

Susceptibilidad de poblaciones nativas de maíz y preferencia del gorgojo en Yucatán, México

Johnny A. Burgos-Díaz¹
María A. Rangel-Fajardo^{1§}
Jorge I. Tucuch-Haas¹
Ignacio Benítez-Riquelme²
J. Jesús García-Zavala²

¹Campo Experimental Mocochoá-INIFAP. Antigua carretera Mérida-Motul km 25, Mocochoá, Yucatán. (burgos.abraham@inifap.gob.mx; tucuch.jorge@inifap.gob.mx). ²Programa de Genética-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillos, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (riquelme@colpos.mx; zavala@colpos.mx).

§Autora para correspondencia: rangel.alma@inifap.gob.mx.

Resumen

Uno de los problemas con el almacenamiento de semillas en maíz es la presencia de plagas que merman la calidad. Para hacer frente a este problema, se emplean materiales con poca o nula susceptibilidad. Las variedades nativas de maíz en Yucatán son reservorios de genes para resistencia a plagas de almacén. El objetivo del presente estudio fue evaluar el ataque de gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) en ocho poblaciones de maíz y dos variedades testigo. Para determinar la susceptibilidad, 100 semillas de cada población se expusieron a la presencia de 100 gorgojos por 15 días, con 10 repeticiones, las variables fueron número de gorgojos vivos, pérdida de peso y porcentaje de grano dañado. La preferencia se determinó colocando en un mismo recipiente 100 semillas de cada población y 1 000 gorgojos, fueron almacenados por 30 días y repetido cinco veces. Se registró el porcentaje de grano dañado por color. La mayor susceptibilidad se presentó en las poblaciones Chichen Itza, Sac beh y Nal t'eel blanco, las dos primeras registraron el mayor porcentaje de grano dañado, con 15% por encima de las demás poblaciones evaluadas, mientras que la población Nal t'eel blanco registró 6.1% por encima de la menor pérdida. La preferencia del insecto fue hacia los granos de color blanco. El pericarpio (0.495) y escutelo (0.418) mostraron relación con la presencia de granos dañados. Existen diferencias en la susceptibilidad y preferencia de las poblaciones evaluadas, lo que indica variabilidad que puede aprovecharse en programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: endospermo, maíz morado, maíz rojo, Nal t'eel, preferencia por color, semilla perforada.

Recibido: agosto de 2020

Aceptado: octubre de 2020

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus múltiples usos, se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales en el mundo por su producción, se comercializan en el mercado internacional más 90 millones de toneladas de maíz (USDA, 2018). En México, el maíz es el principal cultivo, en 2017 se cultivaron 7 230 millones de hectáreas de las cuales 21.5% fueron de riego y 78.5 de temporal, con rendimiento promedio de 8.76 t ha⁻¹ y 1.87 t ha⁻¹ respectivamente (SIAP 2018).

En el estado de Yucatán, el maíz forma parte de la alimentación cotidiana, más de 80% se cultiva bajo condiciones de temporal en siembras menores a 1 ha, en sistemas de roza, tumba y quema, la cosecha está destinada en su mayor parte para el autoconsumo y para seleccionar las semillas que serán empleadas en el siguiente ciclo de cultivo, por lo que es relevante conservarlas y mantenerlas en estado óptimo de germinación y libre de plagas (Palafox-Caballero *et al.*, 2008).

Uno de los principales problemas que enfrenta el productor al almacenar el grano es la pérdida ocasionada por plagas y enfermedades, principalmente el gorgojo de maíz (*Sitophilus zeamais* Motsch.), que causa pérdidas hasta del 80% (García-Lara *et al.*, 2003) y es en las regiones del trópico donde se observa mayor el daño, por las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo del insecto (Palafox-Caballero *et al.*, 2008).

Al momento de la cosecha se estima que 10% de los granos presentan signos de infestación y si la contaminación no se controla las pérdidas en el almacén ascienden hasta 70% al cabo de seis meses (Cerna *et al.*, 2010). Rodríguez y Herrera (2003) reportan 38 especies de insectos que atacan granos almacenados de maíz y frijol, siendo *Sitophilus zeamais* Motschulsky uno de los más destructivos.

Existen alternativas económicas y sustentables para el control de esta plaga, dentro de las opciones se encuentra el mejoramiento genético, pues evaluaciones muestran que existen materiales nativos con tolerancia al ataque del gorgojo (García-Lara y Bergvison, 2013), que involucran diversos mecanismos bioquímicos, como la presencia de peroxidasa solubles (García-Lara *et al.*, 2007) o características fisicoquímicas como la dureza del grano o el tipo y cantidad de almidón presente en el grano (García-Lara *et al.*, 2003).

Las poblaciones nativas de maíz en Yucatán son importantes reservorios de genes, pues los agricultores realizan prácticas de conservación y selección por sus ventajas adaptivas a diversas condiciones ambientales (Antonio *et al.*, 2004); sin embargo, se desconoce el grado de susceptibilidad de los granos a la plaga de almacén causada por *Sitophilus zeamais* Motschulsky. En la península de Yucatán se encuentran poblaciones nativas de maíz de la raza 'Nal Tel' que manifiesta cierta tolerancia al ataque de gorgojo; no obstante, no se tiene información de los mecanismos involucrados.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar granos de diez poblaciones de maíz del estado de Yucatán, con la finalidad de conocer el grado de susceptibilidad de las poblaciones y preferencia del gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky).

Materiales y métodos

Material vegetal

Se utilizaron semillas de diez poblaciones de maíz, ocho fueron colectas de materiales nativos obtenidas de productores locales de Yucatán identificadas por el nombre local: Nal t'eel blanco; Nal t'eel amarillo (dos accesiones, una de ellas identificada como gallito amarillo), Chak choc (dos accesiones semilla roja una de ellas identificada como Chak); Nal xoy (semilla amarilla); Sak nal (semilla blanca) y X ej'ub (semilla morada) y dos variedades testigo de polinización libre Sac beh (semilla blanca) y Chichen Itza (semilla amarilla) desarrolladas en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Las colectas se incrementaron durante el ciclo primavera- verano (PV) 2018 en las instalaciones del Sitio Experimental Uxmal en el municipio de Muna Yucatán. La cosecha se realizó de forma manual, cuando la semilla presentaba 14% de humedad y se seleccionaron mazorcas que no presentaran daños por insectos o pudriciones.

Manejo del grano

Las semillas de cada población se inspeccionaron para evitar semillas perforadas, con presencia de huevecillos o con algún estado de desarrollo de *Sitophilus zeamais* u otro insecto. Las semillas se colocaron en frascos de plástico y almacenadas en condiciones de laboratorio (25 °C ±1 y 45% HR) hasta el establecimiento de los ensayos de susceptibilidad y preferencia por color de semilla.

Colecta de *Sitophilus zeamais* Motschulsky

Las colectas de los insectos se realizaron en almacenes locales de la región. Los insectos se transportaron al laboratorio y se colocaron alrededor de 1 000 insectos en frascos de plástico que contenían 500 g de maíz para la alimentación y reproducción de los insectos, la tapa del frasco fue perforada y cubierta con malla de acero para permitir la ventilación.

Germinación y humedad de las semillas de las poblaciones de maíz

Para evaluar la germinación, se emplearon 25 semillas de cada población distribuidas en cuatro repeticiones, bajo un diseño completamente al azar. Las semillas se desinfectaron previamente con hipoclorito de sodio 1% y se colocaron entre toallas de papel humedecidas con agua destilada y finalmente en una cámara de germinación a 25 °C ±1. Las evaluaciones de germinación se realizaron de acuerdo con las normas de ISTA (2015), con un primer conteo al cuarto día y el último al séptimo día.

Los resultados se reportaron en porcentaje de germinación de plántulas normales. La humedad se midió en 20 g de semillas de un determinador de humedad (Moisture check PLUS™, marca Johnn Deere), en cuatro repeticiones de cada población y el resultado obtenido se reportó en gramos de agua por kilogramo de peso seco.

Susceptibilidad de la semilla

Se colocaron 100 semillas, previamente pesados, más 100 gorgojos por 15 días en cajas Petri de 3 cm de diámetro y 1.2 cm de altura, con perforaciones cubiertas de malla de acero para la ventilación, Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones. Al finalizar el periodo de infestación se contabilizaron los insectos vivos y de forma visual se registró el número de granos perforados o con galerías. Los resultados se expresaron en porcentaje de gorgojos vivos y porcentaje de semilla dañado, finalmente, se pesaron las semillas de cada repetición y por diferencia se obtuvo el porcentaje de pérdida de peso.

Preferencia por color de semilla

De cada población de maíz se obtuvo una muestra de 100 semillas, que se colocaron en un frasco de plástico de 2 L, con tapa perforada y cubierta con malla de acero para permitir la ventilación de los insectos, a la vez que se añadieron 1 000 gorgojos, se cerraron y almacenaron por un mes.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Al finalizar el ensayo se separaron las semillas por color y se contaron las semillas dañadas, con perforaciones o galerías. El resultado fue expresado en porcentaje de daño.

Composición estructural de las semillas

De cada población de maíz se tomaron 10 semillas, se pesaron y colocaron en vasos de precipitados con agua destilada a 75 °C por 15 min, pasado este tiempo las semillas se retiraron del agua y se eliminó el exceso de agua. Con ayuda de un bisturí se desprendió el pedicelo, pericarpio y embrión junto con el escutelo, dejando únicamente la parte que corresponde al endospermo.

Con ayuda de un taladro (tipo Dremel modelo 300) se separó el endospermo cristalino y harinoso de cada semilla. Todas las estructuras obtenidas de las semillas se secaron en una estufa a 80 °C durante 48 h y posteriormente se pesaron y el resultado fue expresado en porcentaje. Esta fase del estudio se realizó en dos repeticiones.

Análisis estadístico

Los resultados expresados en porcentaje fueron transformados con la función arcoseno y posteriormente se utilizó el análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS versión 9.4.

Resultados y discusión

Las semillas de todas las poblaciones de maíz mantuvieron la germinación en promedio general de 82% sobresaliendo la población Sak nal y la de menor porcentaje fue Chak con diferencia de 14%, con respecto a la humedad las poblaciones registraron diferencias teniendo a Chichen Itza y Sac beh con la humedad más elevada, mientras gallito amarillo registró 11.9% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de medias de la respuesta de germinación y contenido de humedad de diez poblaciones de maíz.

Población	Variable respuesta			
	Germinación (%)		Humedad (%)	
Gallito amarillo	80	a	11.9	d
Nal t'eel blanco	79	a	12.08	cd
Chak choc	83	a	12	cd
X'ejub	80	a	12.2	cd
Chak	75	a	11.98	cd
Nal xoy	86	a	12.6	bc
Nal teel amarillo	84	a	12.9	b
Chichen Itza	87	a	13.93	a
Sac beh	79	a	13.73	a
Sak nal	89	a	12.3	bcd
DMH	25.6		0.68	

DMH= diferencia mínima honesta. Medias con la misma letra en cada variable en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$)

Aunque no hay evidencia sobre la preferencia del gorgojo por semillas con el germen vivo, Lara *et al.* (2018) revelan que algunas estructuras de la semilla de maíz influyen en el comportamiento e interacción del insecto con el semilla, en su estudio detectaron la presencia de componentes químicos en la epicutícula que influyeron en el reconocimiento y atracción como fuente de alimentación y reproducción, la presencia de sustancias ácidos felúricos y cumárico entre otros que influyen la tolerancia de ataque, muchos de estos sistemas funcionan con mayor efectividad en organismos vivos.

Por otro lado, se ha reportado que las semillas almacenadas a bajos contenidos de humedad, reducen la emisión de CO₂ y O₂ los que es desfavorable para la sobrevivencia de los insectos (García- Leños *et al.*, 2007). La humedad de la semilla es una variable importante para el almacenamiento, de acuerdo con Cespón *et al.* (2015) las condiciones óptimas para mantener la integridad de maíz almacén es de 12% de humedad (120 g H₂O kg⁻¹ ps) con humedad relativa menor al 70%.

Cuando la semilla es almacenada con humedad superior se corre el riesgo de la presencia de hongos y levaduras; sin embargo, la temperatura de almacenamiento también es primordial para el control de las poblaciones de insectos plaga. Se reporta que aún con humedades de la semilla inferiores a la óptima, los insectos pueden presentarse cuando las temperaturas de almacenamiento superan los 20 °C, entre los 25 y 35 °C las tasas de crecimiento de estas poblaciones se disparan (Mansoor-ul *et al.*, 2017).

Estos inconvenientes afectan directamente la calidad fisiológica de la semilla disminuyendo considerablemente la germinación y el vigor debido a que puede existir alta presencia de insectos que comprometan estructuras vitales como escutelo y embrión (Tefera *et al.*, 2011).

Likhayo *et al.* (2018) observaron que alta temperatura y humedad de la semilla durante el almacenamiento contribuyen en un aumento en las poblaciones de gorgojos, encontrando hasta 1 273 adultos por kilogramo de semilla, por lo que ésta es una razón de importancia para realizar el almacenamiento en envases adecuados y con las condiciones correctas de humedad y temperatura, que reduzcan o minimicen el crecimiento de estas poblaciones.

Susceptibilidad de la semilla

Se detectaron diferencias en la susceptibilidad de las semillas al ataque del gorgojo ($p \leq 0.05$), las poblaciones con mayor afectación, en cuanto a porcentaje de semilla dañada fueron Chichen Itza y Sac beh las cuales presentaron 15.4 puntos porcentuales por encima del material menos afectado (Nal t'eel amarillo) (Cuadro 2).

En cuanto al porcentaje de gorgojos vivos al finalizar la evaluación no existieron diferencias y la mayoría de las poblaciones conservó más del 50% de insectos vivos; sin embargo, en cuanto a la pérdida de peso la muestra de Nal t'eel blanco registró el mayor porcentaje con 6.1% superior a la población Sak nal que solamente tuvo una reducción de 2.9%.

Cuadro 2. Medias de las variables para la susceptibilidad en cada población de maíz evaluada.

Población	Grano dañado (%)	Gorgojos vivos (%)	Pérdida de peso (%)
Sak nal	24.3 bc	70 a	2.9 c
X'ejub	25.1 bc	64.8 a	3.4 bc
Gallito Amarillo	20.1 c	57.2a	4 bc
Nal xoy	26.0 bc	67.3 a	5.6 abc
Chak choc	30.4 ab	69.8 a	4.8 bc
Nal t'eel Blanco	31.3 ab	68.2 a	9 a
Nal t'eel Amarillo	32.6 ab	70.4 a	6.2 ab
Chak	32.3 ab	65.3 a	4.8 bc
Chichen Itza	35.5 a	85.7 a	6.2 abc
Sac beh	35.4 a	68.2 a	6.62 ab
DSH	9.1	24.7	3.5

DSH= diferencia significativa honesta. Medias con la misma letra en cada variable en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Caneppele *et al.* (2003) quienes reportan pérdidas de peso en maíz infestado por gorgojo en un promedio de 0.36% por día; Derera *et al.* (2014) registran pérdidas de peso que pueden ir de 19 a 56% después de cinco meses de infestación. Algunos autores indican que estas pérdidas están relacionadas al tipo de material, a la cantidad y tipo de endospermo que confieren características particulares como dureza (Figuroa *et al.*, 2013; García-Lara y Bergvinson, 2007).

Preferencia por color de semilla

Las poblaciones se separaron en cuatro grupos, de los cuales presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), el color blanco presentó la mayor cantidad de semillas dañadas superando al resto de colores. El color de menor preferencia fue la semilla morada, con una diferencia de 14.6% con respecto al blanco; los maíces de color amarillo y rojo registraron 9.6 y 13.6% de diferencia con respecto al de mayor afectación (Figura 1).

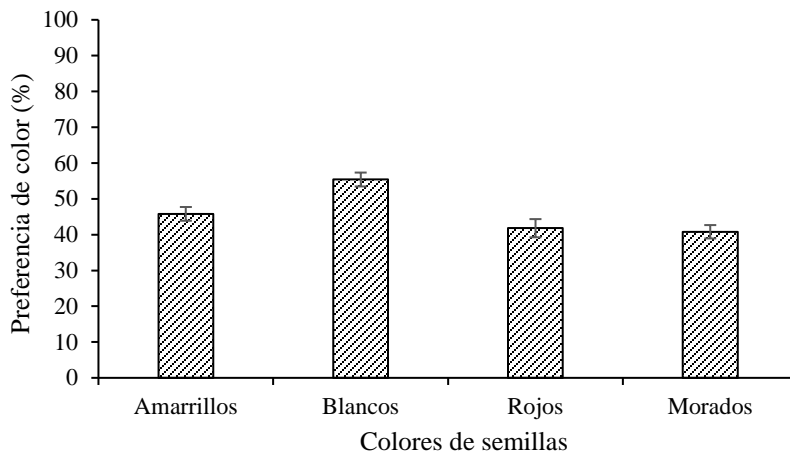


Figura 1. Porcentaje de grano dañado de acuerdo con la preferencia de *Sitophilus zeamais* por color de grano.

De acuerdo con Groote *et al.* (2017) *Sitophilus* presenta preferencia por semillas de color y de tamaño pequeño (aproximadamente 8 mm); sin embargo, la respuesta en el presente estudio fue contraria, lo cual puede deberse a que estos autores emplearon colorantes artificiales.

Por otro lado, Nwosu (2016) observó que el comportamiento de *Sitophilus zeamais* está condicionado por la susceptibilidad del material, la preferencia de la ovoposición es en materiales altamente susceptibles, con altos niveles de proteína y almidón. Este mismo comportamiento fue observado por Abebe *et al.* (2009) quienes relacionaron la susceptibilidad con la dureza de la semilla, en semillas duras los insectos solamente se alimentaban, pero no había ovoposición, por lo que la población de insectos se reducía considerablemente.

No se han encontrado más reportes que indiquen la preferencia de insecto por un color, sin embargo, el color de las semillas si está relacionado con la presencia de compuestos que afectan la preferencia del insecto. En la evaluación individual de daño del insecto (Cuadro 2), se observa que dentro de los materiales que registraron los porcentajes más altos de semilla dañada se encuentran rojos (Chak choc y Chak) y amarillos (Nal t'eel y Chichen Itza), por lo que es necesario realizar el análisis de los componentes de estas poblaciones para determinar lo que causa su preferencia.

Por otro lado, es pertinente resaltar que una de las poblaciones evaluadas Nal t'eel amarillo registro el menor porcentaje de semilla dañada (Cuadro 2), esto coincide con lo reportado por Arnason *et al.* (1994); García-Lara y Bergvinson (2013), quienes reportaron que poblaciones de Nal t'eel (Gallito) registraron resistencia al ataque de gorgojo; sin embargo, es claro que dentro de la población de Nal t'eel existe variabilidad con respecto a la resistencia o tolerancia al *Sitophilus*.

Composición estructural de las semillas

El endospermo y el eje embrionario son de las estructuras que prefiere *Sitophilus zeamais* y corresponden donde se concentra la mayor parte de proteínas y almidones, por lo que influyen directamente en la susceptibilidad de las poblaciones (Nwosu, 2016). Fueron registradas diferencias ($p \leq 0.05$) en todas las estructuras evaluadas.

Las poblaciones con mayor peso de semilla fueron Sak nal y Nal xoy mientras que las de menor peso fueron gallito amarillo y Nal t'eel blanco, estas últimas sobresalen en porcentaje de pedicelo. En cuanto al porcentaje de pericarpio los materiales Sac beh y Chak choc resaltaron del resto, lo que indica que la cubierta de estos materiales es más gruesa.

El escutelo de mayor tamaño lo registro Chichen Itza seguido de Chac y Sac beh. Nal t'eel amarillo arrojó el mayor porcentaje de endospermo cristalino, mientras que X'ejub presentó más endospermo harinoso seguido de Nal t'eel blanco, Sac beh y Chiche Itza (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de la composición estructural de la semilla de 10 variedades de maíz.

Población	Peso de grano (g)	Pedicelo (%)	Pericarpio (%)	Escutelo (%)	Endospermo cristalino (%)	Endospermo harinoso (%)
Sak nal	3.2 a	0.53 ef	5.68 bc	9.7 bcd	46.95 abc	36.05 abc
X'ejub	2.35 de	0.4 f	5.3 bc	8.05 d	44.8 bc	40.35 a
Gallito amarillo	1.6 f	1.29 a	5.16 bc	10.65 abc	48.5 abc	32.05 bc
Nal xoy	3.25 a	0.99 b	5.4 bc	10.9 abc	51.3 ab	29.75 c
Chak choc	2.15 e	0.8 cb	8.2 ab	9.25 cd	49.45 ab	30.65 c
Nal t'eel blanco	1.2 g	1.2 a	6.56 abc	9.92 abcd	41.2 c	38.8 ab
Nal t'eel Amarillo	2.7 cb	0.76 cd	6.2 bc	8.95 cd	53.05 a	30.85 c
Chak	2.65 cb	0.58 def	6.15 bc	11.6 ab	47.9 abc	32.6 bc
Chichen Itza	2.6 cd	0.58 def	6.2 bc	11.9 a	46.2 abc	33.8 abc
Sac beh	2.9 b	0.66 cde	8.95 ab	11.4 ab	41.35 c	36.25 abc
DSH	0.25	0.2	2.11	2.06	7.88	7.81

DSH= diferencia significativa honesta. Medias con la misma letra en cada variable en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Al observar los resultados de porcentaje de semilla dañado (Cuadro 2) es evidente que X'ejub, a pesar de sobresalir en el porcentaje de endospermo harinoso, no resaltó en porcentaje de semilla dañada, por otro lado, las poblaciones que coinciden con escutelo grande (mayor a 11%) y porcentajes de endospermo harinoso superiores a 30%, con excepción de X'ejub, registraron porcentajes de semilla dañada mayores a 30%.

De acuerdo con los resultados de la correlación, el índice de asociación del endospermo harinoso con el porcentaje de daño fue de -0.049, mientras que para el endospermo cristalino se obtuvo -0.167, estos resultados coinciden con lo obtenido por Bourne-Murrieta *et al.* (2014). Que encontraron baja correlación entre la dureza de la semilla y pérdida de peso ($r = 0.15$) y con el porcentaje de grano dañado ($r = 0.2$) lo que concluye que la dureza del grano no es determinante en

la preferencia, pero la relación obtenida, en este estudio, entre las estructuras embrión y pericarpio para semilla dañada, los índices fueron de 0.418 y 0.495 respectivamente lo que indica que estas estructuras influyen en la preferencia del gorgojo.

De acuerdo con García-Lara *et al.* (2004) mencionan la importancia de fenoles en la tolerancia a plagas de almacén y estos compuestos se han localizado con mayor frecuencia en pericarpio y escutelo. Cabrera-Soto *et al.* (2009) correlacionan la cantidad de fenoles, el color del grano y dureza, mientras que Bourne-Murrieta *et al.* (2014) reportaron que los maíces entre más opacos son fueron poco dañados.

Estos resultados sugieren que existen diferentes mecanismos físicos, fisiológicos y bioquímicos que interactúan y contribuyen a generar susceptibilidad de la semilla o a aumentar la preferencia del insecto, ya sea para reproducción o alimentación. Cázares-Sánchez *et al.* (2015) analizaron 41 poblaciones nativas de maíz de Yucatán y registraron altos contenidos de proteína, particularmente las poblaciones denominadas Nal t'eel, mientras las poblaciones de Xnuuk nal presentaron altos contenidos de fibra, elementos que se han reportado como atractivos para *Sitophilus*, lo que coincide con lo observado en el presente estudio, donde los materiales con mayor afectación pertenecen a estos grupos.

De acuerdo con Khakata *et al.* (2018) existe la posibilidad de seleccionar materiales para mejoramiento genético con base en su respuesta de pérdida de peso ocasionada por el ataque de *Sitophilus*. Por otro lado, se reporta que los materiales nativos son las mejores fuentes para el mejoramiento genético para resistencia a *Sitophilus*, ya que las pérdidas que llegan a registrarse se encuentran por debajo de los registros de los materiales híbridos (Maggioni *et al.*, 2016).

Esta información coincide con lo encontrado en este estudio, las variedades testigo (Chichen Itza y Sac beh) registraron la mayor cantidad de granos dañados, alrededor de 15.4% por arriba del gallito amarillo. En cuanto a la pérdida de peso de peso ésta fue de 3.7% porcentuales, superior al material con menor pérdida (Sak nal), superados solamente por Nal t'eel blanco (Cuadro 2).

Conclusiones

Los materiales blancos (Sac beh y Gallito blanco), presentaron susceptibilidad al gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) pues registraron mayor pérdida de peso y semilla dañada. La población X'ejub (morado) y las poblaciones rojas, a pesar de contar con alto porcentaje de endospermo harinoso, no tuvo preferencia por los insectos su alimentación y reproducción.

Se observó diferente respuesta en los materiales Nal t'eel (blancos y amarillos) lo que indica variabilidad en la respuesta a la tolerancia al gorgojo. El tipo de endospermo no fue determinante en la susceptibilidad o preferencia del insecto; sin embargo, el escutelo y pericarpio influyeron.

Literatura citada

Abebe, F.; Tefera, T. E.; Mugo-Beyene, Y. and Vidal, S. 2009. Resistance of maize varieties to the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae). *Afr. J. Biotechnol.* 8(21):5937-5943. <https://doi.org/10.4314/ajb.v8i21.66077>.

- Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García de los, S. G.; Miranda, C. S.; Mejía, C. J. A. y González, C. F. V. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):9-15.
- Arnason, T. J.; Baum, B.; Gale, J.; Lambert, H. D. J.; Bergvinson, D.; Philogene, R. J. B.; Serratos, A. J.; Mihm, J. and Jewell, D. C. 1994. Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic and biochemical parameters. *Euphytica.* 74(3):227-236. <https://doi.org/10.1007/BF00040405>.
- Bourne-Murrieta, L. R.; Wong-Corral, J.; Borboa-Flores, J. and Cinco-Moroyoqui, J. F. 2014. Daños causados por el barrenador mayor de los granos *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) en maíz y ramas de plantas silvestres. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Amb.* 20(1):63-75. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.03.008>.
- Cabrera-Soto, M. L.; Salinas-Moreno, Y.; Velázquez-Cardelas, G. A. y Espinosa, T. E. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. *Agrociencia.* 43(8):827-839.
- Caneppele, M. A. B.; Caneppele, C. S. and Lázzari, M. 2003. Correlation between the relation of level *Sitophilus zeamays* Mostchulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). *Rev. Bras. Entomol.* 47(4):625-630.
- Cázarez-Sánchez, E.; Chavéz-Servia, J. L.; Salinas-Moreno, Y.; Castillo-González, F. y Ramírez-Vallejo, P. 2015. Variación en la composición del grano entre poblaciones maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia.* 49(1):15-30.
- Cerna, C. E.; Guevara, A. L.; Landeros, F. J.; Ochoa, F. Y.; Badii, H. Z. M. y Olalde, P. V. 2010. Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de semilla de maíz. *Rev. Facultad de Ciencias Agrarias.* 42(1):135-145.
- Cespón, F. M.; Martínez, C. G.; Covas, V. D. y Barrera, G. A. 2015. Control de la temperatura para la prevención de plagas postcosecha en la conservación de granos. *Rev. Científica Ingeniería y Desarrollo.* 33(2):216-237. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.33.2.6281>.
- Derera, J.; Pixley, V. K.; Giga, P. D. and Makanda, I. 2014. Resistance of maize to the maize weevil: III. Grain weight loss assessment and implications for breeding. *J. Stored Products Res.* 59(1):24-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2014.04.004>.
- Figueroa, C. J. de D.; Narváez, G. D.; Mauricio, S. A.; Taba, S.; Gaytán, M. M.; Véles, M. J. J.; Rincón S. F. y Aragón, C. F. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3-a):305-314.
- García-Lara, S.; Burt, J. A.; Serratos, A. J.; Díaz, P. D.; Arnason, J. T. y Bergvinson, D. 2003. Defensas naturales en el grano de maíz, al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch, Coleoptera: Curculionidae) Mecanismos y bases de la resistencia. *Rev. Ed. Bioq.* 22(3):138-145.
- García-Lara, L.; Bergvinson, D. G.; Burt, A. J.; Ramputh, L.; Díaz-Pontones, D. M. and Arnason, J. T. 2004. The role of pericarp cell wall components in maize weevil resistance. *Crop Sci.* 44(5):1546-1552. <http://doi.org/10.2135/cropsci2004.1546>.
- García-Lara, S. y Bergvinson, D. J. 2007. Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz. *Agric. Téc. Méx.* 33(2):181-189.
- García-Lara, S.; Arnason, T. J.; Díaz-Pontones, D.; González, E. and Bergvinson, J. D. 2007. Soluble peroxidase activity in maize endosperm associated with maize weevil resistance. *Crop Science.* 47(3):1125-1130. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0687>.
- García-Lara, S. y Bergvinson, J. D. 2013. Identificación de variedades nativas de maíz con alta resistencia a las plagas de almacén *Sitophilus zeamais* Motschulsky y *Prostephanus truncatus* Horn, en Latinoamérica. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3-A):347-356.

- García-Leaños, M. L.; Aguirre-Gómez, J. A.; Narro-Sánchez, J.; Córtez-Baheza, E. y Rivera-Reyes, J. G. 2007. Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 33(3):231-239.
- Groote, H.; Groote, B.; Bruce, A. Y.; Marangu, C. and Tefera, T. 2017. Maize storage insects (*Sitophilus zeamais* and *Prostephanus truncatus*) prefer to feed on smaller maize grains and grains with color, especially green. *J. Stored Products Res.* 71(1):72-80. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.01.005N>.
- International Seed Testing Association. 2015. International rules for seeds testing. Bassersdorf. Switzerland.
- Khakata, S.; Nzuve, F. M.; Chemining-wa, G. N.; Mwimali, M.; Karanja, J.; Harvey, J. and Mwololo, J. K. 2018. Post-harvest evaluation of selected hybrids to maize weevil *Sitophilus zeamais* resistance. *J. Stored Products Postharvest Res.* 9(3):16-26. <https://doi.org/10.5897/JSPPR2017.0237>.
- Lara, U. V.; Sebastián, D. J.; Merlo, C.; Peschiutta, M. L. and Zunino, M. P. 2018. Insect-corn kernel interaction: chemical signaling of the grain and host recognition by *Sitophilus zeamais*. *J. Stored Products Res.* 79(1):66-72. <http://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.08.002>.
- Likhayo, P.; Bruce, A. Y.; Tefera, T. and Mueke, J. 2018. Mize grain stored in hermetic bags: effect of moisture and pest infestation on grain quality. *J. Food Quality.* 3:1-19. <https://doi.org/10.1155/2018/2515698>.
- Maggioni, K.; Barboza, L. S.; Fernández, Z. X.; Bortoli, C. M.; Barros, L. R. D. and Ettore, B. P. 2016. Performance of populations of *Sitophilus zeamais* Mostschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on different varieties of maize. *Afr. J. Agric. Res.* 11(10):873-881. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10505>.
- Mansoor-ul-H.; Aslam, A.; Jafir, M.; Javed, M. W.; Shehzad, M.; Chaudhary, M. Z. and Aftab, M. 2017. Effect of temperature and relative humidity on development of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Jo. Entomol. Zoolgy Studies.* 5(6):85-90.
- Nwosu, L. C. 2016. Chemical bases for maize grain resistance to infestation and damage by the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Mostschulsky. *J. Stored Products Res.* 69(1):41-50. <http://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.01.005>.
- Palafox-Caballero, A.; Sierra-Macías, M.; Espinosa-Calderón, A.; Rodríguez-Montalvo, F. y Becerra- León, E. N. 2008. Tolerancia a infestación por gorgojos (*Sitophilus* spp.) en genotipos de maíz comunes y de alta calidad proteínica. *Agron. Mesoam.* 19(1):39-46.
- Rodríguez, R. R. y Herrera, R. J. F. 2003. Insectos y hongos en los granos almacenados en Yucatán. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán.* 227:44-53.
- Tefera, M.; Mugo, S. and Likhayo, P. 2011. Effects of insect population density and storage time on grain damage and damage and weight loss in maize due to the maize weevil *Sitophilus zeamais* and the large grain borer *Prostephanus truncatus*. *Afr. J. Agric. Res.* 6(10):2249-2254.
- USDA. 2018. Foreign Agricultural Service. World corn production, consumption, and stocks. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>.