



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Reséndiz Ramírez, Zoila; López Santillán, José Alberto; Estrada Drouaillet, Benigno;
Osorio Hernández, Eduardo; Pecina Martínez, José Agapito; Mendoza Castillo, Ma. del
Carmen

Efectos genéticos de la resistencia a *Spodoptera frugiperda* en líneas de maíz derivadas
de germoplasma nativo de Tamaulipas

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 6, agosto-septiembre, 2017, pp.
1329-1341

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153306008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efectos genéticos de la resistencia a *Spodoptera frugiperda* en líneas de maíz derivadas de germoplasma nativo de Tamaulipas*

Genetic effects of *Spodoptera frugiperda* resistance in maize lines derived from germplasm native of Tamaulipas

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

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). ²Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. CP. 56230. (jpecina@colpos.mx; camen@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: jalopez@uat.edu.mx.

Resumen

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) daña al maíz durante todo el ciclo biológico de la planta; una opción para esta problemática es el desarrollo y utilización de cultivares resistentes; para ello, es necesario conocer el comportamiento genético de las características que inducen esta resistencia. Se evaluó genéticamente la resistencia a *S. frugiperda* por no preferencia de cultivares de maíz desarrollados con germoplasma nativo de Tamaulipas; en el ciclo otoño-invierno 2014-2015, en Güémez, Tamaulipas, en tratamientos de fertilización y no fertilización se evaluaron seis líneas endogámicas de maíz derivadas de germoplasma nativo, sus cruza directas y recíprocas y cuatro híbridos comerciales, en un diseño de bloques completos al azar; se realizó un análisis dialélico para determinar efectos maternos, recíprocos, de aptitud combinatoria general y específica; el daño foliar por *S. frugiperda* se estimó en las etapas de sexta hoja ligulada (DFH6), décima (DFH10) y a floración (DFHF). Hubo menor daño de *S. frugiperda* en el tratamiento de fertilización comparado con el de no fertilización; también diferencias estadísticas entre cultivares para el DFH6 e interacción significativa entre cultivares y tratamientos de fertilización.

Abstract

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) damage maize throughout the life cycle of the plant; one option for this problem is the development and use of resistant cultivars; for this, it is necessary to know the genetic behavior of the characteristics that induce this resistance. *S. frugiperda* resistance was genetically evaluated by no preference of maize cultivars developed with germplasm native of Tamaulipas; in the autumn-winter cycle 2014-2015, in Güémez, Tamaulipas, in fertilization and non-fertilization treatments, six inbred maize lines derived from native germplasm, its direct and reciprocal crosses and four commercial hybrids were evaluated in a complete random block design; a diallel analysis was performed to determine maternal, reciprocal, general and specific combinatorial effects; leaf damage by *S. frugiperda* was estimated in the stages of the sixth ligulate leaf (DFH6), tenth (DFH10) and flowering (DFHF). There was minor damage of *S. frugiperda* in the fertilization treatment compared to the non fertilization one; also statistical differences between cultivars for DFH6 and significant interaction between cultivars and fertilization treatments.

* Recibido: abril de 2017
Aceptado: julio de 2017

Las cruzas $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ y $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ tuvieron efectos de aptitud combinatoria específica negativa; la primera mostró efectos recíprocos significativos debido a efectos maternos de la línea PWL_1S_3 , esto evidencia que la variación existente para esta característica se explica mediante efectos maternos y no aditivos; además, presen DFH6 de *S. frugiperda* de 0.867 demostrando menor preferencia del insecto en comparación al resto de los cultivares.

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

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) se cultiva en todas las regiones agrícolas de Tamaulipas, en el norte con fines de comercialización, y en el centro y sur también para autoconsumo. Debido a la amplia variabilidad agroecológica de estas regiones, en algunas ocasiones los cultivares no expresan su potencial de rendimiento, sobre todo en áreas con temperatura alta y restricción de humedad. El ataque de plagas es otro factor que provoca disminución del rendimiento y calidad del grano de maíz, siendo el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) una de las más importantes (Casmuz *et al.*, 2010). Esta plaga se presenta durante todo el ciclo biológico de la planta provocando daño durante el estadio larval (Nexticapan-Garcéz *et al.*, 2009), la infestación más alta se presenta durante la etapa vegetativa, en la cual la larva se alimenta preferentemente de tejidos en desarrollo, perfora las hojas y llega a eliminar láminas completas (Casmuz *et al.*, 2010), en etapas avanzadas de desarrollo de la planta esta plaga también puede dañar inflorescencias, grano e incluso el raquis de la mazorca (Bruns y Abbas, 2006).

En México el control de esta plaga se hace por métodos químicos, lo que aumenta los costos de producción y disminuye la rentabilidad del cultivo; además, la aplicación de insecticidas químicos son fuente de contaminación del suelo y agua, favorece la eliminación de fauna benéfica y el desarrollo de resistencia genética de las poblaciones de insectos plaga (Negrete y Morales, 2003). En otros países el manejo de esta plaga se ha realizado mediante la utilización de cultivares transgénicos (Díaz, 2015), lo cual puede provocar el desarrollo de resistencia a las toxinas Cry en las poblaciones de *S. frugiperda* que interaccionan con este tipo de cultivares (Casmuz *et al.*, 2010), a pesar de múltiples intentos de liberación de siembra de transgénicos de maíz

$PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ y $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ crosses had negative effects of specific combining ability; the first showed significant reciprocal effects due to maternal effects of the PWL_1S_3 line, this shows that the variation for this feature is explained by maternal effects and no additives; additionally DFH6 of *S. frugiperda* of 0.867 showing lower preference of the insect in comparison to the rest of the cultivars.

Keywords: *Zea mays* L., combining ability, diallel, fall armyworm.

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is grown in all agricultural regions of Tamaulipas, in the north for marketing purposes, and in central and south also for own consumption. Due to the wide agroecological variability of these regions, in some cases the cultivars do not express its yield potential, especially in areas with high temperature and humidity restriction. Pest attack is another factor that causes decreased yield and quality of maize grain, being the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) one of the most important (Casmuz *et al.*, 2010). This pest occurs throughout the life cycle of the plant causing damage during larval stage (Nexticapan-Garcéz *et al.*, 2009), the highest infestation occurs during the vegetative stage, in which the larvae feeds preferably on tissue developing, it pierces the leaves and manage to remove full sheets (Casmuz *et al.*, 2010), in advanced stages of plant development this pest can also damage inflorescences, grain and even the rachis of the cob (Bruns and Abbas, 2006).

In México the control of this pest is generally done by chemical methods, which increases the production costs and decreases the profitability of the crop; in addition, the application of chemical insecticides is a source of soil and water pollution, that favors the elimination of beneficial fauna and the development of genetic resistance of pest insect populations (Negrete and Morales, 2003). In other countries the management of this pest has been performed using transgenic cultivars (Díaz, 2015), which can cause the development of Cry toxins resistance to in *S. frugiperda* populations that interact with this type of cultivars (Casmuz *et al.*, 2010), despite multiple attempts to release the planting of transgenic maize in México, its use is not considered feasible (Massieu, 2009) due to various factors such as

en México, su utilización no se considera viable (Massieu, 2009), debido a diversos factores como posible afectación a la salud humana y contaminación de la diversidad genética del germoplasma de maíz nativo (Reséndiz *et al.*, 2016).

En Tamaulipas no se ha aprovechado toda la diversidad del germoplasma de maíz nativo, aun cuando se ha demostrado que es un recurso genético de alto valor, pues solo se ha utilizado de manera limitada para el desarrollo de algunas variedades de polinización libre, líneas e híbridos (Pecina *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2013), por otra parte, este germoplasma se ha desarrollado en áreas con infestación natural de *S. frugiperda*; por lo que, dentro de las poblaciones podrían existir alelos útiles para mejorar la resistencia a la plaga.

La resistencia del maíz a plagas, específicamente a *S. frugiperda*, puede deberse a uno o la combinación de tres mecanismos: tolerancia, antibiosis y antixenosis, este último, se refiere a la no preferencia del insecto por la planta para oviposición, refugio o consumo (Saldúa y Castro, 2011), mecanismo dependiente de múltiples factores químicos y mecánicos (Vivanco *et al.*, 2005), los cuales son heredables, poligénicos (Fernández-Northcote, 1991) y de alta interacción con el ambiente, que permiten que la planta no sea elegida por el insecto, cuando se compara con cultivares susceptibles o preferidos (Badii y Garza, 2007). Entonces, el mejoramiento genético puede ser una herramienta útil para la obtención de cultivares resistentes a esta plaga; para esto, es necesario conocer en el germoplasma base utilizado, el tipo de acción génica que controla las características que brindan esta resistencia, para así plantear un programa eficiente de mejoramiento genético (Vanegas-Angaritas *et al.*, 2007).

Una decisión importante para el éxito de un programa de mejoramiento genético es la elección del germoplasma (Bänziger *et al.*, 2012) los estudios de cruza dialélicas son herramientas que permiten estimar efectos genéticos de aptitud combinatoria general y específica, efectos recíprocos, maternos y no maternos en líneas y poblaciones base o premejoradas, cuya información permite definir pares heteróticos (Griffing, 1956; Guillen *et al.*, 2009) que se utilizan para el desarrollo de líneas elite e híbridos comerciales de maíz; asimismo, en muestreos aleatorios de líneas, es posible estimar la heredabilidad, la varianza genética y sus caracteres de importancia económica.

Los efectos de aptitud combinatoria general están asociados con la varianza genética aditiva, la cual puede aprovecharse mediante métodos de selección recurrente, y los de aptitud

possible effects on human health and pollution of the genetic diversity of native maize germplasm, among others (Reséndiz *et al.*, 2016).

In Tamaulipas, all the diversity of native maize germplasm has not been exploited, even though it has been shown to be a high-value genetic resource, since it has only been used in a limited way for the development of some varieties of free pollination, lines and hybrids (Pecina *et al.*, 2011; Castro *et al.*, 2013), moreover, this germplasm has been developed in areas with constant natural infestation of *S. frugiperda*; so that within the populations there could be useful alleles as a source to improve resistance to pest attack.

Maize resistance to pests, specifically to *S. frugiperda*, can be caused by one or a combination of three mechanisms: tolerance, antibiosis and antixenosis latter refers to non-preference by the plant for insect oviposition, shelter or consumption (Saldúa and Castro, 2011), which is a dependent mechanism of multiple chemical and mechanical factors (Vivanco *et al.*, 2005), which are inheritable, polygenic (Fernández-Northcote 1991) and of high interaction with the environment, enabling the plant not to be chosen by the insect when compared to susceptible or preferred cultivars (Badii and Garza, 2007). Thus, genetic improvement can be a useful tool for obtaining cultivars resistant to this plague; for this, it is necessary to know the basis germplasm used, the type of gene action that controls features that provide this resistance, thus planning an efficient breeding program (Vanegas-Angaritas *et al.*, 2007).

An important decision for the success of a breeding program is the germplasm choice (Bänziger *et al.*, 2012) studies of diallel crosses are tools for estimating genetic effects of general and specific combinatorial ability, reciprocal effects, maternal and no maternal lines and basis populations or premejoradas, which information allows to define heterotic pairs (Griffing, 1956; Guillen *et al.*, 2009) which are used to develop commercial elite maize lines and hybrids; likewise, in random sampling of lines, it is possible to estimate heritability, genetic variance and its components in characters of economic importance.

The effects of general combinatorial ability are associated with additive genetic variance, which can be exploited by recurrent selection methods, and those of specific combining ability to non-additive genetic variance, which can be used in a hybridization program (Ávila *et al.*, 2009).

combinatoria específica a la varianza genética no aditiva, que pueden utilizarse en un programa de hibridación (Ávila *et al.*, 2009). De acuerdo a lo anterior, la determinación de la aptitud combinatoria general y específica del germoplasma de maíz para características de resistencia a *S. frugiperda*, permite clasificar los genotipos para su aprovechamiento en un programa de mejoramiento genético e identificar individuos que generen progenies con resistencia a esta plaga. Por otra parte, condiciones de tensión ambiental, como restricción de humedad o deficiencias nutrimentales favorecen el ataque de *S. frugiperda* al maíz, por lo que se considera que tales condiciones pueden permitir la diferenciación de los niveles de resistencia de cada cultivar a esta plaga, facilitando la selección de cultivares resistentes. El objetivo de este trabajo fue evaluar genéticamente la resistencia “por no preferencia” a *S. frugiperda* de cultivares de maíz derivados de germoplasma nativo del centro y sur de Tamaulipas, evaluados bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Materiales y métodos

Durante el ciclo otoño-invierno 2014-2015 en el Campo Experimental “Ing. Herminio García González” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Güémez, Tamaulipas, se evaluaron seis líneas S₃ de maíz derivadas de germoplasma nativo del centro y sur del estado; dos líneas de poblaciones nativas de Padilla (PWL₁S₃ y PWL₆S₃), dos de Tula (TGL₂S₃ y TML₃S₃) y dos de Llera, Tam. (LINL₄S₃ y LIHL₅S₃), 15 cruza directas y 15 recíprocas, además cuatro híbridos comerciales como testigos (H-439, H-440, H-443 y G-8801), siendo un total de 40 cultivares. Los cultivares se establecieron en dos tratamientos de fertilización: en el primero se aplicó la fórmula 120N-60P-00K, donde 50% del N y 100% de P se aplicó en la siembra, el resto del N en la primera escarda y en el segundo tratamiento no se aplicó fertilización (00N-00P-00K). El experimento fue en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con arreglo en parcelas divididas, la parcela grande fue el tratamiento de fertilización y la parcela chica los cultivares, la unidad experimental constó de un surco de 5 m de longitud con 0.8 m de separación entre surcos.

El experimento se estableció en condiciones de riego, en una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹, la siembra se realizó de forma manual el 20 de febrero de 2015 y el control de maleza se hizo manualmente. Se determinó el daño foliar por *S. frugiperda* en las etapas fenológicas de sexta (DFH6) y décima (DFH10) hoja ligulada y a floración

According to the above, the determination of the general and specific combining ability of maize germplasm for resistance characteristics against *S. frugiperda*, allows the classification of genotypes for its use in breeding programs and to identify individuals who generate progeny with resistance to this plague. Moreover, environmental stress conditions, such as moisture restriction or nutritional deficiencies favor the attack of *S. frugiperda* to maize, so it is considered that such conditions can enable differentiation of the resistance levels of each cultivar to this pest, facilitating the selection of resistant cultivars. The objective of this research was to genetically evaluate the resistance “for non-preference” of *S. frugiperda* to maize cultivars derived from native germplasm from central and southern Tamaulipas, evaluated under different fertilization treatments.

Materials and methods

During the autumn-winter 2014-2015 cycle in the Campo Experimental “Ing. Herminio García González” of the Universidad Autónoma de Tamaulipas, in Güémez, Tamaulipas, six S₃ maize lines derived from native germplasm of central and southern Tamaulipas were evaluated; two lines of native populations from Padilla (PWL₁S₃ y PWL₆S₃), two from Tula (TGL₂S₃ y TML₃S₃) and two from Llera, Tam. (LINL₄S₃ y LIHL₅S₃), 15 direct and 15 reciprocal crosses, plus four commercial hybrids as controls (H-439, H-440, H-443 y G-8801), with a total of 40 cultivars. The cultivars were established in two fertilization treatments: in the first one the 120N-60P-00K formula was applied, where 50% of N and 100% of P was applied in the sowing, the rest of the N in the first weeding and in the second treatment no fertilization was applied (00N-00P-00K). The experiment was established in a randomized complete block design with three replicates, with a split plot arrangement, the large plot was the fertilizer treatment and the small plot the cultivars, the experimental unit consisted of a 5 m long furrow with 0.8 m of furrow spacing.

The experiment was set under irrigation, in a population density of 50 000 plants ha⁻¹, planting was done manually on February 20th, 2015, and weed control was performed manually. Leaf damage by *S. frugiperda* was determined in the phenological stages of sixth (DFH6) and tenth (DFH10) ligulate leaf and at flowering (DFHF) by a damage scale from

(DFHF), mediante una escala de daño de 0 a 5 (Cuadro 1), la identificación del daño provocado por este insecto se realizó de acuerdo las características específicas descritas por Casmuz *et al.* (2010); Fernández y Esposito (2000), las mediciones se hicieron en una muestra de cinco plantas por parcela experimental y se obtuvo el promedio por planta.

0 to 5 (Table 1), the identification of the damage caused by this insect it was performed according the specific features described by Casmuz *et al.* (2010); Fernández and Esposito (2000), the measurements were made in a sample of five plants per experimental plot and the average per plant was obtained.

Cuadro 1. Escala visual de daño foliar ocasionado por *S. frugiperda* a cultivares de maíz desarrollados a partir de germoplasma nativo del centro y sur de Tamaulipas.

Table 1. Visual scale of leaf damage caused by *S. frugiperda* to maize cultivars developed from native germplasm of central and southern Tamaulipas.

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

A los valores promedio por unidad experimental de 1 a 5 de la escala visual, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey (0.05), se utilizó el programa DIALLEL-SAS05 (Zhang *et al.*, 2005) para hacer un análisis dialélico bajo el método I de Griffing y el modelo I (efectos fijos), y estimar efectos de aptitud combinatoria general, específica y recíprocos, este programa permitió la división de los efectos recíprocos en maternos y no maternos.

To the average values in each experimental plot from 1 to 5 of the visual scale, a variance analysis and Tukey comparison test (0.05) were performed, the DIALLEL-SAS05 (Zhang *et al.*, 2005) program was used to perform a diallel analysis under the Griffing method I and the model I (fixed effects), and to estimate general, specific and reciprocal combinatorial ability effects, this program allowed the division of the reciprocal effects in maternal and non maternal.

Resultados y discusión

Results and discussion

Para el DFH6 hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cultivares y tratamientos de fertilización, mientras que la interacción cultivares×tratamientos de fertilización fue altamente significativa ($p < 0.01$), estos resultados indican que los cultivares tuvieron DFH6 diferente entre sí, dependiendo del tratamiento de fertilización; de igual manera el efecto del tratamiento de fertilización sobre esta variable también dependió del cultivar evaluado (Cuadro 2).

For DFH6 there were significant differences ($p < 0.05$) between cultivars and fertilization treatments, while the cultivars×fertilizer treatments interaction was highly significant ($p < 0.01$), these results indicate that the cultivars had DFH6 different from each other, depending on the fertilization treatment; the effect of fertilization treatment on this variable also depended on the evaluated cultivar (Table 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza combinado de 40 cultivares de maíz en dos tratamientos de fertilización para el daño foliar de *S. frugiperda*.

Table 2. Results of combined analysis of variance of 40 maize cultivars in two fertilization treatments for leaf damage by *S. frugiperda*.

FV	GL	SC	CM	F	Pr>F
Rep	2	4.246	2.123	6.87	0.001
TF	1	105.603	105.603	341.82	0.001
Rep×TF	2	0.492	0.246	0.8	0.452
Cultivares	39	19.547	0.501	1.62	0.02
Cultivares×TF	39	23.251	0.596	1.93	0.002
Error	156	48.195	0.309		
CV	45.066				

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; Rep= repetición; TF= tratamiento de fertilización; CV= coeficiente de variación.

Por otra parte, para el DFH10 y DFHF se observaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización, y de forma contraria entre cultivares y para la interacción cultivar×tratamiento de fertilización no existió significancia estadística (datos no presentados); se observó un mayor DFH10 y DFHF en el tratamiento de no fertilización (1.09 y 0.633 respectivamente) en comparación al tratamiento de fertilización (0.603 y 0.4 respectivamente), lo anterior corrobora que, una condición de menor disponibilidad de nutrientes para la planta de maíz provoca una mayor susceptibilidad a plagas como *S. frugiperda* (Altieri y Nicholls, 2006), lo que favorece la evaluación y selección eficiente de cultivares resistentes a esta plaga. La ausencia de diferencia entre cultivares para el DFH10 y DFHF, se debió a una disminución en la incidencia y daño foliar de esta plaga en etapas más avanzadas del ciclo biológico del cultivo, lo cual demuestra que este insecto presenta una mayor incidencia en etapas anteriores a la iniciación floral en el maíz (Murúa *et al.*, 2006; Casmuz *et al.*, 2010).

Tomando en cuenta los resultados de la interacción cultivar×tratamiento de fertilización para el DFH6, cada uno de los factores principales se analizó dentro de cada uno de los niveles del otro factor; en este sentido, el tratamiento de no fertilización solamente favoreció un mayor daño foliar de *S. frugiperda* en cuatro cruces, de las 30 evaluadas: PWL₆S₃×LIHL₅S₃, PWL₆S₃×LINL₄S₃, LINL₄S₃×LIHL₅S₃ y PWL₆S₃×TML₃S₃, y en el testigo H-440 en comparación al tratamiento de fertilización, con DFH6 promedio en el tratamiento de no fertilización de 2.639 y en el de fertilización de 0.466 (Cuadro 3), el resto de los cultivares evaluados no mostraron efectos significativos en el DFH6

On the other hand, for DFH10 and DFHF, significant differences were observed between fertilization treatments, and in the opposite way between cultivars and for the cultivar×fertilization treatment interaction there was no statistical significance (data not shown); a higher DFH10 and DFHF was observed in the non-fertilization treatment (1.09 and 0.633 respectively) compared to the fertilization treatment (0.603 and 0.4 respectively), this corroborates that, a condition of less nutrients availability for the maize plant causes increased susceptibility to pests such as *S. frugiperda* (Altieri and Nicholls, 2006), which promotes efficient evaluation and selection of cultivars resistant to this pest. The absence of difference between cultivars for DFH10 and DFHF was due to a decrease in the incidence and leaf damage of this pest in later stages of the crop biological cycle, which shows that this insect has a higher incidence in stages prior to flowering in maize (Murúa *et al.*, 2006; Casmuz *et al.*, 2010).

Taking into account the results of the cultivar×fertilization treatment interaction for the DFH6, each of the major factors was analyzed within each of the other factor levels; in this sense, the non fertilization treatment only favored a higher leaf damage of *S. frugiperda* in four of 30 evaluated crosses: PWL₆S₃×LIHL₅S₃, PWL₆S₃×LINL₄S₃, LINL₄S₃×LIHL₅S₃ and PWL₆S₃×TML₃S₃, and in the H-440 control compared to fertility treatment with DFH6 average in non fertilization treatment of 2.639 and in the fertilization of 0.466 (Table 3), the rest of the evaluated cultivars did not show significant effects on DFH6 between fertilization treatments; this shows that the nutrients availability in the soil for the maize plant can influence on the susceptibility level the attack by *S. frugiperda* (Granados and Paliwal, 2001) and this effect depends on the cultivar (Granados, 2001).

entre los tratamientos de fertilización; lo anterior muestra, que la disponibilidad de nutrientes en el suelo para la planta de maíz puede influir sobre el nivel de susceptibilidad al ataque de *S. frugiperda* (Granados y Paliwal, 2001) y este efecto depende del cultivar (Granados, 2001).

Por otra parte, no se observaron diferencias estadísticas significativas para DFH6 entre cultivares en el tratamiento con fertilización, de manera contraria, en el tratamiento de no fertilización el cultivar PWL₆S₃×LIHL₅S₃ tuvo un DFH6 de 2.933, estadísticamente mayor a lo observado en los cultivares PWL₁S₃×PWL₆S₃, TML₃S₃×LIHL₅S₃ y PWL₁S₃×LINL₄S₃ con promedios inferiores a 0.87 de DFH6; mientras que el testigo H-440 tuvo un DFH6 de 2.733, solo se diferenció de la cruza PWL₁S₃×LINL₄S₃ con un DFH6 de 0.733 (Cuadro 3), el resto de los cultivares tuvieron promedios de DFH6 similares entre sí. Esto demuestra que condiciones de tensión ambiental favorecen la diferenciación de la expresión de diversos cultivares (Moreno, 2009), permitiendo la identificación de características sobresalientes como la resistencia a plagas; las líneas progenitoras tuvieron un DFH6 en el tratamiento de no fertilización entre 1.067 y 2.333 no mostrando diferencias significativas entre ellas (Cuadro 3).

Para DFH6 no se encontraron efectos significativos de aptitud combinatoria general; de manera contraria, se observaron efectos significativos de aptitud combinatoria específica ($p>0.039$), lo que demuestra que la variación de esta característica dependió principalmente de efectos no aditivos; en este mismo sentido, no se observó significancia para las interacciones de aptitud combinatoria general y específica×tratamiento de fertilización (Cuadro 4), lo cual indica que la disponibilidad de nutrientes en el suelo para la planta no influyó sobre la expresión de los efectos de aptitud combinatoria de los cultivares evaluados.

Para efectos recíprocos tampoco se detectó significancia; sin embargo, si hubo para la interacción efectos recíprocos×tratamiento de fertilización. Se observó significancia tanto para efectos maternos como para la interacción de efectos maternos×tratamiento de fertilización, contrariamente, no existió significancia para los efectos no maternos, ni para la interacción de los mismos con el tratamiento de fertilización (Cuadro 4); esto muestra que la expresión de los efectos recíprocos y maternos, dependieron del tratamiento de fertilización evaluado. Por último, no hubo significancia para efectos no maternos (Cuadro 4), lo cual demuestra que la presencia de

Cuadro 3. Daño foliar de *S. frugiperda* en la etapa de sexta hoja ligulada de cultivares de maíz en dos tratamientos de fertilización.

Table 3. *S. frugiperda* foliar damage in the sixth ligulate leaf stage of maize cultivars in the two fertilization treatments.

Cultivar	Fertilización	No fertilización	
PWL ₆ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	0.533 a	2.933 a	**
H-440	0.467 a	2.733 ab	**
PWL ₆ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	0.6 a	2.6 abc	**
LINL ₄ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	0.4 a	2.533 abc	**
TML ₃ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	0.8 a	2.4 abc	
LINL ₄ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	0.467 a	2.4 abc	
PWL ₆ S ₃ ×TML ₃ S ₃	0.333 a	2.4 abc	**
TGL ₂ S ₃	0.4 a	2.333 abc	
LIHL ₅ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	0.667 a	2.267 abc	
TGL ₂ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	0.467 a	2.267 abc	
PWL ₆ S ₃ ×PWL ₁ S ₃	0.333 a	2.267 abc	
PWL ₁ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	0.867 a	2.2 abc	
H-439	0.867 a	2.2 abc	
LIHL ₅ S ₃	0.6 a	2.2 abc	
TGL ₂ S ₃ ×PWL ₁ S ₃	0.6 a	2.2 abc	
LIHL ₅ S ₃ ×PWL ₁ S ₃	0.467 a	2.2 abc	
LINL ₄ S ₃	0.267 a	2.2 abc	
LIHL ₅ S ₃ ×TML ₃ S ₃	0.533 a	2.133 abc	
G-8801	1.4 a	2 abc	
LINL ₄ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	0.467 a	2 abc	
TGL ₂ S ₃ ×TML ₃ S ₃	0.4 a	2 abc	
LINL ₄ S ₃ ×PWL ₁ S ₃	0.467 a	1.933 abc	
PWL ₆ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	0.4 a	1.933 abc	
LINL ₄ S ₃ ×TML ₃ S ₃	0.8 a	1.867 abc	
TGL ₂ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	0.333 a	1.867 abc	
TML ₃ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	0.333 a	1.867 abc	
TML ₃ S ₃	0.4 a	1.8 abc	
TML ₃ S ₃ ×PWL ₁ S ₃	0.533 a	1.733 abc	
LIHL ₅ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	0.733 a	1.6 abc	
TGL ₂ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	0.4 a	1.533 abc	
PWL ₁ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	0.667 a	1.467 abc	
LIHL ₅ S ₃ ×TGL ₂ S ₃	0.6 a	1.4 abc	
H-443	1.533 a	1.333 abc	
PWL ₁ S ₃	0.4 a	1.333 abc	
PWL ₁ S ₃ ×TML ₃ S ₃	0.867 a	1.133 abc	
TML ₃ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	0.2 a	1.133 abc	
PWL ₆ S ₃	0.667 a	1.067 abc	
PWL ₁ S ₃ ×PWL ₆ S ₃	0.467 a	0.867 bc	
TML ₃ S ₃ ×LIHL ₅ S ₃	0.467 a	0.8 bc	
PWL ₁ S ₃ ×LINL ₄ S ₃	0.6 a	0.733 c	

a, b=Promedios con distinta literal por columnas son estadísticamente diferentes;

**= promedios estadísticamente diferentes entre tratamientos.

efectos recíprocos para el DFH6 dependió exclusivamente de efectos maternos; es decir, que la variación existente entre cruza directa y recíproca fue controlada por genes ubicados en el ADN extranuclear o citoplasmático, ya sea en cloroplastos o mitocondrias (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010).

Cuadro 4. Resultados del análisis dialélico para el daño foliar de *S. frugiperda* en la etapa de sexta hoja ligulada en cultivares de maíz desarrollados a partir de germoplasma nativo de Tamaulipas en dos tratamientos de fertilización.

Table 4. Results of diallelic analysis for leaf damage by *S. frugiperda* in the sixth ligulated leaf stage in maize cultivars developed from germplasm native of Tamaulipas in two fertilization treatments.

Efectos genéticos	GL	SC	CM	F	P> F
Fertilización	1	24.101	24.101	298.98	<0.0001
Cultivar	35	4.346	0.124	1.54	0.042
Cultivar×TF	35	3.995	0.114	1.42	0.082
ACG	5	0.41	0.082	1.02	0.41
ACE	15	2.178	0.145	1.8	0.04
ACG×TF	5	0.586	0.117	1.45	0.209
ACE×TF	15	1.221	0.081	1.01	0.449
REC	15	1.758	0.117	1.45	0.131
REC×TF	15	2.188	0.146	1.81	0.039
MAT	5	0.929	0.186	2.3	0.048
NoM	10	0.829	0.083	1.03	0.423
MAT×TF	5	1.43	0.286	3.55	0.005
NoM×TF	10	0.757	0.076	0.94	0.499
Error	140	22.134	0.158		
CV	28.55				

CM= cuadrados medios; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica; TF= tratamiento de fertilización; REC= efectos recíprocos; MAT= efectos maternos; NoM= efectos no maternos.

Se observaron efectos significativos y positivos de aptitud combinatoria específica para el DFH6 en las cruza $PWL_1S_3 \times TGL_2S_3$ y $LINL_4S_3 \times PWL_6S_3$ y negativos para las cruza $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ y $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ (Cuadro 5). Lo anterior, indica que en las primeras dos cruza existe una mayor preferencia de parte de *S. frugiperda* en comparación a sus progenitores, mientras que en las últimas cruza, la preferencia disminuye en comparación a

On the other hand, no significant statistical differences were observed for DFH6 among cultivars in the treatment with fertilization. Conversely, in the non-fertilization treatment the $PWL_6S_3 \times LIHL_5S_3$ cultivar had a DFH6 of 2.933, statistically higher than that observed in $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$, $TML_3S_3 \times LIHL_5S_3$ and $PWL_1S_3 \times LINL_4S_3$ cultivars with averages lower than 0.87 of DFH6; whereas the H-440 control had a DFH6 of 2.733, it only differed from the $PWL_1S_3 \times LINL_4S_3$ cross with a DFH6 of 0.733 (Table 3), the rest of the cultivars had similar DFH6 averages. This shows that environmental tension conditions favor the differentiation of the expression of several cultivars (Moreno, 2009), allowing the identification of outstanding characteristics such as resistance to pests; the progenitor lines had a DFH6 in the non-fertilization treatment between 1.067 and 2.333, showing no significant differences between them (Table 3).

For DFH6 no significant effects of general combinatorial ability were found; significant effects of specific combinatorial ability ($p > 0.039$) were observed, demonstrating that the variation of this characteristic depended mainly on non-additive effects; in this regard, no significance was observed for the interactions of general and specific combinatorial ability × fertilization treatment (Table 4), which indicates that the availability of nutrients in the soil for the plant did not influence the expression of the combinatorial ability effects of the evaluated cultivars.

For reciprocal effects, no significance was also detected; however, there were for reciprocal effects × fertilization treatment interaction. Significance was observed both for maternal effects and for the interaction of maternal effects × fertilization treatment; however, there was no significance for non-maternal effects or for their interaction with fertilization treatment (Table 4); this shows that the expression of reciprocal and maternal effects depended on the evaluated fertilization treatment. Finally, there was no significance for non-maternal effects (Table 4), which shows that the presence of reciprocal effects for HFD6 depended exclusively on maternal effects, i.e. that the variation between direct and reciprocal crosses was controlled by genes located in extranuclear or cytoplasmic DNA, either in chloroplasts or mitochondria (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010).

Significant and positive effects of specific combinatorial ability for HFD6 were observed in the $PWL_1S_3 \times TGL_2S_3$ and $LINL_4S_3 \times PWL_6S_3$ crosses and negative for the $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ y $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ crosses (Table 5). This indicates that in the first two crosses there is a greater preference from *S. frugiperda* compared to its progenitors, whereas in

sus progenitores (Cuadro 3). Lo cual sugiere que la acción génica no aditiva está involucrada en las cruas señaladas (Ávila *et al.*, 2009); es decir, la variación existente de la no preferencia de *S. frugiperda* en éstas, depende de efectos no aditivos, por lo tanto, mediante procesos de hibridación, la resistencia por no preferencia puede incrementarse en este germoplasma (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010).

the last crosses, the preference decreases in comparison to its progenitors (Table 3). This suggests that non-additive gene action is involved in the indicated crosses (Ávila *et al.*, 2009); that is, the existing variation of the non-preference of *S. frugiperda* in these, depends on non-additive effects, therefore, by hybridization processes, resistance by non-preference can be increased in this germplasm (De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2010).

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatoria específica, para el daño foliar de *S. frugiperda* en la etapa de sexta hoja ligulada en cultivares de maíz desarrollados a partir de germoplasma nativo de Tamaulipas.

Table 5. Effects of specific combining ability for leaf damage by *S. frugiperda* in the sixth ligulate leaf stage in maize cultivars developed from germplasm native of Tamaulipas.

	TGL ₂ S ₃	TML ₃ S ₃	LINL ₄ S ₃	LIHL ₅ S ₃	PWL ₆ S ₃
PWL ₁ S ₃	0.169 **	0.052	-0.058	0.042	-0.186 **
TGL ₂ S ₃		0.09	-0.073	-0.163 **	-0.029
TML ₃ S ₃			-0.077	-0.097	0.02
LINL ₄ S ₃				0.05	0.17 *
LIHL ₅ S ₃					-0.126

* y **= Diferente de cero con probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente.

Existió significancia para la interacción de efectos recíprocos y maternos×tratamiento de fertilización (Cuadro 4), lo que indica que la disponibilidad de nutrientes en el suelo influyó sobre la expresión de estos efectos; por lo anterior, se analizaron dentro de cada uno de los tratamientos de fertilización. En el tratamiento con fertilización no se observó significancia estadística ($p>0.05$) para ninguno de los efectos evaluados, mientras que, en el tratamiento de no fertilización existieron efectos recíprocos y maternos significativos ($p<0.05$) para DFH6, y no hubo significancia para los efectos no maternos (Cuadro 6). Lo anterior indica, que algunas de las cruas evaluadas mostraron diferencias en la variable DFH6 entre sus combinaciones directa y recíproca; y estas diferencias se debieron solamente a efectos maternos, es decir, que la no preferencia de *S. frugiperda* en estas cruas dependió de genes localizados en ADN extranuclear (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010), pero solo se expresó en el tratamiento de no fertilización.

En el tratamiento de no fertilización se observaron efectos recíprocos significativos para las cruas PWL₁S₃×LINL₄S₃, TML₃S₃×LIHL₅S₃ y PWL₁S₃×PWL₆S₃ (Cuadro 7), lo que indica diferencias del DFH6 entre sus respectivas cruas directa y recíproca; las cruas PWL₁S₃×LINL₄S₃ y TML₃S₃×LIHL₅S₃ no mostraron significancia para los efectos de aptitud combinatoria específica (Cuadro 7), lo anterior debido a los efectos recíprocos significativos de estas mismas cruas.

There was significance for the interaction of reciprocal and maternal effects×fertilization treatment (Table 4), indicating that the availability of nutrients in the soil influenced the expression of these effects; due to the above, they were analyzed within each of the fertilization treatments. In the fertilization treatment, no statistical significance ($p>0.05$) for any of the evaluated effects was observed, whereas in the treatment of non-fertilization there were significant reciprocal and maternal effects ($p<0.05$) for DFH6, and there was no significance to non-maternal effects (Table 6). The above indicates that some of the evaluated crosses showed differences in the DFH6 variable between the direct and reciprocal combinations; and these differences were due only to maternal effects, i.e., the no preference of *S. frugiperda* in these crosses depended on genes located in extranuclear DNA (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2010), but were only expressed in the non fertilization treatment.

In the non fertilization treatment, significant reciprocal effects were observed for PWL₁S₃×LINL₄S₃, TML₃S₃×LIHL₅S₃ and PWL₁S₃×PWL₆S₃ crosses (Table 7), which indicates differences in DFH6 between their respective direct and reciprocal crosses; the PWL₁S₃×LINL₄S₃ and TML₃S₃×LIHL₅S₃ crosses did not show significance for the effects of specific combining ability (Table 7), the above is due to the significant reciprocal effects of these same crosses.

Cuadro 6. Resultados de los análisis dialélicos para el daño foliar de *S. frugiperda* en la etapa de sexta hoja ligulada en cultivares de maíz derivados de germoplasma nativo de Tamaulipas dentro de cada tratamiento de fertilización.**Table 6. Results of diallel analysis for leaf damage by *S. frugiperda* in the ligulate sixth leaf stage in maize cultivars derived from germplasm native of Tamaulipas within each fertilization treatment.**

Efectos genéticos	GL	Tratamiento con fertilización				Tratamiento sin fertilización			
		SC	CM	F	P> F	SC	CM	F	P> F
Cultivar	35	2.219	0.063	0.8	0.766	6.121	0.175	2.14	0.004
ACG	5	0.205	0.041	0.52	0.763	0.791	0.158	1.94	0.099
ACE	15	1.021	0.068	0.86	0.614	2.378	0.158	1.94	0.033
REC	15	0.993	0.066	0.83	0.639	2.952	0.197	2.41	0.007
MAT	5	0.368	0.074	0.93	0.469	1.99	0.398	4.87	0.001
NoM	10	0.624	0.062	0.79	0.643	0.962	0.096	1.18	0.321
Error	70	5.566	0.079			5.719	0.082		
CV		42.7				21.51			

GL= grados libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica; REC= efectos recíprocos; MAT= efectos maternos; NoM= efectos no maternos; CV= coeficiente de variación.

Cuadro 7. Efectos maternos[†] y recíprocos^{††} para el daño foliar de *S. frugiperda* en la etapa de sexta hoja ligulada en cultivares de maíz desarrollados a partir de germoplasma nativo de Tamaulipas en el tratamiento de no fertilización.**Table 7. Maternal and reciprocal effects for leaf damage by *S. frugiperda* in the sixth ligulate leaf stage in maize cultivars developed from germplasm native of Tamaulipas in the non fertilization treatment.**

	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	-0.192 **	-0.016	-0.112	-0.285 *	-0.133	-0.412 **
TGL ₂ S ₃		-0.001	-0.076	-0.112	0.115	0.053
TML ₃ S ₃			-0.081	-0.21	-0.284 *	-0.097
LINL ₄ S ₃				0.149 **	0.171	-0.033
LIHL ₅ S ₃					0.004	-0.108
PWL ₆ S ₃						0.119 *

[†]= efectos maternos en el tratamiento de no fertilización se presentan en la diagonal; ^{††}= efectos recíprocos en el tratamiento de no fertilización se presentan sobre la diagonal;

* y **= diferente de cero con probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente.

De esta manera, la PWL₁S₃×LINL₄S₃ y TML₃S₃×LIHL₅S₃ tuvieron un promedio de DFH6 de 0.733 y 0.8 respectivamente, lo que muestra un daño por *S. frugiperda* en menos de 20% del área foliar de la planta, promedios de preferencia de este insecto de menor nivel en comparación a sus cruza recíprocas, LINL₄S₃×PWL₁S₃ y LIHL₅S₃×TML₃S₃ con DFH6 de 1.933 y 2.133 respectivamente, es decir un daño superior a 30% de su área foliar; si se considera que el promedio de DFH6 para las líneas PWL₁S₃1 y LINL₄S₃ fue de 1.333 y 2.2 respectivamente, mientras que para las líneas TML₃S₃ y LIHL₅S₃ fue de 1.8 y 2.2 respectivamente, se puede inferir que el cruzamiento de estas líneas favoreció la disminución de la preferencia de *S. frugiperda* solo en las cruza directas PWL₁S₃×LINL₄S₃ y TML₃S₃×LIHL₅S₃ (Cuadro 3).

Thus, the PWL₁S₃×LINL₄S₃ and TML₃S₃×LIHL₅S₃ averaged a DFH6 of 0.733 and 0.8 respectively, showing damage by *S. frugiperda* in less than 20% of foliar area of the plant, average preference of this insect of lower level compared to its reciprocal crosses, LINL₄S₃×PWL₁S₃ and LIHL₅S₃×TML₃S₃ with DFH6 of 1.933 and 2.133 respectively, that is to say, a damage greater than 30% of its leaf area; when considering that the average DFH6 for PWL₁S₃1 and LINL₄S₃ lines was 1.333 and 2.2 respectively, while for TML₃S₃ and LIHL₅S₃ lines it was of 1.8 and 2.2 respectively, it can be inferred that the crossing of these lines favored the decreasing preference of *S. frugiperda* only in the PWL₁S₃×LINL₄S₃ and TML₃S₃×LIHL₅S₃ direct crosses (Table 3).

Por otra parte, se observaron efectos recíprocos significativos para la crucea $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ en el tratamiento de no fertilización, donde la crucea directa $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ tuvo DFH6 promedio de 0.867 y la crucea recíproca $PWL_6S_3 \times PWL_1S_3$ fue de 2.267 (Cuadro 3), lo anterior indica, que solo la crucea directa $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ presentó una aptitud combinatoria específica negativa; por lo cual, se puede considerar a esta crucea como un patrón heterótico sobresaliente para la no preferencia de *S. frugiperda* y tomando en cuenta los efectos recíprocos significativos observados, se debe establecer previamente cuáles serán los progenitores materno y paterno (Cervantes *et al.*, 2011) en un programa de mejoramiento por hibridación en el que se incluya esta crucea.

En este mismo sentido, la crucea $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ tuvo aptitud combinatoria específica significativa y negativa para DFH6 y no presentó significancia para efectos recíprocos (Cuadro 7), por lo que se puede interpretar que esta crucea constituye un patrón heterótico importante para la resistencia por no preferencia de *S. frugiperda*, independientemente del orden de sus progenitores; sin embargo, si se toma en cuenta el alto promedio de DFH6 de los progenitores TGL_2S_3 y $LIHL_5S_3$, 2.333 y 2.2 respectivamente (Cuadro 3), lo que significa más del 30% del área foliar con daño por este insecto; de acuerdo a lo mencionado por Cervantes *et al.* (2011), sería necesario que se disminuya la preferencia de *S. frugiperda* mediante algún proceso de selección recurrente, dentro de cada una de las líneas, para posteriormente incluirlas en un programa de mejoramiento por hibridación.

Por otra parte, es importante resaltar que la resistencia por no preferencia de parte de *S. frugiperda*, solo es un carácter individual a considerar en un programa de mejoramiento genético; por lo mismo estas líneas podrían ser integradas a un proceso de mejoramiento por arquetipo de buen porte, precocidad y alto rendimiento de grano, características que deben tener los progenitores e híbridos comerciales para la regiones agrícolas de Tamaulipas.

Hubo significancia en la interacción de efectos maternos \times tratamiento de fertilización, solo se observaron efectos maternos significativos en el tratamiento de no fertilización (Cuadro 6), donde sobresalen las líneas $LINL_4S_3$ y PWL_6S_3 con efectos maternos significativos y positivos (Cuadro 7), lo que indica que los niveles promedio de preferencia de *S. frugiperda* de todas las cruces en las cuales estas líneas participaron como progenitores maternos, son mayores en

Moreover, significant reciprocal effects for $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ cross were found in the treatment of non-fertilization, where $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ direct cross had a DFH6 average of 0.867 and the $PWL_6S_3 \times PWL_1S_3$ reciprocal cross was 2.267 (Table 3), the above indicates that only the $PWL_1S_3 \times PWL_6S_3$ direct cross had a negative specific combinatorial ability; therefore, this cross can be considered as an outstanding heterotic pattern for no preference of *S. frugiperda* and taking into account the significant reciprocal effects observed, it should be established what will maternal and paternal parents be (Cervantes *et al.*, 2011) in a breeding program by hybridization in which this cross is included.

In this sense, the $TGL_2S_3 \times LIHL_5S_3$ cross had significant combinatorial specific ability and negative for DFH6 and did not show significance for reciprocal effects (Table 7), so it can be interpreted that this cross is an important heterotic pattern for resistance of non preference of *S. frugiperda*, regardless of the order of its parents; however, if is taking into account the high average of DFH6 of TGL_2S_3 and $LIHL_5S_3$ parents, 2.333 and 2.2 respectively (Table 3), which means more than 30% of leaf area with damage by this insect; according to Cervantes *et al.* (2011), it would be necessary to decrease the preference of *S. frugiperda* by a recurrent selection process, within each of the lines, for its later inclusion in a breeding program by hybridization.

Moreover, it is important to note that non preference resistance of *S. frugiperda*, is only a single character to be considered in a breeding program; therefore these lines could be integrated to a process of improvement by archetype of good size, precocity and high grain yield, characteristics that the progenitors and commercial hybrids must have for the agricultural regions of Tamaulipas.

There was significance in the maternal effects \times fertilization treatment interaction, only significant maternal effects were observed in the non-fertilization treatment (Table 6), where the $LINL_4S_3$ and PWL_6S_3 lines stand out with significant and positive maternal effects (Table 7) which indicates that the average levels of preference of *S. frugiperda* of all crosses in which these lines participated as maternal progenitors are greater in relation to the preference levels shown by the crosses in which these lines functioned as paternal progenitors. On the contrary, the PWL_1S_3 line showed significant and negative maternal effects (Table 7).

relación a los niveles de preferencia presentados por las cruzas en las cuales estas líneas fungieron como progenitores paternos. De manera contraria, la línea PWL₁S₃ presentó efectos maternos significativos y negativos (Cuadro 7).

Por lo cual, el nivel de preferencia promedio en las cruzas en las que esta línea participó como progenitor materno, fue menor en comparación a las cruzas en las cuales la misma línea fue progenitor paterno; lo anterior, provocó la significancia de los efectos recíprocos en la craza PWL₁S₃×PWL₆S₃ (Cuadro 7). Este efecto significativo sobre el DFH6 por *S. frugiperda* sobre estas cruzas, indica que los genes responsables de las características que brindan la resistencia por no preferencia se expresaran en mayor magnitud al ser heredados por el progenitor materno (Espinosa *et al.*, 2009), y este fenómeno no es concordante con el principio mendeliano, que supone la expresión igual de los genes en la progenie, sin importar si son heredados por el progenitor paterno o materno (Sokolov, 2006).

Conclusiones

Existe variabilidad genética y niveles altos de no preferencia de *S. frugiperda* en el germoplasma de maíz evaluado, pero su expresión fue influenciada por los tratamientos de fertilización en los cuales se evaluó.

La varianza no aditiva fue de mayor importancia para el DFH6 y las cruzas TGL₂S₃×LIHL₅S₃ y PWL₁S₃×PWL₆S₃ tuvieron los mayores efectos de aptitud combinatoria específica.

La craza PWL₁S₃×PWL₆S₃ mostró efectos recíprocos para el DFH6 y estos fueron causa de efectos maternos significativos de la línea progenitora PWL₁S₃.

Literatura citada

- Altieri, M. A. y Nicholls, C. 2006. Optimizando el manejo agroecológico de plagas a través de la salud del suelo. *Agroecología*. 1:29-36.
- Ávila, P. M. A.; Rodríguez, H. S. A.; Vázquez, B. M. E.; Borrego, E. F.; Lozano del 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. *Agríc. Téc. Méx.* 3:285-293.
- Badii, M. H. y Garza, A. V. 2007. Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. *CULCyT*. 18:9-25.

Therefore, the average preference level in the crosses in which this line participated as a maternal progenitor was lower compared to the crosses in which the same line was a paternal progenitor; which led to the significance of the reciprocal effects in the PWL₁S₃×PWL₆S₃ cross (Table 7). This significant effect on DFH6 by *S. frugiperda* on these crosses, indicates that the genes responsible for the features that provide resistance for non-preference are expressed in greater magnitude when inherited by the maternal parent (Espinosa *et al.*, 2009), and this phenomenon is not consistent with the Mendelian principle, which implies the equal expression of the genes in the progeny, regardless of whether they are inherited by the paternal or maternal progenitor (Sokolov, 2006).

Conclusions

Genetic variability exists and high non-preference levels of *S. frugiperda* in evaluated maize germplasm, but its expression was influenced by fertilization treatments in which it was evaluated.

The non-additive variance showed greater importance for DFH6 and the TGL₂S₃×LIHL₅S₃ and PWL₁S₃×PWL₆S₃ crosses showed the greatest effects of specific combining ability.

PWL₁S₃×PWL₆S₃ cross showed reciprocal effects for DFH6 and these were cause of significant maternal effects of the PWL₁S₃ parental line.

End of the English version



- Bänziger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D. y Bellon, M. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. CIMMYT. El Batán, Estado de México. 61 p.
- Bruns, H. A. and Abbas, H. K. 2006. Planting date effects on Bt and non-Bt corn in the Mid-South USA. *Agron. J.* 98:100-106.
- 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. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:645-653.

- Cervantes, O. F.; García, S. G.; Carballo, C. A.; Bergvinson, D.; Crossa, J. L.; Mendoza, E. M.; Andrio, E. E.; Rivera, R. J. G. y Moreno, M. E. 2011. Estimación de efectos genéticos relacionados con el vigor de la semilla y de la plántula en maíces tropicales mexicanos. *Phyton*. 80:19-26.
- 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.
- Díaz, G. A. F. 2015. El juicio de los transgénicos. *Orbis, Rev. Cientif. Cienc. Hum.* 10:17-30.
- Espinosa, T. E.; Mendoza, C. M. C.; Castillo, G. F.; Ortiz, C. J.; Delgado, A. A. y Carrillo, S. A. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus componentes genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotec. Mex.* 32:303-309.
- 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.
- Fernández, N. E. N. 1991. Mejoramiento por resistencia a los principales virus de la papa. *Rev. Latinoam. Papa* 4:1-21.
- Granados, G. 2001. Manejo integrado de plagas. *In: el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A. D. y Marathée, J. P. (Eds.). FAO. Italia. 295-314 pp.
- Granados, G. y Paliwal, R. L. 2001. Mejoramiento para resistencia a los insectos. *In: el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A. D. y Marathée, J. P. (Eds.). FAO. Italia. 179-197 pp.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Guillen, de la C. P.; de la Cruz, L. E.; Castañón, N. G.; Osorio, O. R.; Brito, M. N. P.; Lozano, R. A. y López, N. U. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10:101-107.
- Massieu, T. Y. C. 2009. Cultivos y alimentos transgénicos en México. El debate, los actores y las fuerzas sociopolíticas. *Argumentos*. 22:217-243.
- Moreno, F. L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agro. Colomb.* 27:179-191.
- Murúa, M. G.; Molina, O. J. and Coviella, C. 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in Northwestern Argentina. *Fla. Entomol.* 89:175-182.
- Negrete, B. F. y Morales, A. J. 2003. El gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda* Smith). Corpoica Ecorregión Caribe Centro de Investigación Turipaná. Colombia. 26 p.
- Nexticapan, G. A.; Magdub, M. A.; Vergara, Y. S.; Martín, M. R. y Larqué, S. A. 2009. Fluctuación poblacional y daños causados por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) en maíz cultivado en el sistema de producción continua afectado por el huracán Isidoro. *UCiencia*. 25:273-277.
- 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. Mex.* 34:85-92.
- 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. *Tema de Cienc. y Tecnol.* 20:3-14.
- Saldúa, V. L. y Castro, A. 2011. Expresión de la antibiosis y de la antixenosis contra el pulgón negro de los cereales (*Sipha maydis*) en cultivares comerciales de trigos. *Rev. Fac. Agron. La Plata*. 110:1-11.
- Sánchez, S. H.; González, H. V. A.; Cruz, P. A. B.; Pérez, G. M.; Gutiérrez, E. M. A.; Gardea, B. A. A.; Gómez, L. M. Á. 2010. Herencia de capsaicinoides en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). *Agrociencia*. 44:655-665.
- Sokolov, V. A. 2006. Imprinting in plants. *Russ. J. Genet.* 42:1043-1052.
- Vanegas, A. H.; De León, C. y Narro, L. L. 2007. Análisis genético de la tolerancia a *Cercospora* spp. en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia*. 41:35-43.
- Vivanco, J. M.; Cosío, E.; Loyola, V. V. M. y Flores, H. E. 2005. Mecanismos químicos de defensa en las plantas. *Inv. y Cien.* 2:68-75.
- Zhang, Y.; Kang, M. S. and Lamkey, K. R. 2005. DIALLEL-SAS05: a comprehensive program for griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97:1097-1106.