maternos; NoMAT= efectos no maternos.

También se detectaron diferencias significativas entre las cruza evaluadas para esta misma variable, esto es indicativo de la existencia de variabilidad genética para esta variable entre los progenitores; ya que de acuerdo a Guillen-de la Cruz *et al.* (2009) y De la Cruz-Lázaro *et al.* (2010) a medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores, se aumentan las diferencias entre sus cruza, tanto en características agronómicas como fisiológicas, puede causar diferencias en la tolerancia a una plaga y preferencia de la misma (Zavala, 2010) como *S. frugiperda* (Camarena, 2009). Se encontró significancia estadística ($p \leq 0.05$) para los efectos genéticos de ACG del daño foliar de *S. frugiperda*, de igual forma ocurrió para la ACE (Cuadro 2).

Esto indica que la variación entre las cruza evaluadas para el daño foliar de *S. frugiperda*, es debida tanto a acción génica aditiva y no aditiva (Camposeco *et al.*, 2015). En este sentido, la suma de cuadrados de cruza (datos no presentados) muestra que, la variación correspondiente

a efectos de ACG para el daño foliar de *S. frugiperda* fue de 25.9%, en cambio para los efectos de ACE los resultados fueron de 45.7% y para efectos recíprocos de 28.4% lo que demuestra que la variación del daño foliar fue controlada en mayor medida por efectos no aditivos (Widstrom *et al.*, 1972).

Por otra parte, para la interacción de Cruza×Trat en esta variable, se presentaron efectos significativos ($p \leq 0.05$), esto muestra evidencia del diferente daño foliar de *S. frugiperda* entre las cruzas dentro de cada uno de los tratamientos evaluados, lo cual podría ser indicativo de variabilidad genética entre estos cultivares para la preferencia de este insecto, como lo mencionan Medina *et al.* (2001); González *et al.* (2008). De igual forma, la significancia en la interacción ACG×TRAT demuestra que los efectos aditivos para esta variable se expresaron de acuerdo a la condición ambiental en la cual se desarrolló la planta es necesario, que la evaluación y selección de cultivares se lleve a cabo en diferentes condiciones ambientales, con el fin de conocer las interacciones existentes entre estos y los diversos factores involucrados en su comportamiento, tanto bióticos como abióticos (Callejas y Ochando, 2005) y de esta manera, poder identificar con mayor precisión los efectos de ACG y así posteriormente elegir los progenitores de acuerdo a las necesidades específicas del programa de mejoramiento (Yan y Hunt, 2002).

Por otra parte, no hubo significancia ($p > 0.05$) para los efectos recíprocos, ni para la interacción con tratamiento de insecticida y por lo tanto, tampoco para efectos maternos, no maternos y sus respectivas interacciones con el tratamiento de insecticida, por lo que se puede considerar que no existieron factores citoplasmáticos o extranucleares, ni interacción de estos con factores nucleares involucrados en la expresión de esta variable (Ávila *et al.*, 2009).

Tomando en cuenta la interacción significativa de ACG×TRAT (Cuadro 2), se realizó un análisis dialélico dentro de cada uno de los tratamientos, no encontrando efectos significativos de ACG en el tratamiento con insecticida; de manera contraria, se observaron efectos significativos de ACG en el tratamiento sin insecticida (Cuadro 2); en este tratamiento para la variable daño foliar por *S. frugiperda*, la línea PWL₁S₃ presentó efectos significativos de ACG con valor positivo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efectos estimados de aptitud combinatoria general en la diagonal y aptitud combinatoria específica sobre la diagonal de 30 cruzas y 6 líneas progenitoras de maíz para el daño foliar de *S. frugiperda*.

Progenitor	PWL ₁ S ₃	TGL ₂ S ₃	TML ₃ S ₃	LINL ₄ S ₃	LIHL ₅ S ₃	PWL ₆ S ₃
PWL ₁ S ₃	0.146 *	0.134	-0.166	-0.03	-0.009	-0.022
TGL ₂ S ₃		-0.042	-0.099	-0.171	-0.2 *	0.022
TML ₃ S ₃			0.108	0.002	-0.067	0.074
LINL ₄ S ₃				0.101	0.026	-0.032
LIHL ₅ S ₃					-0.177 *	-0.023
PWL ₆ S ₃						-0.137

*= significancia a $p \leq 0.05$.

De manera contraria, la línea LIHL₅S₃ tuvo efectos de ACG significativos y negativos; estos resultados indican que ambas líneas tienen una alta contribución en la expresión de la variación de esta característica, de manera positiva y negativa, en sus respectivas progenies y que los

efectos aditivos son importantes, por lo que es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética disponible en estas líneas, mediante cualquier variante de selección recurrente (Guillen-de la Cruz *et al.*, 2009; Coutiño *et al.*, 2010) para modificar la resistencia al daño de *S. frugiperda* (Widstrom *et al.*, 1992) en el resto de las líneas evaluadas no se observó significancia para este efecto (Cuadro 3).

La correlación positiva ($r = 0.62$) del daño foliar de *S. frugiperda* de los progenitores con el promedio de daño de las cruzas F_1 que forman sus respectivas progenies, corrobora que la resistencia al daño provocado por este insecto dentro de estas líneas endogámicas, está controlada por efectos aditivos (Figura 1). En este sentido, la susceptibilidad de la línea PWL_1S_3 se demuestra con un nivel de daño alto cuando se evaluó como línea *per se* (2.17) y con el promedio de daño de toda su progenie (1.71); de manera contraria, se observó un menor nivel de susceptibilidad en la línea $LIHL_5S_3$, tanto al evaluarse como línea *per se* (1.74), como cuando se evaluó su progenie (1.41); lo anterior, también demuestra la amplitud de la variabilidad fenotípica y genotípica de los progenitores evaluados.

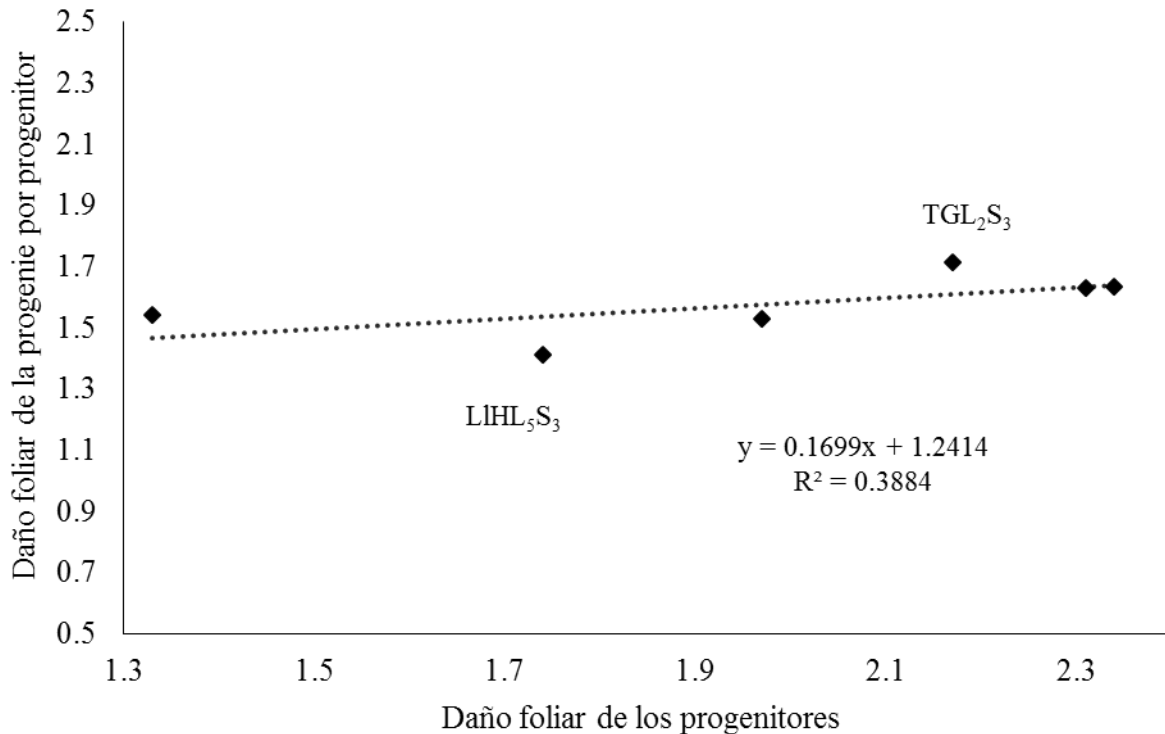


Figura 1. Relación entre daño foliar de *S. frugiperda* de los progenitores y su progenie.

Para la misma variable solo hubo efectos significativos ($p \leq 0.05$) y negativos de ACE en la cruce $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ (Cuadro 3), si se considera la ausencia de efectos recíprocos (Cuadro 2) esto indica que las cruces directa y recíproca de las líneas TGL_2S_3 y $LIHL_5S_3$ presentan un daño foliar menor al que tuvieron sus progenitores; de lo anterior se sugiere que la acción génica no aditiva está involucrada en el nivel de daño foliar por *S. frugiperda* en las cruces señaladas y que la no preferencia de este insecto por este germoplasma puede incrementarse mediante procesos de hibridación, de acuerdo a Preciado *et al.* (2005), quienes mencionan que características del maíz, controladas por efectos no aditivos pueden modificarse mediante métodos de hibridación.

La línea LIHL₅S₃, presentó significancia para efectos de ACG negativos y además es uno de los progenitores de la cruda de mayor ACE (TGL₂S₃×LIHL₅S₃) (Cuadro 3) estos resultados corroboran que en cruza de mayor ACE interviene al menos una línea de alta ACG (Reyes *et al.*, 2004; Escorcía-Gutiérrez *et al.*, 2010) puede inferirse que la alta ACG de al menos un progenitor es un indicador de mayor ACE en su progenie, por otra parte, si se considera la baja ACG de la línea TGL₂S₃ (Cuadro 3), se puede deducir la existencia de divergencia genética entre esta y la línea LIHL₅S₃ de acuerdo a lo mencionado por Romero *et al.* (2002), quienes encontraron que niveles diferenciales de ACG indican divergencia genética entre los progenitores; la cual explica la alta ACE en las cruza que participan estos dos progenitores (Cuadro 3).

El análisis de regresión entre los valores de daño foliar de cruza F₁ y el promedio de sus progenitores (Figura 2), muestra dominancia relativa exhibida por estas cruza, como una función de la heterosis. Todas las cruza F₁ tuvieron un menor daño foliar de *S. frugiperda*, en comparación a los valores promedio de sus progenitores (Figura 2) y exceptuando cuatro cruza (PWL₁S₃×PWL₆S₃, TGL₂S₃×PWL₆S₃, TML₃S₃×PWL₆S₃, LINL₄S₃×PWL₆S₃) las demás mostraron menor daño que el progenitor de menor preferencia (Cuadro 4) esto debido, a que en estas cruza participa la línea PWL₆S₃, la cual presentó el menor nivel de daño foliar (1.33) por *S. frugiperda* (Cuadro 4).

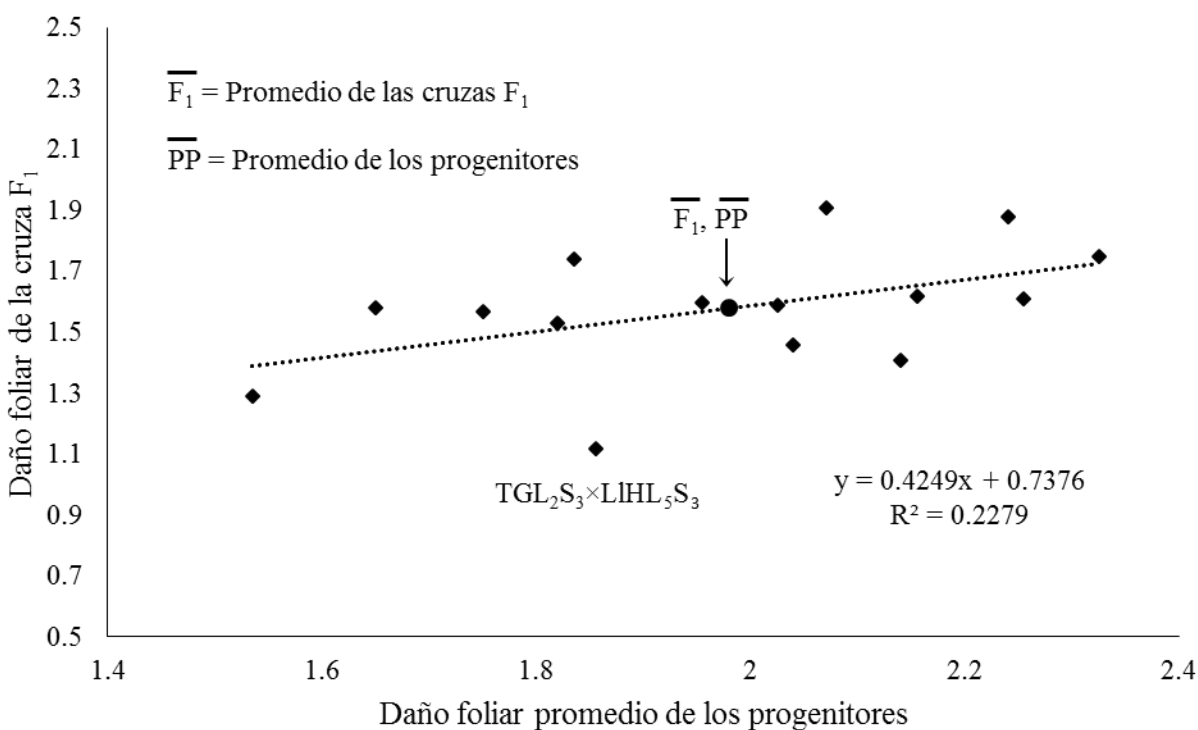


Figura 2. Relación del daño foliar de *S. frugiperda* de las cruza F₁ de maíz y el progenitor medio en condiciones sin aplicación insecticida.

Todos los puntos que se distribuyeron de manera uniforme y cercana a lo largo de la línea de tendencia, indican que la variación en el daño foliar de las cruza F₁, dependió principalmente de acción genética aditiva, de manera contraria, los efectos no aditivos (dominancia y epistasia), se identifican en puntos que se desvían considerablemente de esta línea (Figura 2). Los efectos no

aditivos negativos, se encuentran en puntos más alejados por debajo de la línea de tendencia, para el caso de las cruza directa y recíproca de las líneas TGL₂S₃ y LIHL₅S₃, esto se corrobora en el Cuadro 3, donde se observan efectos estimados de ACE negativos en la cruza de estas dos líneas.

Cuadro 4. Daño foliar por *S. frugiperda* y disminución del rendimiento de grano por planta, de líneas progenitoras de maíz y sus cruza.

Cultivar	DFoSI	Disminución del RGP	
		(g)	(%)
PWL ₁ S ₃	2.17 S*	36.08	39.9
TGL ₂ S ₃	1.97 S*	-	-
TML ₃ S ₃	2.34 S**	24.39	34.2
LINL ₄ S ₃	2.31 S**	20.4	24.6
LIHL ₅ S ₃	1.74	7.23	6.7
PWL ₆ S ₃	1.33 R*	19.09	18.5
PWL ₁ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	1.91	11.92	6.9
PWL ₁ S ₃ ×TML ₃ S ₃	1.61	38.04	32.7
PWL ₁ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	1.88	18.53	15.1
PWL ₁ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	1.6	29.8	28.2
PWL ₁ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	1.57	-	-
TGL ₂ S ₃ ×TML ₃ S ₃	1.62	15.29	16.7
TGL ₂ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	1.41	17.54	9.1
TGL ₂ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	1.12 R*	19.05	15.8
TGL ₂ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	1.58	30.14	24.5
TML ₃ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	1.75	-	-
TML ₃ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	1.46	25.98	24.8
TML ₃ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	1.74	15.76	12.8
LINL ₄ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	1.59	26.12	23.2
LINL ₄ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	1.53	26.32	21.6
LIHL ₅ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	1.29 R*	40.37	32.1

DFoSI= daño foliar de *S. frugiperda* en tratamiento sin insecticida; RGP= rendimiento de grano por planta; S**= valores mayores que $\mu+2\sigma$; S*= valores mayores que $\mu+\sigma$, R*= valores menores que $\mu-\sigma$.

En la Figura 2, la dispersión de la mayoría de los puntos se estableció a lo largo de la línea de regresión, corroborando los resultados del análisis dialélico, que mostraron efectos significativos de ACG que favorecen menor daño foliar en la progenie de estas líneas, establecidas en condiciones sin insecticida. Igualmente, se observan puntos que se desvían considerablemente de la línea de regresión y predominan valores de daño inferiores en las cruza F₁, en comparación a sus progenitores (efectos no aditivos negativos), como en la cruza TGL₂S₃×LIHL₅S₃, lo que sugiere dominancia positiva para la resistencia al ataque de *S. frugiperda*.

La expresión genética de las cruza y los progenitores, determinada por los valores medios del daño foliar por *S. frugiperda* en el tratamiento sin insecticida, mostró una amplia variación, las cruza TGL₂S₃×LIHL₅S₃ y LIHL₅S₃×PWL₆S₃ y el progenitor PWL₆S₃ tuvieron un daño foliar inferior a 1.35, dentro de las cuales sobresale la cruza TGL₂S₃×LIHL₅S₃, con el menor nivel de

daño foliar (1.12) (Cuadro 4) y con mayores efectos estimados de ACE (Cuadro 3), por lo cual, se puede considerar que estos cultivares presentan baja preferencia por parte de *S. frugiperda* (Casmuz *et al.*, 2010). Por lo anterior, la línea LIHL₅S₃ es una buena opción para ser utilizada en programas de mejoramiento, especialmente para la derivación de líneas de mayor endogamia con alta ACG para baja preferencia de *S. frugiperda* o bien en un programa de hibridación aprovechando la alta ACE que mostró con la línea TGL₂S₃ (Cuadro 3).

Por otra parte, para el daño foliar de *S. frugiperda* en el tratamiento sin insecticida, se observó que las líneas PWL₁S₃, TML₃S₃ y LINL₄S₃ presentaron un promedio superior a 2 con una disminución del rendimiento de grano promedio de 32.9% (Cuadro 4), a estas líneas se les puede considerar con alta preferencia de parte de *S. frugiperda* y susceptibles al daño foliar provocado por esta plaga, mientras que la línea TGL₂S₃, a pesar de tener un daño superior a 1.9 no registró disminución del rendimiento de grano, se le puede considerar con alta preferencia de parte de *S. frugiperda*, pero con tolerancia al daño foliar provocado por este insecto; por último, la línea PWL₆S₃ presentó el menor daño foliar (1.33) en consecuencia la disminución del rendimiento de grano debido a este daño solo fue del 18.5% (Cuadro 4).

Dentro de las cruzas evaluadas, la PWL₁S₃×TGL₂S₃, PWL₁S₃×LINL₄S₃, TML₃S₃×LINL₄S₃ y TML₃S₃×PWL₆S₃ presentaron un daño foliar promedio superior a 1.7, pero un bajo nivel de reducción del rendimiento de grano, inferior a 15.5% (Cuadro 4), por lo que se puede inferir que estas cruzas presentan tolerancia al daño foliar provocado por *S. frugiperda* (Casmuz *et al.*, 2010) de manera contraria, las cruzas PWL₁S₃×TML₃S₃, LIHL₅S₃×PWL₆S₃ y PWL₁S₃×LIHL₅S₃ tuvieron un daño foliar inferior a 1.62, pero tuvieron una disminución del rendimiento de grano del 32.7, 32.1 y 28.2% respectivamente y se puede considerar que tienen un bajo nivel de tolerancia al daño foliar; por último, la crusa TGL₂S₃×LIHL₅S₃ tuvo un bajo daño foliar (1.29) de *S. frugiperda* y en consecuencia una reducción del rendimiento de grano de solo 15.8% (Cuadro 4).

Conclusiones

Dentro del germoplasma evaluado existe resistencia a *S. frugiperda*, tanto por no preferencia como por tolerancia al daño foliar, lo que provocó una menor disminución del rendimiento de grano a causa de la incidencia de esta plaga; de manera general, existió heterosis para la no preferencia de esta plaga, por lo cual este germoplasma puede ser considerado como fuente de características que brindan resistencia a *S. frugiperda*.

La variación del daño foliar de *S. frugiperda* en el germoplasma evaluado, dependió tanto de efectos aditivos como de no aditivos, y los efectos aditivos dependieron de la condición de aplicación o sin insecticida, considerando que es factible la inclusión de este germoplasma en programas de selección o hibridación para el mejoramiento de la resistencia a *S. frugiperda*.

Los efectos de tipo no aditivo fueron de mayor importancia para el daño foliar provocado por *S. frugiperda* en el germoplasma evaluado, por lo cual procesos de mejoramiento mediante selección recurrente recíproca o hibridación son viables.

Literatura citada

- Ahmad, M. and Arif, M. I. 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Prot.* 29:1428-1433.
- Antuna, G. O.; Rincón, S. F.; Gutiérrez, R. E.; Ruiz, T. N. A. y Bustamante, G. L. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 26:11-17.
- Ávila, P. M. A.; Rodríguez, H. S. A.; Vázquez, B. M. E.; Borrego, E. F.; Lozano, R. A. J. y López, B. A. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agric. Téc. Méx.* 3:285-293.
- Barrientos, G. J. E.; Huerta, de la P. A.; Escobedo, G. J. S. y López, O. J. F. 2013. Manejo convencional de *Spodoptera exigua* en cultivos del municipio de Los Reyes de Juárez, Puebla. *Rev. Méx. Cienc. Agríc.* 4:1197-1208.
- Blanco, J. C. A.; Pellegaud, G.; Nava, C. U.; Lugo, B. D.; Vega, A. P.; Coello, J.; Terán, V. A. P. and Vargas, C. J. 2014. Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of integrated pest management programs. *J. Integ. Pest Manag.* 5:1-9.
- Callejas, C. y Ochando, M. D. 2005. Variabilidad genética en *Bemisia tabaci* (Gennadius) en mecanismos de resistencia inducida en plantas de tomate. *Bol. San. Veg. Plagas.* 31:71-77.
- Camarena, G. G. 2009. Señales en la interacción planta insecto. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Ambiente.* 15:81-85.
- Camposeco, M. N.; Robledo, T. V.; Valdez, A. L. A.; Ramírez, G. F.; Mendoza, V. R. y Benavides, M. A. 2015. Estimación de la aptitud combinatoria en poblaciones de tomate de cáscara. *Rev. Méx. Cienc. Agríc.* 6:437-451.
- Cantú, A. M. A.; Reyes, M. C. A. y Rodríguez, B. L. A. 2012. La fecha de siembra: una alternativa para incrementar la producción de maíz. *Fundación Produce Tamaulipas, AC.* 7-15 pp.
- Casmuz, A.; Juárez, M. L.; Socías, M. G.; Murúa, M. G.; Prieto, S.; Medina, S.; Willink, E. y Gastaminza, G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 69:209-231.
- Castro; N. S.; López, S. J. A.; Pecina, M. J. A.; Mendoza, C. M. C. y Reyes, M. C. A. 2013. Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. *Rev. Méx. Cienc. Agríc.* 4:645-653.
- Coutiño, E. B.; Vidal, M. V. A.; Cruz, G. B. y Cruz, V. C. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Rev. Fitotec. Méx.* 33:57-61.
- De la Cruz, L. E.; Castañón, N. G.; Brito, M. N. P.; Gómez, V. A.; Robledo, T. V. y Lozano, R. A. J. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton.* 79:11-17.
- Devine, G. J.; Eza, D.; Ogusuku, E. y Furlong, M. J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública.* 25:74-100.
- Escorcia, G. N.; Molina, G. J. D.; Castillo, G. F. y Mejía, C. J. A. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Méx.* 33:271-279.
- Fernández, J. L. y Expósito, I. E. 2000. Nuevo método para el muestreo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) en el cultivo del maíz en Cuba. *Centro Agrícola.* 27:32-38.

- García, A. G. y Martínez, F. R. 2010. Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechado y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán, Puebla. *Rev. Mex. Biod.* 81:15-20.
- García, S. J. A. y Ramírez, J. R. 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa. *Rev. Fitotec. Méx.* 1:69-77.
- González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Franco, M. O.; Balbuena, M. A.; Ramos, M. A.; Sahagún, C. J. 2008. Variabilidad genética, diversidad fenotípica e identificación de poblaciones sobresalientes de maíz cacahuacintle. *Ciencia Ergo. Sum.* 3:297-305.
- González, M. J.; López, S. J. A.; Briones, E. F.; Varela, F. S. E.; Reyes, M. C. A. y Pecina, M. J. A. 2014. Programa de manejo, conservación y mejoramiento de maíz nativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la UAT. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.* 62:77-84.
- Guillen, de la C. P.; de la Cruz, L. E.; Castañón, N. G.; Osorio, O. R.; Brito, M. N. P.; Lozano, del R. A. y López, N. U. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Trop. Subt. Agroecosys.* 10:101-107.
- Gutiérrez, R. E.; Espinoza, B. A.; Palomo, G. A.; Lozano, G. J. y Antuna, G. O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Méx.* 27:7-11.
- Hruska, A. J. and Gould, F. 1997. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 90: 611-622.
- Loera, G. J. y Castillo, T. H. 2015. Control del gusano cogollero en maíz. INIFAP boletín informativo. Boletín electrónico año 1. núm. 3. 2 p.
- Luna, O. J. G.; García, H. J. L.; Valdez, C. R. D.; Gallegos, R. M. Á.; Preciado, R. P.; Guerrero, G. C. y Espinoza, B. A. 2013. Aptitud combinatoria y componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia.* 29:243-253.
- Martínez, P. H. Y.; Hernández, D. S.; Reyes, M. C. A. y Vázquez, C. G. 2013. El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: Problemática y Perspectivas. 31:126-146.
- Medina, M.; Abadie, T.; Vilaró, D. y Ceretta, S. 2001. Estudio metodológico de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay. *Agrociencia Uruguay.* 5:23-31.
- Pecina, M. J. A.; Mendoza, C. M. C.; López, S. J. A.; Castillo, G. F.; Mendoza, R. M. y Ortiz, C. J. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Méx.* 34:85-92.
- Preciado, O. R. E.; Terrón, I. A. D.; Gómez, M. N. O. y Robledo, G. E. I. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.* 16:145-151.
- Reséndiz, R. Z.; López, S. J. A.; Briones, E. F.; Mendoza, C. M. C. y Varela, F. S. E. 2014. Situación actual de los sistemas de producción de grano de maíz en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.* 62:70-76.
- Reséndiz, R. Z.; López, S. J. A.; Osorio, H. E.; Estrada, D. B.; Pecina, M. J. A.; Mendoza, C. M. C. y Reyes, M. C. A. 2016. Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología.* 20:3-14.

- Reyes, M. C. A. y Cantú, A. M. A. 2004. H-437, H-439 y H-440: nuevos híbridos trilineales de maíz de grano blanco para el noreste de México y regiones similares. *In*: Castillo, T. H.; González, Q. J. y Garza, G. L. (Eds.). Día del agricultor 2004. INIFAP-CIRNE. México, D. F. 10-12. pp.
- Rodríguez, del B. L. A.; Cantú, A. M. A. and Reyes, M. C. A. 2010. Effect of planting date and hybrid selection on *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) damage on maize ears in Northeastern México. *Southwestern Entomologist*. 35:157-164.
- Romero, P. J.; Castillo, G. F. y Ortega, P. R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Méx.* 25:107-115.
- Turrent, F. A.; Wise, T. A. y Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Mexican Rural Development Research Report No. 24, octubre 2012 Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Valdez, T. J. B.; Soto, L. F.; Osuna, E. T. y Báez, S. M. A. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). *Agrociencia*. 46:399-410.
- Widstrom, N. W.; Williams, W. P.; Wiseman, B. R. and Davis, F. M. 1992. Recurrent selection for resistance to leaf feeding by fall armyworm on maize. *Crop Sci.* 32:1171-1174.
- Widstrom, N. W.; Wiseman, B. R. and McMillian, W. W. 1972. Resistance among some maize inbreds and single crosses to fall armyworm injury. *Crop Sci.* 12:290-292.
- Yan, W. and Hunt, L. A. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42:21-30.
- Zavala, J. A. 2010. Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. *Ciencia Hoy*. 20:52-59.
- Zhang, Y. and Kang, M. S. 2005. DIALLEL-SAS05: a comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97:1097-1106.