



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

**MECANISMOS DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *Sitophilus
zeamais* Motschulsky EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL
ESTADO DE YUCATÁN**

JOHNNY ABRAHAM BURGOS DÍAZ

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Johnny Abraham Burgos Díaz, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Ignacio Benítez Riquelme, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis MECANISMOS DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE Sitophilus zeamais Motschulsky EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE YUCATÀN

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 31 de ENERO de 2019

Firma del
Alumno (a)

Dr. Ignacio Benítez Riquelme

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **MECANISMOS DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *Sitophilus zeamais* Motschulsky EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE YUCATÁN** realizada por el alumno: Johnny Abraham Burgos Díaz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



Dr. Ignacio Benítez Riquelme

ASESOR (A)



Dr. J. Jesús García Zavala

ASESOR (A)



Dra. María Alma Rangel Fajardo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2019

MECANISMOS DE TOLERANCIA AL ATAQUE DE *Sitophilus zeamais* Motschulsky EN POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE YUCATÁN

Johnny Abraham Burgos Díaz, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Con base en dos bioensayos de campo en los ciclos de cultivo verano de 2017 e invierno primavera de 2018 y en cuatro bioensayos de laboratorio, se evaluaron diez poblaciones nativas de maíz (*Zea mays* L.) del Estado de Yucatán para caracterizar la resistencia al ataque del gorgojo *Sitophilus zeamais* Motschulsky, una de las plagas de almacén más importantes que causa pérdidas en grano en la región. Siguiendo los protocolos de conservación del grano limpio, recolección, selección, cría y reproducción del gorgojo y la clasificación de las poblaciones por color y luego del análisis estadístico practicado en cada experimento, se encontró que si bien el ciclo biológico de los maíces nativos de Yucatán incide en las diferencias de componentes del rendimiento de mazorca y de grano, tales componentes no impactaron directamente en la resistencia al gorgojo. Con humedades en el grano de 12.6 % y 83.0 % en promedio de germinación de semilla en todas las poblaciones evaluadas, todas tuvieron una pérdida de peso de grano promedio de 5.35 % (2.9 a 9.0 %) a los 15 días de la infestación; dicha pérdida de peso fue mucho menor a la media nacional de 10 %. La raza “Nal t’eel” , registró bajo porcentaje de grano dañado y también uno de los menores porcentajes de pérdida de peso; por el contrario las poblaciones de Tuxpeño presentaron los porcentajes más altos de grano dañado y pérdida de peso de grano, atribuible a las mayores reservas de la semilla y mayor tamaño de grano. En cuanto a colores, el patrón de preferencia del gorgojo fue mayor por los granos blancos, seguido de los amarillos, morados y por último los rojos. La proporción de pericarpio en la semilla fue alto en todas las poblaciones evaluadas y en su mayoría con endospermo cristalino; el mayor ataque del gorgojo fue en poblaciones con endospermo harinoso.

Palabras clave: *Zea mays* L., maíz nativo, poblaciones de Yucatán, infestación de gorgojo, susceptibilidad al daño por *Sitophilus zeamais*.

TOLERANCE MECHANISMS to the ATTACK of *Sitophilus zeamais* Motschulsky IN NATIVE MAIZ POPULATIONS FROM YUCATÁN STATE

Johnny Abraham Burgos Díaz, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

Based on two field bioassays done during the 2017 Summer cycle and the 2018 Winter-Spring cycle and four laboratory bioassays, ten native maize population from Yucatán were evaluated to assess their resistance to *Sitophilus zeamais* Motschulsky weevil attack, one of the most damaging storage pests, which causes major grain loss regionally. Following the protocols of clean grain conservation, collection, selection, and breeding of weevils, classifying populations by color and after statistical analysis of each experiment, it was found that even when the biological cycle of native maize from Yucatán has an impact on differences among ear and grain yield components, said components did not impact directly resistance to weevils. With 12.6 % moisture content and average germination of 83.0 % in all native populations evaluated, they all had average grain weight loss of 5.35 % (2.9 to 9.0 %) 15 days after infestation; such loss was less than the national average of 10 %. The landrace ‘Nal t’eel’ showed low damaged grain percentage and one of the lower weight loss percentages; on the contrary, Tuxpeño populations showed the greater damaged grain and grain weight loss percentages, which may be attributed to greater seed storage tissue and size. Regarding colors, the weevil preference pattern was predominantly white grain, followed by yellow, purple and lastly red. The ratio of pericarp in the grain was high in all evaluated populations, the majority of which have flint type endosperm; the greater weevil attack was on populations with floury endosperm.

Index words: *Zea mays* L., native maize, Yucatan populations, weevil infestation, susceptibility to *Sitophilus zeamais* damage.

DEDICATORIA

Con especial dedicatoria **A la memoria de mi padre, †Mateo Burgos Ruiz**, gracias por hacerme saber que todo es posible en la vida, solo es cuestión de; disciplina y perseverancia.

A mi madre, **Irasema Díaz Conrado**, por su paciencia y dedicación en cada una de las etapas de mi vida.

Para mis hermanos, **Edwin, Geyler y Mateo Jr.** Por su apoyo y cariño de siempre.

Para una amiga y compañera, **Aracelly Cetzal**, por estar conmigo aun en la distancia.

Para mis amigos que siempre han creído en mí; **Cesar, Edgar, Roberto, Yoni, Geyler, Mateo, Manuel, Sergio, Argel, Antonio, Jesús, Rudy, Roger, Pablo y José.**

Con cariño para cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas y al Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad- Genética.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo brindado para la realización de mis estudios.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por las facilidades prestadas para la realización de mi postgrado.

A los miembros de mi Consejo Particular:

Dr. Ignacio Benítez Riquelme, por su enorme paciencia como Consejero y por su ayuda incondicional en la elaboración de mi tesis.

Dra. María Alma Rangel Fajardo, por su apoyo incondicional como asesora externa, y por su amistad.

Dr. J. Jesús García Zavala, por su apoyo incondicional en la revisión y elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Jorge Ismael Tucuch Haas, por su orientación en una fase de experimentación del trabajo de tesis, y apoyo en cada momento.

A mis profesores, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en la elaboración de mi tesis.

A cada uno de ustedes, Gracias.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2 HIPÓTESIS	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Producción de maíz y plagas de almacén	5
2.2. Alternativas de control.....	6
2.3. Clasificación de resistencia en plagas	8
2.4. Estructuras físicas del grano que confieren resistencia	9
2.5. Estructuras y porcentajes en la integración del grano de maíz.....	10
2.6. Tipos de maíz con relación al pericarpio y el endospermo	12
2.6.1. Maíz duro	12
2.6.2. Maíz dentado.....	12
2.6.3. Maíz harinoso.....	13
2.6.4. Maíz ceroso	13
2.6.5. Maíz dulce.....	13
2.7. Clasificación de plagas	13
2.8. Gorgojo de maíz <i>Sitophilus zeamais</i>	14
2.8.1. Biología y comportamiento.....	14
2.9. Experimentos del daño por gorgojo.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de experimentación	17
3.2 Origen del material genético.....	17

3.3. Poblaciones nativas evaluadas.....	18
3.3.1. Raza ‘Nal t’eel’	19
3.3.2. Raza Tuxpeño ‘Xmejen nal’	19
3.3.3. Raza Tuxpeño ‘Xnuuk nal’	19
3.4. Pruebas y actividades de campo	19
3.4.1 Incremento y evaluación en parcelas de incremento	19
3.5. Pruebas de laboratorio	21
3.5.1. Conservación de grano limpio	21
3.5.2. Recolecta y selección de gorgojos.	21
3.5.3. Cría y reproducción de gorgojos.....	21
3.5.4. Porcentaje de germinación y humedad	22
3.6. Bioensayo de susceptibilidad de grano.....	22
3.6.1. Porcentaje de granos dañados (PGD):	23
3.6.2. Porcentaje de gorgojos vivos (PGV):	23
3.6.3. Porcentaje de pérdida de peso (PPP).	23
3.7. Agrupación de las poblaciones de maíz por color	23
3.8. Bioensayo de preferencia del grano por el gorgojo o libre elección del gorgojo	24
3.9. Bioensayo de disección del grano	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
V. CONCLUSIONES	45
VI. BIBLIOGRAFÍA	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de las poblaciones nativas colectadas en 2017, con base en criterios fisiológicos y morfológicos propuestos por Camacho-Villa y Chávez-Servia (2004).	18
Cuadro 2. Cuadrados medios del ANOVA de las características de la mazorca de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	26
Cuadro 3. Medias de las variables en caracterización de mazorcas de 10 poblaciones maíz del estado de Yucatán.....	27
Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	31
Cuadro 5. Cuadrados medios del ANOVA de los porcentajes de humedad y germinación de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	33
Cuadro 6. Cuadrados medios del ANOVA de las características de 10 poblaciones infestadas con gorgojos.	35
Cuadro 7. Medias de las variables evaluadas en 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	37
Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de 10 poblaciones de maíz evaluadas en Yucatán para tolerancia al gorgojo.	38
Cuadro 9. Cuadrados medios del ANOVA de 10 poblaciones de maíz agrupadas por color de grano.....	39
Cuadro 10. Medias de la variable evaluada en 10 poblaciones de maíz agrupadas por color de grano.....	40
Cuadro 11. Cuadrados medios del ANOVA de las estructuras de la semilla de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	41

Cuadro 12. Medias de las variables de las estructuras de la semilla de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.....	42
Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de composición del grano de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estimación de rendimiento en t ha ⁻¹ de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.....	28
Figura 2. Diámetro y longitud de mazorca de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán. ...	29
Figura 3. Número de hileras y cantidad de granos por hilera de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.....	30
Figura 4. Porcentajes de humedad de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.....	32
Figura 5. Promedios de porcentajes de germinación de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.....	34

LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE

- Cuadro 1.A.** Escala para estimar el daño de insectos en el maíz almacenado57
- Cuadro 2.A.** Diez poblaciones de maíz del estado de Yucatán agrupadas por colore del grano ..59

I. 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. A nivel mundial, se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas de maíz (Fenalce, 2010).

En México, el maíz es el principal cultivo, pues se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas, además de ser el centro de origen y por lo tanto cuna de diversidad genética, el maíz posee valores simbólicos y culturales de cada región (Polanco y Flores, 2008). En Yucatán, el maíz forma parte de la alimentación cotidiana, donde más del 80 % se cultiva bajo condiciones de temporal, en sistemas de roza, tumba y quema, y la cosecha está destinada en su mayor parte para el autoconsumo, posteriormente el grano es almacenado y el resto vendido (Palafox *et al.*, 2008).

Uno de los principales problemas que enfrenta el productor al almacenar el grano es la pérdida ocasionada por plagas y enfermedades. En Yucatán *Sitophilus zeamais* Motschulsky es el insecto que causa mayores pérdidas, se estima que, a la cosecha, 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).

Para evitar o reducir las pérdidas causadas por los insectos plaga de granos de maíz en almacén, se han generado diversas alternativas. García-Lara y Bergvison (2007) sugieren un plan integral para el control de este problema, el cual está articulado en cuatro incisos, donde resaltan la búsqueda de materiales genéticos tolerantes y la búsqueda de nuevas alternativas y difusión de las prácticas de almacenamiento. La práctica más difundida es el control químico; sin embargo, esta alternativa presenta varias desventajas, y entre las más importantes son la resistencia que se genera en el insecto, la contaminación generada por el uso de químicos, los costos elevados de los

productos y además muchos de ellos pueden ser residuales y generan intoxicación, ya que la producción, en las zonas de autoconsumo, está destinada a la alimentación. Otra alternativa es el uso de sustancias naturales, como extractos de plantas, ya sea en polvos o bien en aceites; no obstante, el resultado obtenido con estas sustancias es bajo, no se logra un control eficiente y solo se puede emplear en bajos volúmenes de grano, y muchos de los resultados obtenidos son de laboratorio (Santos *et al.*, 2015; Epidi *et al.*, 2009; Cuevas *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2003; Iannacone *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2002). A todas estas alternativas, la opción que representa una disminución de los costos ecológicos y económicos, es el mejoramiento genético de la resistencia de las variedades al ataque de plagas de almacén; en esta dirección, se han realizado numerosas contribuciones tratando de explorar la presencia de la tolerancia o resistencia genética a esta plaga, entre la diversidad varietal que se reconoce presente entre en el germoplasma nativo de maíz (Palafox-Caballero *et al.*, 2008; Redondo y Suarez, 2008; García-Lara y Bergvison, 2013).

En particular, se reconoce que las poblaciones nativas de maíz de Yucatán son importantes reservorios de genes exclusivos de la península, pues los agricultores las han conservado y seleccionado por sus ventajas adaptativas a diversas condiciones ambientales (Antonio *et al.*, 2004) y algunas de estas adaptaciones podrían ser relevantes para la generación de variabilidad en la resistencia a la infestación del grano en almacén, mediante el desarrollo de algún mecanismo que le otorgue, a este germoplasma, algún grado de tolerancia al ataque de las plagas de almacén, especialmente a *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

Entre los mecanismos de tolerancia o resistencia al ataque del gorgojo, se han identificado: la presencia de peroxidasa solubles (García-Lara *et al.*, 2007); características fisicoquímicas y bioquímicas como la dureza del grano o el tipo y cantidad de almidón presente en el grano (García-Lara *et al.*, 2003), el tiempo que toma infestar el grano, entre otros.

Dada la importancia que tiene el cultivo del maíz en el estado de Yucatán, la diversidad de maíces nativos, y el explorar y evaluar poblaciones para conocer su tolerancia al ataque de plagas de almacén, en el presente trabajo se evaluaron 10 colectas de maíz de Estado de Yucatán, para conocer su grado de susceptibilidad al ataque del gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) de almacén y poder identificar genotipos con resistencia a esta plaga. Al mismo tiempo, estar en posibilidades de identificar mecanismos de tolerancia para el ataque de plagas de almacén, con la finalidad de realizar selecciones que presenten características físicas y bioquímicas que favorezcan la resistencia al insecto, además de abrir la posibilidad de usar estas cualidades como criterios de selección en la formación de nuevas variedades o híbridos con tolerancia al ataque en almacén.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar, identificar y seleccionar poblaciones de maíz nativo de Yucatán que presenten mecanismos físicos y fisiológicos de resistencia al ataque *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar agronómica, fenológica y fisiológicamente 10 poblaciones nativas de maíz de las zonas maiceras de la Península de Yucatán.
- Describir anatómicamente las estructuras del grano y los distintos tipos de endospermo involucrados en los mecanismos físicos de resistencia al ataque del gorgojo.
- Evaluar la susceptibilidad, mediante el porcentaje de daño al grano, de las 10 poblaciones nativas maíz al ataque del gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky).

1.2 HIPÓTESIS

Dentro de la biodiversidad presente en la Península de Yucatán existen poblaciones de maíces con diferentes mecanismos físicos y bioquímicos que les confieren resistencia o tolerancia al ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, lo que permite identificar las mejores poblaciones para disminuir las pérdidas que se generan después de la cosecha en almacén.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de maíz y plagas de almacén

Para el año 2017, según los datos de producción publicados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), los países con mayor producción de maíz son: Estados Unidos de América, China, Brasil, Unión Europea, Argentina y Ucrania, colocando a México en el séptimo lugar. A pesar de esto, México es el mayor consumidor de maíz en el mundo, pues este grano representa alrededor del 30 % del consumo diario calórico de los mexicanos, lo cual se explica por el consumo *per cápita* anual de 120 kg, una cifra muy por encima del consumo promedio mundial de 17 kg (FAOSTAT, 2013). En México en el año de 2017, se sembró maíz en una superficie de 7 567 017 hectáreas, y se cosecharon 5 609 412 con una producción obtenida de 21 545 631 toneladas, dando en promedio 3 841 kg por hectárea (SIAP, 2017), aunque el dato incluye la producción en riego tecnificado y en temporal tradicional.

Para Yucatán, la superficie sembrada en el año 2017 fue de 112 754 ha, y se cosecharon 67 670 con una producción de 72 679 ton, dando un rendimiento promedio de 1 074 kg ha⁻¹ (SIAP, 2017), producción que apenas representa el 28 % de la media nacional, pero refleja el promedio nacional obtenido en condiciones de temporal. En esta región, más del 80 % se cultiva bajo condiciones de temporal, en el sistema de roza, tumba y quema. Bajo este sistema, que tradicionalmente se le llama “milpa”, el maíz forma parte de la alimentación cotidiana y la cosecha del grano de maíz está destinada principalmente al autoconsumo y una mínima parte del grano almacenado es vendido (Palafox *et al.*, 2008).

Uno de los principales problemas que enfrenta el productor al almacenar el grano es la pérdida ocasionada por plagas y enfermedades de almacén. Entre las plagas de almacén más destructivas se encuentran los insectos barrenadores del grano, destacando: picudo o gorgojo de los graneros (*Sitophilus granarius* L.), barrenillo de los granos (*Rhizopertha dominica* F.), barrenador de los

granos (*Prostephanus truncatus* Horn.), gorgojo castaño (*Tribolium castaneum* Erbst.), gorgojo confuso (*Tribolium confusum* Duval.), gorgojo de dientes de sierra o aserrado (*Oryzaephilus surinamensis* L.), gorgojo o picudo del maíz (*Sithophilus zeamais* Motschulsky.) y palomilla dorada o de los cereales (*Sitotroga cerealella* Oliv.) (Gil, 2012). Todos estos insectos están presentes en México; sin embargo, en Yucatán, las mayores pérdidas de grano en almacén son ocasionadas por *Sithophilus zeamais* Motschulsky que es considerada una plaga primaria, donde el adulto es capaz de dañar granos sanos y las larvas que se alimentan del endospermo, generan abundante polvo dejando solamente la cubierta (Ramírez, 1978). Se ha documentado que esta plaga ya está presente desde el momento de la cosecha o antes, con porcentajes de infestación en el grano aún en la mazorca de hasta del 10 % (Cerna *et al.*, 2010). En estas circunstancias, si la infestación no se controla durante el almacenaje, el daño en los granos puede alcanzar hasta el 50 o 70 % a los seis meses de almacenaje. Además, si las temperaturas son altas, como en las regiones tropicales, la actividad de los insectos se incrementa (Lagunas y Domínguez, 1985 citados por Palafox-Caballero *et al.*, 2008). García-Lara *et al.* (2003) reportaron que, en Yucatán, la plaga de referencia puede ocasionar pérdidas mayores a 80 % en granos almacenados.

2.2. Alternativas de control

Desde los años 80 del siglo pasado, se han desarrollado una serie de alternativas de control de plagas de almacén del maíz, debido a las pérdidas significativas postcosecha en granos almacenados. Por ejemplo, Salas (1984) menciona algunas alternativas de control tales como la utilización de variedades con endospermos duros que dificultan la perforación del grano por parte del insecto. También sugiere la utilización de variedades que agronómicamente contengan espigas de la mazorca más largas, fuertes y bien selladas en la punta, ya que, con buena cobertura de mazorca, se impide la penetración de la plaga de almacén desde el campo; ambos controles son eminentemente morfológicos.

El CIMMYT (1998), también desde los años 80, enfocó sus programas de fitomejoramiento de tolerancia o resistencia al ataque de plagas de los granos almacenados hacia el endurecimiento de la capa más externa del grano, mediante la utilización de materiales genéticamente productores de sustancias como el ácido fenólico, sustancia que también hace menos apetecible el grano para el insecto.

Las plantas, en especial en el grano de maíz, pueden expresar la resistencia a plagas de almacén desde el nivel anatómico o morfológico hasta el químico, pasando por combinaciones estructurales particulares que en conjunto se complementan para evitar el daño causado por el insecto (Bustamante y Patiño, 2001). Un grano menos dañado que otro por plagas de almacén, se construye a nivel genotípico. En este sentido, la resistencia genética, es la habilidad que tiene una variedad con respecto a otra para permanecer sin daño en el grano aún en presencia de la plaga insectil. Visto así, la resistencia a plagas es heredable y repetible siempre y cuando las condiciones ambientales sean las mismas. En su mayoría, esta resistencia es específica; es decir, puede ser resistente a una variante del insecto, pero susceptible a otra variante (Vallejo y Estrada, 2002).

Existen tres tipos de resistencia reconocidas al ataque de los insectos: Antixenosis o no preferencia, Antibiosis y Tolerancia (Agrios, 2005). Antixenosis, cuando una variedad es menos preferida por un insecto para sus procesos de copulación, ovoposición, y alimentación; en este sentido, un insecto prefiere o no seleccionar a una planta, con la habilidad de percibir con sus sentidos de olfato, vista, tacto y gusto. Antibiosis: cuando el insecto utiliza una variedad o especie de planta hospedante para su alimentación y esta planta tiene efectos adversos en la vida de los insectos, como fecundidad reducida, menor tamaño, vida anormal, niveles bajos de fecundación e incremento de la mortalidad. Tolerancia: cuando un insecto ataca a una planta y la planta tiene la capacidad de sobreponerse con la recuperación de tejidos o creación de nuevos tejidos. Es común que la tolerancia actúe en combinación con otros mecanismos de resistencia.

2.3. Clasificación de resistencia en plagas

Granados y Paliwal (2001) definen a la resistencia de las plantas al ataque de los insectos como la cantidad relativa de elementos heredables de la planta que influyen contra el daño hecho por los insectos. El grado de resistencia de una variedad con respecto a otra es muy específico, aunque puede compararse con alguno de los siguientes términos que se utilizan en general para clasificar la resistencia de las plantas a los insectos: a) Inmunidad: cuando un insecto nunca llegará a dañar a una planta bajo ninguna condición, aunque en el caso del maíz no se conoce ninguna variedad inmune al ataque de ningún insecto, b) Resistencia moderada: cuando una variedad tiene un nivel intermedio al ataque de insectos, c) Baja resistencia: la variedad sufre mayores daños que el promedio de los cultivos considerados, d) Susceptibilidad: las plantas muestran un daño superior al promedio a causa del ataque de insectos, y e) Alta susceptibilidad: las plantas muestran un daño extremo o 100 %. Para el caso del maíz, existe una escala (Cuadro 1A) para estimar el daño causado en el grano almacenado por los insectos propuesta por Silva *et al.* (2003). Esta escala está hecha con base en los umbrales máximos de daño por los insectos. En estos umbrales, no se cuantifica el número de insectos, más bien involucran el daño del grano o bien los granos consumidos por los insectos (Hagstrum y Flinn, 1992). En México, los umbrales de daño no consideran el número de insectos presentes, más bien se enfocan al ámbito del consumo humano. Cuando se considera el número de insectos, González (1995) menciona que una variedad es resistente cuando el porcentaje de grano dañado por insecto es menor o igual al 5.5 %.

Según lo señalado por García-Lara *et al.* (2007), los mecanismos de tolerancia o resistencia al ataque del gorgojo son: la presencia de peroxidasas solubles, la dureza del grano, el tipo y cantidad de almidón presente en el grano y el tiempo que toma infestar el grano. Por su parte, Vallejo y Estrada (2002) destacan como variables para medir la resistencia del grano de maíz al ataque del gorgojo a: la dureza del grano, la densidad, la humedad, el tamaño, el color y la textura. En el

ámbito de las características bioquímicas, Derera *et al.* (2001) y García *et al.* (2003) destacan como medida de la resistencia a la presencia de ácidos fenólicos, amidas aromáticas, inhibidores proteicos, proteínas enzimáticas y estructurales. Cuando algunas de estas características han sido consideradas para clasificar germoplasma de maíz en granos almacenados, los resultados son diversos y en general muestran que hay una gran variabilidad en la respuesta del germoplasma evaluado al ataque del gorgojo (Danho y Haubruge, 2003; Ahmed y Yusuf, 2007).

Otra forma de medir la resistencia a insectos es por evasión: el ciclo de la plaga no coincide con el ciclo biológico de la planta. Santorre (2017) encontró que maíces de ciclo corto, presentan menor daño que aquellos de ciclo largo. Explica que la evasión se debe a que las plantas tienen menos tiempo de exposición y contacto con las plagas, o el contacto no se da por la no coincidencia de sus ciclos biológicos.

2.4. Estructuras físicas del grano que confieren resistencia

La resistencia de las variedades de maíz al gorgojo del maíz *S. zeamais* se relaciona con el pericarpio o no preferencia (Mbata, 1990) y con el endospermo o antibiosis. El principal componente del grano de maíz que contribuye a su dureza es el endospermo (Figuroa-Cárdenas *et al.*, 2013). Velásquez y Diamont (2014) mencionan que la dureza y la textura cristalina del grano es una característica fisiológica que ayuda a que exista un menor daño causado por larvas de insectos. En general, es la dureza del grano la que determina la magnitud del daño ocasionado por una plaga de almacén. En este sentido, el porcentaje de penetración de las larvas a los granos se considera como medida de resistencia, que según Moss y Credland (1994) un grano resistente sería cuando la penetración es ≤ 25 %; resistencia intermedia entre 26 y menos de 50 % y susceptible > 50 %.

Existen otras clasificaciones de la resistencia del grano al daño por insectos de almacén, como las que realizaron Salinas y Aguilar (2010), y se refieren a la relación entre el tamaño del grano

con el peso de 100 granos. Encontraron que a mayor porcentaje de endospermo harinoso menor dureza del grano y viceversa, a menor porcentaje de endospermo harinoso existe mayor dureza del grano. Esta relación que valora el peso sobre volumen o volumen de endospermo, la sugieren como una medida que impide la fácil perforación del endospermo por las plagas. Desde Watson (2003) hasta Salinas y Aguilar (2010) se considera que los maíces con valores porcentuales de endospermo harinoso del 31.5 % al 50.4 % se asocian a endospermos suaves, mientras que porcentajes de endospermo harinoso menores a 35.1 % se asocian a maíces con grano duro.

El considerar la dureza del grano como una medida de resistencia a plagas de almacén también se refleja en los trabajos de la Doctora Evangelina Villegas, quien dedicó gran parte de su tiempo en la creación de los maíces QPM (maíz de alta calidad en proteínas, por sus siglas en inglés) de endospermo duro y derivado del gen *opaco-2*, que en su condición original producía un endospermo muy suave y opaco (Vivek *et al.*, 2008), condición que generaba un alto ataque por plagas de almacén.

Martínez Curbelo *et al.* (2015) mencionan que es importante el control de la humedad para el almacenamiento del grano, debido a que son muy pocos los insectos que atacan los granos almacenados con menos del 12 % de humedad; para el caso del maíz, los índices establecidos para mantener su integridad física se encuentran entre el 10 y 14 % de humedad.

2.5. Estructuras y porcentajes en la integración del grano de maíz

El grano de maíz está constituido por pedicelo, pericarpio, germen y endospermo, y sus proporciones deseables son con base en el uso al que se destine el grano. Por ejemplo, la Norma Mexicana para Maíz Nixtamalizado: NMX-ff034-2001-SCFI/P-1, presenta los siguientes valores: pedicelo: máximo 2 %; pericarpio: máximo 5.5 %; germen: máximo 13 %, endospermo harinoso: mínimo 30 %; endospermo córneo: máximo 48 %. Por otra parte, Paliwal (2001) y FAO (1993) coinciden en que el pedicelo representa del 1 al 2 %, el pericarpio puede constituir alrededor del 5

a 6 % de peso total del grano, la aleurona en torno al 2 o 3 %, el embrión alrededor del 12-13 %, y el endospermo, mayoritario, presenta unos valores en torno al 80-85 %. Estos porcentajes varían cuando se aplican a razas específicas de maíz. En el trabajo de Salinas *et al.* (2013) en la raza Bolita, con la cualidad de grano azul/morado, encontraron una proporción de pedicelo inferior a 1.2 % y una proporción de germen entre 12.2 % y 13.4 %. Gaytán-Martínez *et al.* (2013) encontraron que variedades de maíces nativos con orígenes raciales distintos, mostraron diferencias significativas en sus contenidos de endospermo, pericarpio y germen. Por ejemplo, en los maíces de la raza Zapalote obtuvieron el valor más alto en endospermo (84.01 %). Pepitilla, tuvo el valor más alto de pericarpio: 7.55 %. La raza Elotes Cónicos, el mayor porcentaje de germen (12.87 %), etc. Rico-Mancera *et al.* (2016) compararon las razas Cacahuacintle y Palomero. En este estudio, la raza Cacahuacintle presentó los siguientes valores en porcentajes de estructuras del grano: pedicelo: 2.5 %; germen: 11.5 %; endospermo suave: 76.2 %. Con los Palomero, los autores encontraron los mejores valores en las estructuras pericarpio y endospermo duro con un 9.3 % y 62.2 %, respectivamente. Otra estructura que se encuentra en el grano es la aleurona, capa más externa en el endospermo que está compuesta por gránulos de proteínas, esta capa junto con el endospermo son las estructuras que se encargan de la coloración del grano. El color de la aleurona está determinado por cuatro *loci* y el color del endospermo solamente por un *locus*, entonces la aleurona enmascara el color del endospermo, pero cuando la aleurona no posee tantos gránulos de proteína se torna delgada y no presenta color, el color del grano se debe solo al endospermo y puede ser amarillo o blanco (Maldonado y Martín, 2010). La diversidad genética y fenotípica en el color de las razas de maíz, va desde blanco, amarillo, rojo y hasta negro, con diferentes grados de intensidad (Hernández, 1985). Ford (2000) en su trabajo menciona que los granos amarillos contienen carotenoides, los rojos y negros tienen antocianinas, mientras que los blancos carecen de estos pigmentos.

2.6. Tipos de maíz con relación al pericarpio y el endospermo

El maíz tiene gran variabilidad en la expresión de características del grano, que va desde el color, textura, composición y apariencia, la cual puede ser clasificada en: 1) la constitución del endospermo y del grano; 2) el color del grano; 3) la causada por el ambiente en que es cultivado; 4) el grado de la madurez, y 5) por su uso. En este apartado solo se presentan los diferentes tipos de maíz basados en la constitución del endospermo y de grano. Los tipos de maíz más importantes son duro, dentado, reventón, dulce, harinoso, ceroso y tunicado. Hallauer *et al.* (1994) en su publicación: “Specialty Corns” cubre los aspectos de varios de esos tipos de maíz, su mejoramiento y usos. A continuación, se cita textualmente la descripción de los tipos de maíz: Tomado de Hallauer *et al.* (1994).

2.6.1. Maíz duro

“Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. El endospermo está constituido sobre todo de almidón duro córneo con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano. Es por lo general de madurez temprana y se seca rápidamente una vez que alcanzó la madurez fisiológica. Está menos sujeto a daño de insectos y mohos en el campo y en el almacenamiento. Sin embargo, los maíces duros rinden por lo general menos que los maíces dentados”.

2.6.2. Maíz dentado

“El endospermo del maíz dentado tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano. Cuando el grano se comienza a secar, el almidón blando en la parte superior del grano se contrae y produce una pequeña depresión. Esto da la apariencia de un diente y de aquí su nombre. Los maíces de granos dentados son de mayor rendimiento que otros tipos de maíces, pero tiende a ser más susceptible a hongos e insectos en el campo y en el almacenamiento y el secado del grano es tardío”.

2.6.3. Maíz harinoso

“El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi en su totalidad de un almidón muy blando. Es un maíz predominante en México. Estos maíces son casi únicamente usados como alimento humano y algunas razas se utilizan para la preparación de platos especiales y bebidas. A causa de la naturaleza blanda del almidón del endospermo, estos maíces son altamente susceptibles a la pudrición y a los gusanos de las mazorcas y a otros insectos que los atacan tanto en el campo como en el almacenamiento. Por otra parte, también es difícil mantener la buena viabilidad de las semillas”.

2.6.4. Maíz ceroso

“Su endospermo tiene un aspecto opaco y ceroso. El almidón en los maíces duros y dentados está comúnmente constituido por cerca 70 % de amilopectina y 30 % de amilosa; en cambio en los maíces cerosos está compuesto exclusivamente por amilopectina. La química de la amilopectina del maíz ceroso ha sido estudiada en detalle para sus fines industriales, ya que su composición es muy distinta de la composición de la amilopectina de los maíces duros o dentados”

2.6.5. Maíz dulce

“El endospermo cuenta con aproximadamente 11 % de azúcares. Los granos tienen un aspecto de arrugado. En su mayoría se utiliza para el consumo humano”.

2.7. Clasificación de plagas

Los insectos que por lo general se la alimentan de granos se clasifican en tres categorías (Ramírez, 1990).

Plagas primarias: Se les considera así a aquellos insectos que tienen la capacidad romper la cubierta, penetrar el grano y ovopositar dentro del grano, aunque algunas veces lo hace sobre del grano y es la larva encargada de romper y perforar el grano.

Plagas secundarias: Aquellos que se encuentran en los granos, pero después de que las plagas primarias ya causaron el daño.

Plagas terciarias: Estos insectos se alimentan de impurezas, granos quebrados y hongos desarrollados en el grano deteriorado después que las plagas primarias y secundarias han efectuado su daño.

Sitophilus zeamais Motschulsky, es considerada como una plaga primaria que causa grandes daños al grano almacenado y por tanto pérdidas significativas en la economía del productor (Ramírez, 1990).

2.8. Gorgojo de maíz *Sitophilus zeamais*

El adulto del gorgojo del maíz es un coleóptero que mide aproximadamente 2 mm de longitud, de color café oscuro o negruzco y manchas amarillentas o rojizas en los élitros; presenta un tórax denso y uniformemente punteado, con hoyos redondeados, tiene antenas en forma de codo. La cabeza es prolongada en un pico o proboscis curvo y delgado. Las antenas son acodadas y de ocho segmentos; presenta alas funcionales (García, 1992). En condiciones favorables, los adultos pueden llegar a medir entre 2.5 a 4 mm de largo (Matute y Trabanino, 1999). De manera general, éste gorgojo es comúnmente conocido como gorgojo y/o picudo del maíz; de manera amplia, esta plaga es considerada la más destructora en granos de sorgo, maíz, arroz de cáscara y cereales menores.

2.8.1. Biología y comportamiento

La hembra es la encargada de perforar el grano con su aparato bucal y ovipositar dentro del mismo, protege a los huevecillos con una secreción gelatinosa. A lo largo de su vida una hembra puede ovipositar de 200 a 500 huevecillos. Posteriormente, los huevecillos eclosionan entre los 3 y 5 días, dependiendo de la temperatura; al emerger se convierten en larvas y completan su desarrollo, pasando por cuatro estadios. En el último estadio, las larvas utilizan secreciones y desechos para la construcción de la pupa, donde esta se tarda de 3 a 6 días, dependiendo del medio

ambiente, para emerger como adulto, que ya es sexualmente maduro, y permanece en el grano de ocho a diez días antes de salir a reproducirse (Pérez, 1998; García, 1992). El ciclo de vida de este insecto es de aproximadamente de 30 a 42 días bajo condiciones favorables a una temperatura entre 26 a 30 °C (Sedlacek *et al.*, 1991). El número de insectos que pueden desarrollarse dentro de un grano dependerá del tamaño del mismo; por ejemplo, con dos gorgojos por grano de maíz ocasionan una pérdida de hasta un 18.8 % en 48 días (Pérez, 1998).

2.9. Experimentos del daño por gorgojo

García-Lara y Bergvison (2007) mencionan que los bioensayos de laboratorio se realizan a menor escala, minimizando la cantidad de material requerido y el tiempo de incubación y permiten evaluar en forma rápida variables como la pérdida de peso de grano y porcentajes de incubación, así como la mortalidad del insecto. Abebe *et al.* (2009) realizaron experimentos con 13 variedades mejoradas de maíz infestadas con gorgojos *Sitophilus zeamais*, utilizando 100 gramos de cada variedad y 30 gorgojos por cada variedad con el objetivo de detectar resistencia al insecto mediante la evaluación de índices de susceptibilidad propuestos por (Dobie, 1974) que consideran el número de insectos emergidos por día y el tiempo promedio de desarrollo. En el estudio obtuvieron que la variedad ‘BHQP-542’ presentó, entre las demás variedades evaluadas, el menor índice de susceptibilidad y fue considerada como resistente, los gorgojos alimentados con esta variedad produjeron bajos números de progenie (F1), por consiguiente un menor daño del grano y menor pérdida de peso del mismo.

Lale y Kartay (2006) realizaron evaluaciones de las características físicas del grano con el objetivo de detectar resistencia en tres variedades locales de maíz, infestadas con *Sitophilus zeamais*. Este experimento se realizó en Nigeria y se utilizaron solamente 10 gramos del grano de cada genotipo infestados con 2 machos y 5 hembras y se encontró que la variedad ‘Coma’ tuvo diferencias significativas, con mayor daño en las semillas y se presentaron mayor cantidad de

insectos adultos, esta variedad posee granos pequeño y suaves y de testa delgada, a diferencia de las otras dos variedades evaluadas ‘Bende’ y ‘Ogbia muno’, que son de grano grande y duros y de testa delgada y sufrieron menos daño de grano.

Makate (2010) realizó una investigación con nueve variedades de maíz, y evaluó la susceptibilidad por la infestación postcosecha del grano por *Sitophilus zeamais* bajo almacenaje. Para este experimento se utilizó 50 g de cada variedad y se infestaron con 12 hembras y 6 machos, y obtuvieron una correlación positiva entre el índice de susceptibilidad y el contenido de humedad de cada variedad.

La utilización de diversas variedades de maíz, así como las formas de almacenamiento pueden afectar en el desarrollo del *Sitophilus zeamais*, así lo concluyeron Vowotor *et al.* (1995), cuando evaluaron 10 mazorcas infestándolas con 800 gorgojos al azar entre hembras y machos. Su resultado más sobresaliente es que al almacenar sus mazorcas sin cáscara (hojas que cubren la mazorca) se acelera el desarrollo del gorgojo del maíz, y de esta forma se reduce la acumulación de poblaciones del insecto, práctica cultural que puede tener un aporte sin costo adicional a la práctica de manejo postcosecha del grano de maíz.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de experimentación

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Uxmal del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Mérida– Campeche vía Ruinas km 72, Muna, Yucatán. El clima de esta estación tiene una temperatura promedio de 26°C con una precipitación promedio entre 1000 y 1200 mm anuales y un suelo mecanizable llamado K'ankab en lengua maya, clasificado como Luvisol (Duch, 1991).

3.2 Origen del material genético

Para la evaluación de la tolerancia del maíz a los daños del grano por plagas de almacén, se contemplaron 35 poblaciones nativas del Estado de Yucatán; 25 de ellas formaron parte de una colecta realizada durante los años 2009 y 2010 en el proyecto denominado “Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres de México. Región Sureste” (Aguilar *et al.*, 2010), que se encuentran resguardadas en el Banco de Germoplasma del Campo Experimental Valles Altos de México (CEVAMEX). Las 10 restantes, son poblaciones nativas del sur-poniente del Estado de Yucatán, de una colecta realizada por el autor a inicios del año 2017.

Al realizar las pruebas de germinación previas a la primera siembra para el incremento de semilla, se observó que las 25 poblaciones pertenecientes a la colecta que se encuentra en el Banco de Germoplasma del CEVAMEX, presentaron una viabilidad muy baja, alrededor del 2 %; aun así, se sembraron para incremento en el ciclo de cultivo de verano 2017, depositando todas las semillas en campo, con el fin de rescatar las poblaciones. No hubo germinación de semilla en ninguna de las 25 accesiones. En este sentido, el mosaico de poblaciones para el trabajo de investigación se redujo a las 10 poblaciones, mismas que forman parte de la colecta del año 2017, estas fueron clasificadas en tres grupos nombrados en lengua maya: ‘Nal t’eel’ (3), ‘Xmejen nal’ (3) y ‘Xnuuk

nal' (4). Las 10 poblaciones fueron descritas y clasificadas con base en las características morfológicas y fisiológicas propuestas por Camacho-Villa y Chávez-Servia (2004) para los materiales pertenecientes a la península de Yucatán (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de las poblaciones nativas colectadas en 2017, con base en criterios fisiológicos y morfológicos propuestos por Camacho-Villa y Chávez-Servia (2004).

Grupo nativo	Ciclo de cultivo	Nombre común	Color de grano
Nal t'eel ,	Precoz	Gallito Amarillo	Amarillo
Nal t'eel	Precoz	Gallito Blanco	Blanco
Nal t'eel	Precoz	Nal t'eel Amarillo.	Amarillo
Xmejen nal	Corto o intermedio	Chac choc	Rojo
Xmejen nal	Corto o intermedio	Chac	Rojo
Xmejen nal	Corto o intermedio	Nal xoy	Amarillo
Xnuuk nal	Tardío	Sac nal	Blanco
Xnuuk nal	Tardío	X ej'ub	Morado
Xnuuk nal	Tardío	Sac beh	Blanco
Xnuuk nal	Tardío	Chichen Itza	Amarillo

3.3. Poblaciones nativas evaluadas

Las 10 poblaciones nativas evaluadas pertenecen a tres grupos nativos de la Península de Yucatán, que con frecuencia se cultivan en los sistemas de roza-tumba-quema del trópico seco y sub-húmedo (Camacho y Servia, 2004; CONABIO, 2011).

Entre los tres grupos nativos, el perteneciente a la Raza 'Nal t'eel' se ha evaluado y caracterizado en gran parte de la República Mexicana; no así los grupos 'Xmejen nal' y 'Xnuuk nal' que a nivel país han sido muy poco evaluados y descritos. Estos dos últimos grupos raciales, son considerados

parte de la Raza Tuxpeño y en Yucatán, con nombres maya propios, el nombre describe el tamaño de mazorca pequeña y ciclo de cultivo corto o largo, respectivamente.

3.3.1. Raza ‘Nal t’eel’

A esta raza pertenecen las poblaciones: ‘Gallito Amarillo’, ‘Gallito Blanco’ y ‘Nal t’eel Amarillo’. La raza se caracteriza por sus mazorcas de granos cristalinos y semi-dentados en los que predominan los colores amarillo y blanco, aunque también llegan a presentar coloraciones azules y rojas; es una de las razas más precoces en su maduración (60 días en promedio a exposición de estigmas) (Camacho y Servia, 2004). Esta raza tiene el pericarpio más grueso, lo que propicia el contenido de mayor proteína de buena calidad en los subproductos como tortilla y pozol. Tiene potencial para la obtención de alto contenido de fibra y germen (proporción de germen de 14.3 %) (CONABIO 2010).

3.3.2. Raza Tuxpeño ‘Xmejen nal’

A esta raza pertenecen las poblaciones: ‘Chac choc’, ‘Chac’ y ‘Nal xoy’. La raza se considera precoz a intermedia, con 65 días para la exposición de estigmas, altura de planta de 2.16 m, mazorca de 11 cm con 14 hileras y 28 granos por hilera.

3.3.3. Raza Tuxpeño ‘Xnuuk nal’

A esta raza pertenecen las poblaciones: ‘Sac nal’, ‘X ej’ub’, ‘Sac beh’, ‘Chichen Itza’. Raza de ciclo tardío con 85 días para la exposición de estigmas, altura de planta de 3.08 m, longitud de mazorca de 14.5 cm, 11.5 hileras con 40 granos cada una.

3.4. Pruebas y actividades de campo

3.4.1 Incremento y evaluación en parcelas de incremento

Para obtener suficientes semillas y granos de la misma edad de cada población, éstas se sembraron para incremento en parcelas de cuatro surcos de 20 m de largo y 1.5 m de ancho, durante

la estación de cultivo de verano 2017 en la Estación Experimental de Uxmal. A la floración se realizaron polinizaciones manuales mediante cruzamientos fraternales dentro de cada población, se cosechó y con la semilla de las cruas fraternales, se formó un compuesto genético balanceado de semilla de cada población. Parte de la semilla fue resguardada para las pruebas de laboratorio que se llevaron a cabo a partir de enero de 2018. Otro porcentaje de la semilla sirvió para una segunda siembra en el ciclo de cultivo invierno-primavera 2018, para la caracterización descriptiva de las poblaciones por sus cualidades de mazorca hecha igualmente en el ciclo de verano 2017: largo, ancho, número de hileras, número de granos por hilera, y la estimación de rendimiento de cada población. Al momento de la floración se realizaron monitoreos visuales, con la finalidad de observar la presencia de la floración en un 50 % de la población, para poder marcar como fecha de floración, estos monitoreos y conteos fueron constantes debido a que las poblaciones se comportan de manera diferente, dependiendo de su ciclo de producción,

En ambos ciclos de cultivo y al momento de la cosecha se tomaron 22 mazorcas al azar de cada población y se obtuvieron la longitud de la mazorca se midió con una cinta métrica, misma que sirvió para medir la circunferencia y con esa medida se calculó el diámetro de la mazorca, el número de hileras y la cantidad de granos. El rendimiento de grano de cada población se estimó mediante la fórmula propuesta por Pérez (2001):

$$R=X*T (100-Phg)/86*Fdg*(100/D);$$

Donde:

R= Rendimiento kg/ha; X= Peso total de 22 mazorcas; T=Número total de mazorcas en 10 metros; Phg= Humedad a la cosecha; 86= Factor de corrección; Fdg= Factor de desgranado (peso de 5 mazorcas/peso del grano) y D= Ancho del surco.

Los datos se pasaron en un programa informático de 'Excel', para su contabilización y análisis estadístico mediante ANOVA, tomando en este caso a los ciclos de cultivo verano 2017 e invierno

primavera 2018 como repeticiones; la comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey con ($\alpha \leq 0.05$).

3.5. Pruebas de laboratorio

3.5.1. Conservación de grano limpio

A la cosecha del ciclo verano de 2017, se seleccionaron visualmente las mazorcas más sanas, se desgranaron y los granos se pasaron por una caja de luz para eliminar aquél que estuviera picado, dañado, con presencia de galerías o gorgojos en estados larvales. Una vez seleccionados los granos de maíz, se colocaron en frascos de cristal, cuidando que dichos recipientes se encontraran limpios, secos y sellados herméticamente, todo con la finalidad de evitar la entrada de plagas. Dichos frascos se almacenaron en un lugar seguro y seco, solamente se abrieron al momento de establecer los ensayos.

3.5.2. Recolecta y selección de gorgojos.

Con la ayuda de un aspirador entomológico, que consta de una manguera de succión, y otra de aspirado, que desemboca en un recipiente de plástico se colectaron los gorgojos presentes en cultivos de maíz aledaños, dichos gorgojos se trasladaron hasta el laboratorio de Entomología para su inspección y la selección de los especímenes en buenas condiciones, para iniciar con la cría y reproducción de gorgojos.

3.5.3. Cría y reproducción de gorgojos

Se inspeccionó una población de gorgojos, todos aquellos especímenes que se encontraron en buenas condiciones, se pasaron en recipientes de capacidad de 1 kg para su alimentación y observación, durante cuatro semanas; dicho periodo ayudó a eliminar a todos aquellos especímenes que se encontraron enfermos o contagiados de alguna enfermedad (periodo cuarentenario). Una vez transcurridas las cuatro semanas, se observó la población y se seleccionó nuevamente a todos los gorgojos en buenas condiciones (fácil movilidad, insectos con sus estructuras completas,

insectos limpios, insectos sanos), que se pasaron en recipientes de capacidad de 20 kg para su alimentación y reproducción (cámara de cría), a cada recipiente se le confeccionó una ventana con tela de malla para facilitar la ventilación de éste. Para la conservación y reproducción del gorgojo, se revisó la cámara cada 15 días para suministrarle su alimentación (granos de maíz).

3.5.4. Porcentaje de germinación y humedad

Para esta prueba se utilizaron 100 semillas de cada población, toallas sanitarias interdoblada 'Kimberly Clark', profesional de 24 x 23.2 cm y agua destilada. En cada toalla se colocaron 25 semillas de cada población conformando cuatro repeticiones; luego de inundarse con el agua destilada, fueron enrolladas en forma de "taco" (método de muñeca) y se colocaron en una cámara de germinado a $25^{\circ}\text{C} \pm 1$ durante cinco días. Se contabilizó la cantidad de semillas germinadas (GER). Para medir la humedad en el grano (HG) se utilizó el humidímetro 'Moisture check PLUS™' de la marca JOHNN DEERE. Tanto en HG como en GER, los resultados fueron expresados en porcentaje y transformados con $\sqrt{\text{del } \%}$ de cada dato evaluado, para su análisis estadístico bajo un diseño completamente al azar con el paquete estadístico SAS® versión 9.4. (SAS Institute Inc., 2002). Los resultados se compararon con la ayuda de gráficos que se realizaron en un programa informático 'Excel'®.

3.6. Bioensayo de susceptibilidad de grano

En diez recipientes (repeticiones), de plástico con capacidad para 2 kilogramos se colocaron 100 granos de cada población, previamente pesados, y 100 gorgojos adultos los que permanecieron en el frasco durante 15 días. Las variables respuesta fueron el porcentaje de granos dañados, el porcentaje de gorgojos vivos y el porcentaje de pérdida de peso de los granos de las 10 poblaciones

3.6.1. Porcentaje de granos dañados (PGD): A los 15 días de permanencia de los gorgojos adultos en el frasco, los granos se colocaron en una caja de luz, se contaron aquellos que presentaran alguna perforación o galería. Los resultados fueron expresados en porcentaje de grano dañado.

3.6.2. Porcentaje de gorgojos vivos (PGV): Se contabilizaron los gorgojos vivos y el resultado fue registrado en porcentaje.

3.6.3. Porcentaje de pérdida de peso (PPP). Se registró el peso inicial (P_i) de 100 granos (g) de cada población antes de ponerlos en el recipiente. Al cabo de 15 días de infestación, se registró nuevamente el peso de los granos (P_f) y se calculó la diferencia del peso perdido por la presencia de los gorgojos, misma que se convirtió a porcentaje (%) mediante la fórmula $(P_i - P_f) * 100 / P_i$.

Para este ensayo se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones; para el análisis estadístico de los datos transformados con Box Cox, se realizó un ANOVA y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con ($\alpha \leq 0.05$). Los datos de las variables respuesta también se analizaron con los coeficientes de correlación de Spearman. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS® versión 9.4. (SAS Institute Inc., 2002).

3.7. Agrupación de las poblaciones de maíz por color

Al momento de realizar la colecta, los mismos productores describieron sus poblaciones por coloración visual, coloración que se expone en el (Cuadro 1). Para el ensayo de preferencia del grano por el insecto o libre elección del insecto que se describe posteriormente, las poblaciones se agruparon por los colores blanco, amarillo, rojo y morado, que previamente se verificaron en el ‘Manual Gráfico para la Descripción Varietal de Maíz’, propuesto por la Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA), en conjunto con el Colegio de Postgraduados (CP) y el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) (Carballo y Benítez., 2010)

Las poblaciones también se agruparon y compararon con las Cartas de Colores de la Real Sociedad de Horticultura (RHS) por sus siglas en inglés, como se muestra en el (Cuadro 2A).

3.8. Bioensayo de preferencia del grano por el gorgojo o libre elección del gorgojo

Para el bioensayo repetido cinco veces, se tomaron 100 granos de cada población, se mezclaron y depositaron en una jaula entomológica con 1000 gorgojos, la cual se cerró herméticamente por 30 días, para medir el porcentaje de grano dañado por preferencia de color (PGDPC). Al finalizar el bioensayo, se separaron los granos por color y se contabilizaron los dañados dentro de cada color; el resultado se expresó en porciento. Los datos transformados mediante la raíz cuadrada se sometieron a análisis de varianza con base en un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones usando el paquete estadístico SAS® versión 9.4. (SAS Institute Inc., 2002). La comparación de medias fue con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y los resultados se expresan en la unidad original

3.9. Bioensayo de disección del grano

En dos repeticiones para cada población se tomaron diez semillas al azar, se pesaron en una balanza analítica para obtener el peso de grano en mg (PS); posteriormente se sumergieron en un vaso de precipitado con agua destilada a 75°C durante 15 minutos; seguidamente se cortó el pedicelo con la ayuda de un bisturí que también sirvió para desprender el pericarpio y retirar el germen del grano. Con la ayuda de un micromotor tipo dremel 300, se separó la parte cristalina y harinosa del endospermo del grano; estas estructuras se metieron a una estufa de secado a 80 °C durante 48 horas y finalmente fueron pesadas para obtener el porcentaje del pedicelo (PPED), porcentaje del pericarpio (PPER), porcentaje de germen (PGER), porcentaje del endospermo cristalino (PEHA) y el porcentaje del endospermo harinoso (PECR). Los datos, transformados con $\arcseno\sqrt{\text{porcentaje}}$, se sometieron a un análisis de varianza con base en un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones usando el paquete estadístico SAS® versión 9.4. (SAS

Institute Inc., 2002). La comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) expresando los resultados en la unidad original.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los monitoreos realizados para el conocimiento de los días a floración de las poblaciones evaluadas, se observó una similitud con los datos que se presentan Camacho-Villas y Chávez-Servia (2004) (Cuadro 1). Las flores masculinas en todas las poblaciones se presentaron de 8 a 12 días antes que los estilos de las flores femeninas. Las poblaciones pertenecientes al grupo racial Nal t'eel, presentaron promedios de 60 días a la expresión de los estigmas, las poblaciones del grupo racial Tuxpeño-Xmejen nal a los 70 días y las pertenecientes al grupo racial Tuxpeño-Xnuuk nal hasta los 87 días, en promedio. Si bien hubo asincronía aparente los estigmas permanecieron receptivos para la fecundación y la producción de grano.

Los resultados del análisis de varianza para caracteres de mazorca y rendimiento de grano (Cuadro 2) indican que entre las poblaciones hubo diferencias significativa ($p \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas; entre ambientes de evaluación, solamente las variables diámetro de mazorca (DM) y granos por hileras (GH) mostraron diferencia ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Cuadrados medios del ANOVA de las características de la mazorca de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

FV	Gl	R	LM	DM	NH	NGH
Ambientes	1	0.008	4.802	0.6125*	0.544	9.52*
Poblaciones	9	0.956*	13.765**	0.837**	5.998***	35.424***
Error	9	0.16	2.063	0.079	0.174	0.725
†C.V (%)		7.98	10.34	7.37	3.255	2.955

FV: Fuente de variación; Gl: Grados de libertad; R: Rendimiento de grano; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: Número de hileras; NGH: Número de granos por hilera
 *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente; †C.V (%): Coeficiente de variación.

Dada la composición racial de las poblaciones nativas evaluadas, las diferencias entre caracteres de mazorca y rendimiento de grano eran esperadas ante los distintos comportamientos de ciclo de cultivo: corto, intermedio y tardío sumado al origen de las poblaciones (Cuadro 1) y la extensa variabilidad que representan tanto dentro como entre razas (Camacho-Villas y Chávez-Servia, 2004; Bejarano *et al.*, 2000). En este estudio se encontró diferencias entre componentes de mazorca en su tamaño y en su forma (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de las variables en caracterización de mazorcas de 10 poblaciones maíz del estado de Yucatán.

POBLACIÓN	R (t ha ⁻¹)	LM (cm)	DM (cm)	NH	NGH
Sac nal	5.35 ab	15.10 bc	4.25 ab	14.6 a	32.40 ab
X'ejub	4.75 ab	16.20 a	3.9 ab	13.40 ab	29.85 bc
Gallito amarillo	4.15 b	10.35 b	2.75 c	9.90 c	22.85 e
Nal Xoy	5.65 ab	16.85 a	4.3 ab	13.00 ab	32.80 ab
Chac choc	4.30 b	12.05 ab	4.2 ab	13.55 ab	26.45 cd
Gallito blanco	4.15 b	10.35 b	2.75 c	9.90 c	23.05 de
Nal t'eel	5.1 ab	12.35 ab	3.35 ab	13.05 ab	24.75 de
Chac	4.80 ab	12.7 ab	3.85 abc	12.7 b	29.92 bc
Chichen Itza	5.69 ab	15.85 ab	4.3 ab	14.15 ab	32.30 ab
Sac beh	5.95 a	17.1 a	4.5 a	14.30 ab	33.85 a
Media	5.01	13.89	3.81	12.82	28.82
DSH (p≤0.05)	1.62	5.82	1.14	1.69	3.45

R (t ha⁻¹): Rendimiento en toneladas por hectárea; LM (cm): Longitud de mazorca en centímetros;

DM (cm): Diámetro de mazorca en centímetros; NH: Número de hileras; NGH: número de granos

por hilera; letras repetidas sin diferencia, letras no repetidas en columna con diferencia significativa Tukey (0.05); DHS: Diferencia significativa honesta.

Si bien, la población ‘Sac beh’ (una población tardía) presentó el mayor rendimiento (5.95 t ha⁻¹) ($p \leq 0.05$), su rendimiento no se diferenció entre las variedades tardías e intermedias y sí entre las poblaciones precoces que presentaron el menor rendimiento (4.15 t ha⁻¹) (Figura 1). Llama la atención que, dentro de grupos de precocidad, el rendimiento de grano no sea una característica distintiva entre las poblaciones nativas y sí las características de mazorca, color y tamaño de grano. Tal vez por la forma de selección que tiene el productor local que generalmente realiza la selección es el lugar del almacenamiento de la mazorca; en estas condiciones la cualidad de “rendimiento de grano” es indirecta a través de la elección de las mazorcas más sanas y sus mejores cualidades de grano, y por ello la falta de diferencia en rendimiento dentro de grupos de precocidad.

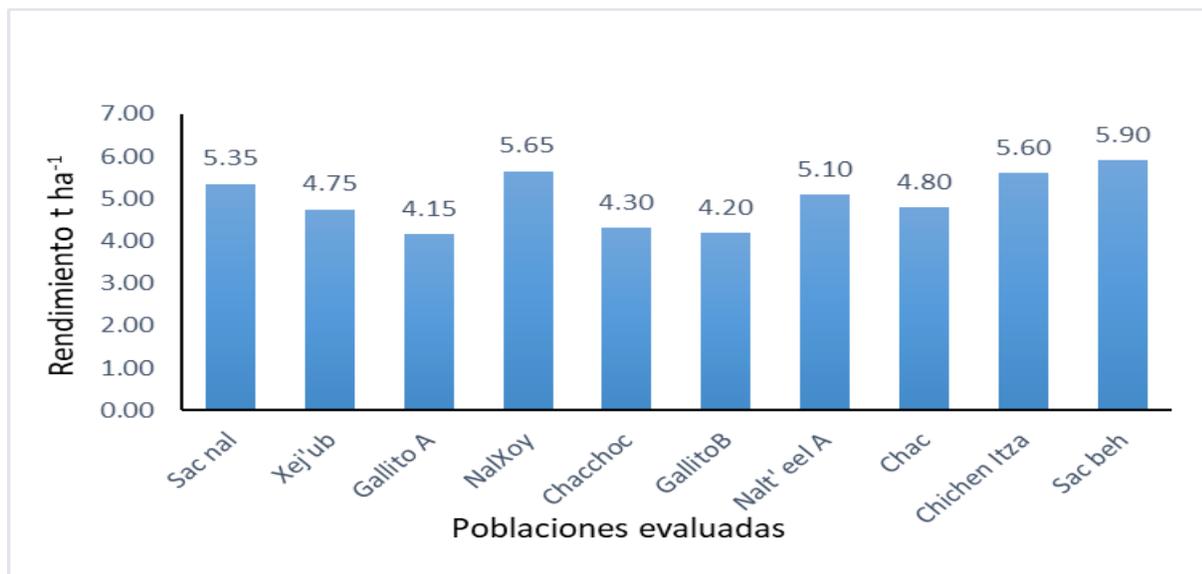


Figura 1. Estimación de rendimiento en t ha⁻¹ de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

...Para longitud de mazorca y diámetro de mazorca las poblaciones tardías e intermedias tuvieron las mayores longitudes y diámetros de mazorca ($p \leq 0.05$), destacando la población tardía ‘Sac beh’ para ambos caracteres: 15.85 cm para el primero y 4.5 cm para el segundo, respectivamente.

Igualmente, las poblaciones con menor longitud y diámetro de mazorca fueron las precoces ‘Gallito Blanco’ y ‘Gallito Amarillo’ con valores de 10.35 cm y 2.75 cm, respectivamente (Figura 2). Lozada (2004) al evaluar la longitud y el diámetro de la mazorca en un gran número de criollos de maíz del centro del país encontró diámetros de mazorca entre 3.7 a 7.83 cm y de longitud de mazorca de 12.11 a 17.72 cm. En contraste y con los datos de la presente investigación, podría señalarse que, para estos caracteres, las mazorcas de las poblaciones aquí estudiadas son en promedio más pequeñas en diámetro y longitud que las poblaciones de maíz del centro del país.

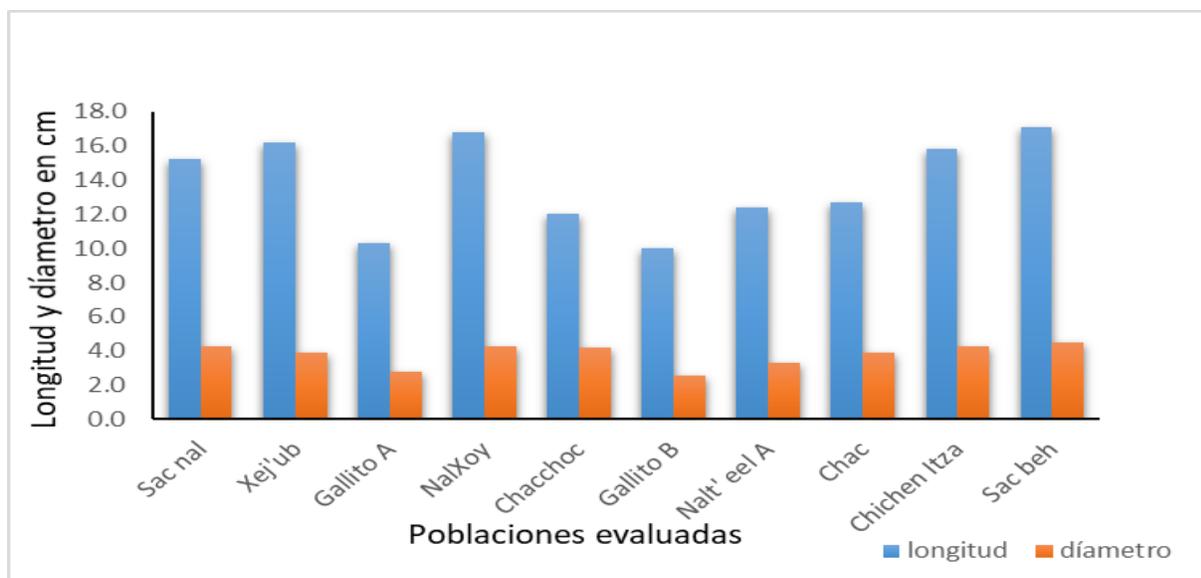


Figura 2. Diámetro y longitud de mazorca de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

Contreras (1994) afirma que la fisiología del maíz está determinada en gran medida por el factor genético; sin embargo, señala que el diámetro de la mazorca puede aumentar relativamente con la nutrición del cultivo, pero no con el número de hileras que se ajusta a lo genético. En este estudio, las mazorcas de las poblaciones evaluadas se diferenciaron ($p \leq 0.05$) por cuatro hileras: 9.9 hileras en los materiales precoces a 14.3 en los tardíos. La misma situación se encontró con el número de granos por hilera, donde las poblaciones tardías como el caso de ‘Sac beh’ tuvieron hasta 33.85 granos por hilera y las precoces como ‘Gallito Blanco’ 22 granos por hileras.

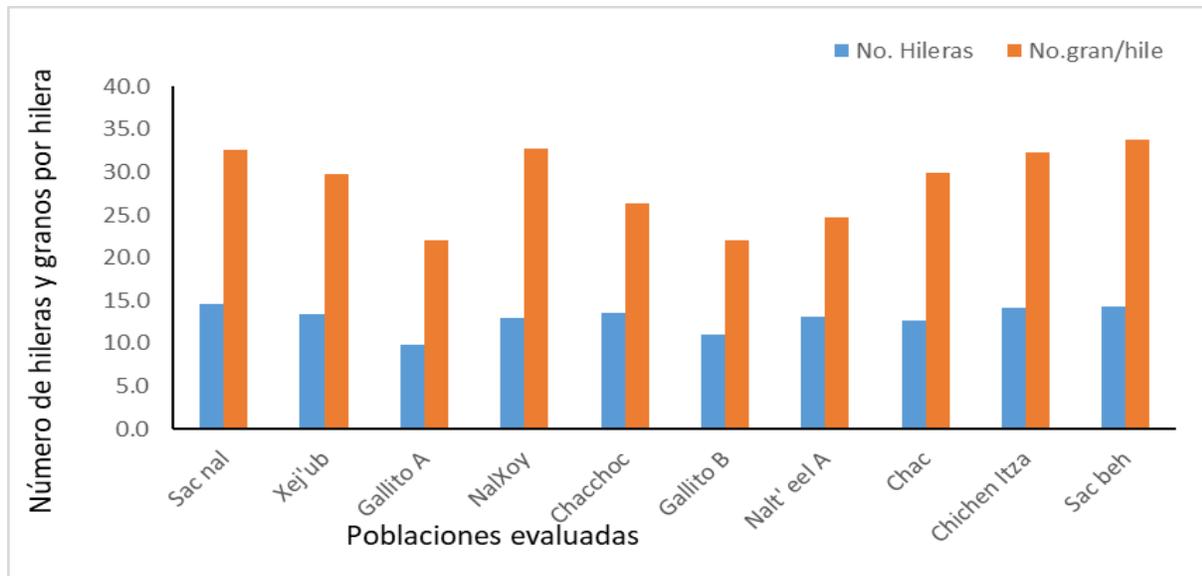


Figura 3. Número de hileras y cantidad de granos por hilera de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

En el Cuadro 4 se observa como todas las variables tienen correlaciones ($p \leq 0.01$ y 0.001) positivas. Es decir, a mayor longitud de mazorca mayor diámetro y número de hileras de la mazorca, granos por hilera y todas estas componentes con rendimiento de grano. Saldaña y Calero (1991) indican que la longitud de la mazorca está relacionada directamente con el diámetro de la misma y que resulta un buen indicador para medir el rendimiento, también influyen los factores ambientales y genéticos, ante condiciones adversas el tamaño disminuye y baja los rendimientos. En relación con la longitud de mazorca, Reyes (1990) afirma que este carácter es de gran importancia por ser un elemento correlativo con el rendimiento de grano. Estas correlaciones son bien influenciadas por el ciclo de cultivo de las poblaciones: precoz, intermedio y tardío, podrían considerarse indicativas aun dentro del ciclo de cultivo, ya que por ejemplo la población 'Sac beh' del grupo tardío, tuvo mazorcas de mayor longitud, diámetro, hileras y número de granos por hilera y la población 'Gallito blanco' la más precoz, los menores valores.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

	R	LM	DM	NH	NGH
R					
LM	0.703 ***				
DM	0.632 **	0.734 ***			
NH	0.646 **	0.706 ***	0.8 ***	1.000	
NGH	0.753 ***	0.848 ***	0.882 ***	0.76 ***	

R: Rendimiento; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: Número de hileras; NGH: Número de granos por hilera *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

En el manejo postcosecha de los granos, ‘la humedad’ es uno de los factores abióticos de mayor importancia en el almacenaje y que evita que los granos sean perforados por insectos. En la Figura 4, se observa que las poblaciones evaluadas en el presente trabajo presentaron humedades similares ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5), con una media de 12.6 % que van desde 11.9 %, en ‘Gallito Amarillo’, a 13.9 %, en ‘Chichen Itzá’. En este sentido y en cuanto a contenido de humedad en el grano, ninguno de los materiales evaluados estuvo en desventaja frente al ataque de los insectos; ya que según Martínez Curbelo *et al.* (2015), muy pocos insectos atacan los productos almacenados y causa deterioro al grano con menos del 12 % de humedad. Estos autores establecen que, entre el 10 y 14 % de humedad el maíz mantiene su integridad física.

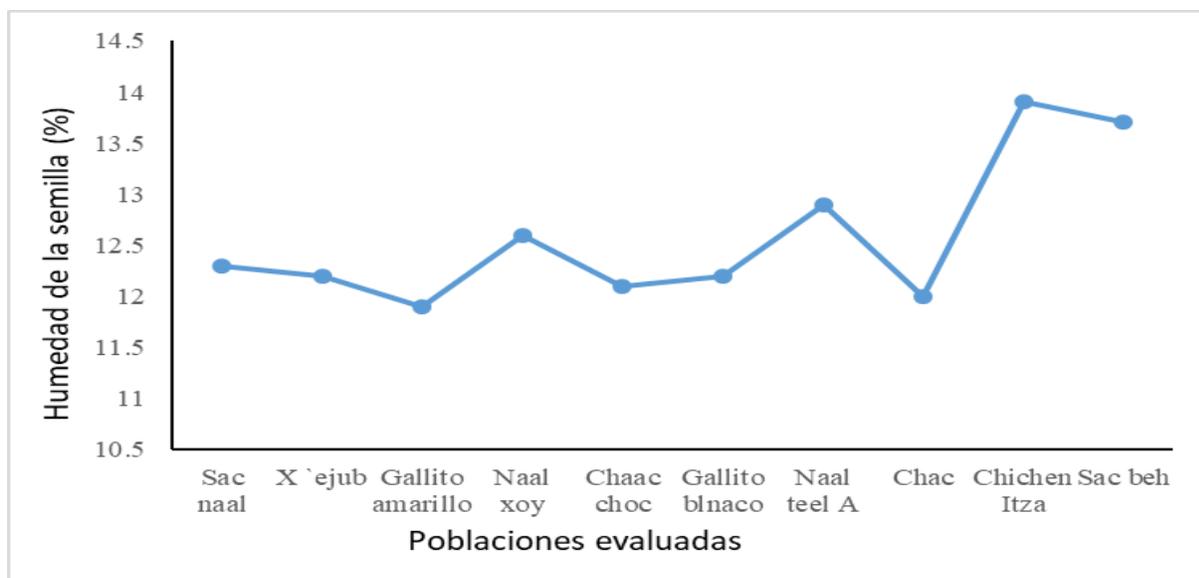


Figura 4. Porcentajes de humedad de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

El porcentaje de germinación del grano fue estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) para las 10 poblaciones (Cuadro 2); el promedio fue de 83.0 % con una amplitud de variación no significativa ($p \leq 0.05$, Tukey) de 79 a 89 % (Figura 5). Sumando que las poblaciones evaluadas registraron porcentajes con humedad bajo y similar, seguramente ayudó a que los porcentajes de germinación fueran altos pero uniformes, ya que según los resultados de Mancera *et al.* (2007) correlacionan positivamente el mayor porcentaje de germinación (80.3 %) con semilla más húmeda (23 %) de humedad, y de 69.4 % en las semillas con 10 % de humedad.

Para llevar a cabo bioensayos con semillas de maíz e insectos perforadores, siempre será importante conocer previamente el porcentaje de germinación de la semilla, debido a que, muchas veces el gorgojo del maíz al momento de perforar el grano y alimentarse de su interior, logra dañar parte del embrión, lo que repercute en la germinación del mismo. El promedio encontrado de 83.0 % de germinación y estadísticamente similar ($p \leq 0.05$), indica que además de que las poblaciones evaluadas tienen una germinación similar, el porcentaje obtenido se ubica en el extremo mínimo

requerido por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2014), para el cumplimiento de las medidas de bioseguridad; y según González Cortés *et al.* (2016), más del 80 % de germinación provee los porcentajes idóneos para la realización de bioensayos con pagas de almacén. En igual forma y de acuerdo con

Cuadro 5. Cuadrados medios del ANOVA de los porcentajes de humedad y germinación de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

FV	Gl	% Humedad	% Germinación
Poblaciones	9	0.0001	0.001
Error	27	0.004	0.003
†C.V (%)		0.530	2.700

FV: Factores de variación; Gl: Grados de libertad; †C.V (%): Coeficiente de variación.

Aristizábal y Álvarez (2006) que clasifican a las semillas para bioensayos como de alta, media y baja germinación con los porcentajes 88, 60 y menos de 60 %, respectivamente, podría concluirse que todas las poblaciones evaluadas pueden se clasificaron como de alta germinación.

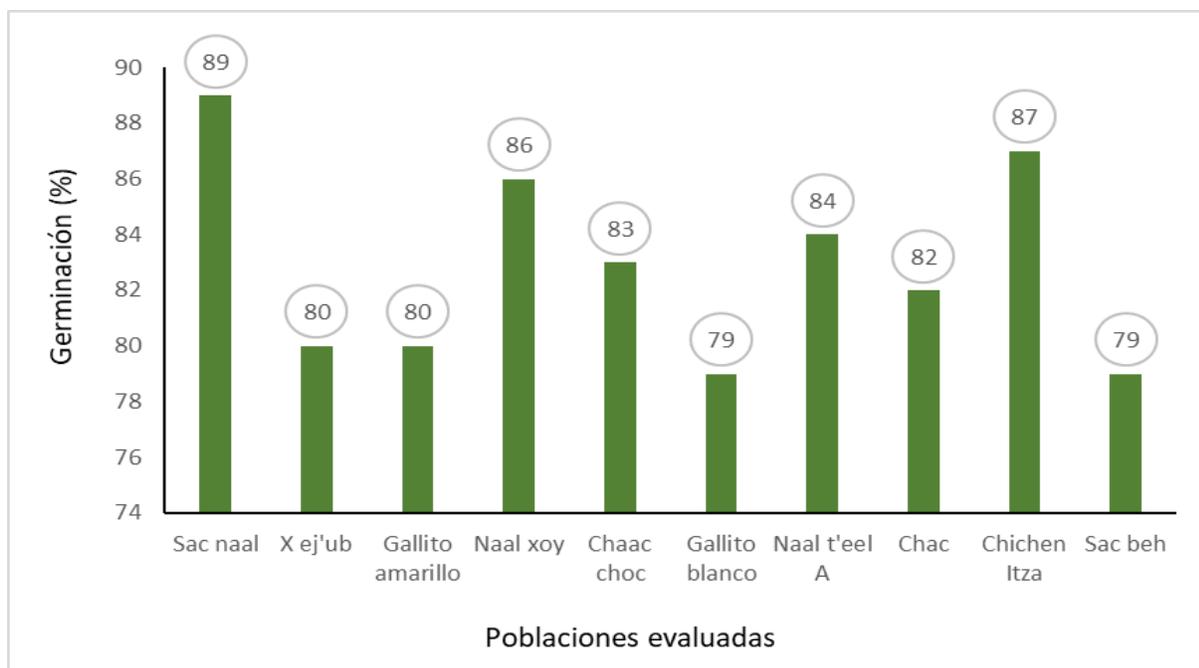


Figura 5. Promedios de porcentajes de germinación de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

Para la evaluación del bioensayo de susceptibilidad del grano, los resultados del análisis de varianza (Cuadro 6) indican que la fuente de variación poblaciones solamente fue significativa ($p \leq 0.05$) para el porcentaje de grano dañado (PGD) y el porcentaje de pérdida de peso (PPP). El porcentaje de gorgojos vivos (PGV) no presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre poblaciones, tal vez por la magnitud grande de la varianza del error para esta variable.

Cuadro 6. Cuadrados medios del ANOVA de las características de 10 poblaciones infestadas con gorgojos.

FV	Gl	PGD	PGV	PPP
Poblaciones	9	256.4***	405.3	33.4***
Error	81	39.4	260.58	5.86
†C.V (%)		21.4	24.1	44.4

FV: Fuente de variación; Gl: Grados de libertad; PGD: Porcentaje grano dañado; PGV: Porcentaje de gorgojo vivo; PPP: Porcentaje de pérdida de peso; *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente; †C.V: Coeficiente de variación.

La población ‘Chichen Itza’ de grano grande, ciclo tardío y perteneciente a la raza ‘Tuxpeño’ presentó el mayor porcentaje de grano dañado (35.5 %) mientras que ‘Gallito Amarillo’, precoz, de grano pequeño y de la Raza ‘Nal teel’ el menor (20.1 %) (Cuadro 7). Palafox-Caballero *et al.* (2008), Redondo y Suarez, (2008), García-Lara y Bergvison (2013) y Larraín (1994) señalan que el daño del grano por infestación del gorgojo varía de un 10 % al momento de la cosecha hasta un 30 a 50 % después de seis meses de almacenamiento, aumentando el nivel de daño si los granos contienen gran cantidad de reservar de alimento (almidón y proteína) (García-Zavala *et al.*, 2005).

Si bien la población ‘Chichen Itza’ es de ciclo largo y ‘Nal t`eel’ de ciclo corto (Cuadro 1) podría asociarse tales diferencias en el porcentaje de grano dañado al fenómeno de la evasión, esto es cuando los ciclos de vida de los insectos no coinciden con el ciclo biológico de las plantas, tal y como lo encontró Santorre (2014) quien en sus resultados reporta menos daño de grano por ataque del gorgojo en materiales ciclo corto y mayor daño en los de ciclo largo, atribuible a que los de ciclo corto estuvieron menos tiempo de exposición con el insecto. Sin embargo, en este estudio, el

fenómeno de evasión se descarta, ya que para las pruebas del presente estudio, los bioensayos fueron hechos con grano sano y limpio y bajo infestación controlada.

La ausencia de significancia ($p \leq 0.05$) entre poblaciones para el porcentaje de gorgojos vivos, indica que la mortalidad fue estadísticamente uniforme y en promedio de 31.3 %. Al ser este un experimento con un número exacto de insectos, probablemente no reaccionaron a una mayor reproducción, por estar sujetos a una alimentación controlada. Sin embargo y puntualizando los datos, se observa que la población “Gallito Amarillo” precoz y con menor porcentaje de grano dañado (20.1 %) tiene menor sobrevivencia de gorgojo (57.2 %) que la variedad “Chichen Itza” tardía y con un porcentaje mayor de gorgojos vivos (85.7 %); prácticamente con 28 gorgojos más. Esta diferencia aunque no estadística, podría deberse a la reserva de alimento; al respecto García-Zavala *et al.* (2005) encontraron mayor número de gorgojos vivos con materiales de mazorca grande.

Cuadro 7. Medias de las variables evaluadas en 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

Población	PGD	PGV	PPP
Sac nal	24.3 bc	70.0 a	55.4 a
X`ejub	25.1.bc	64.8 a	41.8 b
Gallito Amarillo	20.1 c	57.2a	45.8 b
Nal Xoy	26.0 bc	67.3 a	45.8 b
Chac choc	30.4 ab	69.8 a	40.8 b
Gallito Blanco	31.3 ab	68.2 a	55.4 a
Nal t`eel	32.6 ab	70.4 a	45.8 b
Chac	32.3 ab	65.3 a	40.8 b
Chichen Itza	35.5 a	85.7 a	45.8 b
Sac beh	35.4 a	68.2 a	55.4 a
DSH ($p \leq 0.05$)	9.1	24.7	8.4

PGD: Porcentaje grano dañado; PGV: Porcentaje de gorgojo vivo; PPP: Porcentaje de pérdida de peso; letras repetidas en columna sin diferencia, letras no repetidas en columna con diferencia significativa Tukey (0.05); DSH: Diferencia significativa honesta.

La población ‘Sac nal’ registró la menor ($p \leq 0.05$) pérdida de peso (2.9 %) y ‘Gallito Blanco’ la mayor (9.0 %) (Cuadro 7). Probablemente, la población ‘Gallito Blanco’ en su consistencia de grano tiene un alto contenido de harina, misma que fue reducida por el gorgojo en su perforación y alimentación, tal como lo observaron García-Zavala *et al.* (2005) y Maldonado y Martín (2010) quienes encontraron que variedades con mayor concentración de harina, tuvieron mayor pérdida de peso. Si bien hay pérdida de peso por la presencia del gorgojo en todas las variedades, dicha pérdida se ubica por debajo de la media nacional de 10 % (Cerna *et al.*, 2010). Este resultado podría plantear la hipótesis de que en esta región, hay una fuerte presión de selección hecha por los productores para disminuir la pérdida de peso de sus cosechas en el almacén, al menos en los primeros 15 días de almacenaje.

El análisis de correlación (Cuadro 8), indica que la variable porcentaje de grano dañado tuvo una correlación positiva ($p \leq 0.001$) con el porcentaje de pérdida de peso y también positiva ($p \leq 0.05$) con el porcentaje de gorgojo vivo. Así, la pérdida de peso se relacionó directamente con la cantidad de granos dañados. Si bien es este estudio el porcentaje de grano dañado fue cuantificado bajo una alta presión de gorgojos (uno por cada grano) y medido a los 15 días, otros autores como García-Lara y J. D. Bergvison (2007) encontraron pérdidas de peso por el grano dañado en zonas tropicales de 40 %.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de 10 poblaciones de maíz evaluadas en Yucatán para tolerancia al gorgojo.

POBLACIONES	PGD	PGV	PPP
PGD			
PGV	0.19*		
PPP	0.39***	0.01	

PGD: Porcentaje grano dañado; PGV: Porcentaje de gorgojo vivo; PPP: Porcentaje de pérdida de peso; *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

Al mezclar las poblaciones clasificadas por color y expuestas a poblaciones de gorgojos para medir preferencia por el color, se encontró al medir el porcentaje de granos dañados dentro de cada color amarillo, blanco, rojo y morado (Cuadro 9) un ataque diferente ($p \leq 0.05$), lo que indica que al menos uno de los grupos propuestos, se comportó de diferente manera a la infestación por el *Sitophilus zeamais* Motschulsky. En efecto, el Cuadro 10

Cuadro 9. Cuadrados medios del ANOVA de 10 poblaciones de maíz agrupadas por color de grano.

FV	Gl	PGDPC
Tratamientos	9	221.78***
Error	36	21.60
†C.V (%)		10.11

FV: Fuente de variación; Gl: Grados de libertad; PGDPC: Porcentaje del grano dañado por preferencia del color; *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

†C.V: Coeficiente de variación.

En efecto, en el Cuadro 10 se observa que el patrón de preferencia del gorgojo por el color de grano fue el blanco, seguido del amarillo, morado y rojo, siendo el grupo de maíces blancos 10 % mayor ($p \leq 0.05$) que el resto de colores. En este estudio, fueron las poblaciones ‘Sac beh’ (tardía) y ‘Gallito blanco’ (precoz) las pertenecen al grupo de maíces blancos.

Esta relación entre la preferencia del insecto por el color del grano con la mayor porcentaje de grano dañado y el mayor porcentaje de pérdida de peso, se le puede atribuir a lo que mencionan Maldonado y Martín (2010), en el sentido de que cuando la aleurona no presenta una gran cantidad de gránulos de proteínas, la capa se vuelve más delgada y no presenta color, entonces el endospermo es el encargado de la coloración de grano, y este puede ser blanco o amarillo. Al ser la aleurona la capa más externa del endospermo y si se vuelve más delgada, entonces el insecto llega más fácil al endospermo, sitio de alimentación del mismo.

Cuadro 10. Medias de la variable evaluada en 10 poblaciones de maíz agrupadas por color de grano

Color de grano	PGDPR
Amarillos	45.8 b
Blancos	55.4 a
Rojos	40.8 b
Morados	41.8b
DSH ($p \leq 0.05$)	8.4

PGDPC: Porcentaje de grano dañado por preferencia de color; letras no repetidas en columna con diferencia significativa Tukey (0.05); DSH, Diferencia significativa honesta.

Los resultados del análisis de varianza para variables que miden la estructura de la semilla y sus componentes se muestran en el Cuadro 11; para todas las variables medidas producto de disectar el grano y medir sus componentes hubo diferencias ($p \leq 0.01$) entre las variedades evaluadas. Al respecto, Zhang *et al.* (2011) y González-Cortés *et al.* (2016) indican que las diferencias en las variables estructurales y fisiológicas de los granos de maíz se deben a la variabilidad genética de los mismos, debido a las proporciones de endospermo harinoso y vítreo o corneo que presentan los diferentes tipos de grano.

Las estructuras evaluadas forman parte de las características físicas del grano que Betanzos (1980) menciona que es posible asociar a la preferencia alimenticia y reproductiva de los insectos.

Por otra parte, Arenas *et al.* (1994) señala que la tolerancia al ataque de insectos es atribuida a la dureza, tamaño y textura del grano, contenido de amilosa, presencia de sustancias antialimenticias y ácidos felúrico y cumárico, así como al espesor del pericarpio y al contenido de humedad.

Cuadro 11. Cuadrados medios del ANOVA de las estructuras de la semilla de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

FV	PS	PPED	PPER	PGER	PECR	PEHA
Poblaciones	0.869**	0.174**	0.175**	3.193**	30.033**	26.112**
Error	0.004	0.002	0.002	0.28	3.97	3.27
†C.V (%)	2.570	6.57	6.59	5.10	4.23	5.33

FV: Fuente de variación; PS: Peso del grano; PPED: Porcentaje del pedicelo; PPER: Porcentaje del pericarpio; PGER: Porcentaje del germen; PECR: Porcentaje del endospermo cristalino; PEHA: Porcentaje del endospermo harinoso; *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente. †C.V: Coeficiente de variación.

Para peso de la semillas (Cuadro 12), las poblaciones “Sac nal” y “Nal xoy” tuvieron el mayor peso ($p \leq 0.05$) y “Gallito Blanco y Amarillo” el menor; lo opuesto ($p \leq 0.05$) y para estas mismas poblaciones, ocurrió para el porcentaje de pedicelo, mismo que ayuda a la protección de germen. Siendo México el centro de origen del maíz, se espera una co-evolución entre el gorgojo y la dureza o grosor del pericarpio; estructura de la semilla que ayuda a crear una impermeabilidad contra los insectos. En este estudio, todas las poblaciones presentaron la misma ($p \leq 0.05$) dureza del pericarpio, mismo que representó el 5 % del componente de la semilla. Vázquez *et al.* (2003) señalan que con estos porcentajes, el pericarpio es grueso o abundante y en su estudio la raza ‘Nal t’eel’ presentó valores del 6.5 % de pericarpio. Esta raza se caracteriza por los siguientes componentes: endospermo corneo y harinoso 47 y 34.5 % respectivamente, pedicelo 1.5%, pericarpio 6.5 %, germen 10.5. Por su parte, Vázquez *et al.* (2010), mencionan que las diferencias estructurales de mayor importancia en la semilla son: tamaño, forma y contenido de endospermo

corneo y harinoso, este último constituye alrededor del 80 % de la semilla, seguido del germen con el 12 %, pericarpio con 5 %, y pedicelo con 1 %, información que coincide con lo aquí obtenido.

Cuadro 12. Medias de las variables de las estructuras de la semilla de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

POBLACIÓN	PS	PPED	PPER	PGER	PECR	PEHA
Sac nal	3.20 a	0.53 ef	5.68 bc	9.7 bcd	46.95 abc	36.05 abc
X`ejub	2.35 de	0.40 f	5.30 bc	8.05 d	44.80 bc	40.35 a
Gallito amarillo	1.6 f	1.29 a	5.16 bc	10.65 abc	48.50 abc	32.05 bc
Nal Xoy	3.25 a	0.99 b	5.40 bc	10.90 abc	51.30 ab	29.75 c
Chac choc	2.15 e	0.80 cb	8.20 ab	9.25 cd	49.45 ab	30.65 c
Gallito blanco	1.2 g	1.20 a	6.56 abc	9.92 abcd	41.20 c	38.80 ab
Nal t`eel A	2.7cb	0.76 cd	6.20 bc	8.95 cd	53.05 a	30.85 c
Chac	2.65 cb	0.58 def	6.15 bc	11.60 ab	47.90 abc	32.60 bc
Chichen Itza	2.60 cd	0.58 def	6.20 bc	11.90 a	46.20 abc	33.80 abc
Sac beh	2.90 b	0.66 cde	8.95 ab	11.40 ab	41.35 c	36.25 abc
DSH ($p \leq 0.05$)	0.25	0.20	2.11	2.06	7.88	7.81

PS: Peso del grano; PPED: Porcentaje del pedicelo; PPER: Porcentaje del pericarpio; PGER: Porcentaje del germen; PECR: Porcentaje del endospermo cristalino; PEHA: Porcentaje del endospermo harinoso; letras no repetidas en columna con diferencia significativa Tukey (0.05); DSH: Diferencia significativa honesta.

La proporción relativa de endospermo córneo y harinoso en un grano de maíz está asociada a la textura del endospermo, la cual influye sobre el potencial de almacenamiento del grano (Kirleis *et al.*, 1984). Aquí, ‘Gallito blanco’ fue la población que presentó el mayor porcentaje pedida de peso

(Cuadro 7) y menor peso de grano (Cuadro 12) y a su vez, junto con la población 'X e'jub', los más altos porcentajes de endospermo harinoso 38.8 y 40.3 %, respectivamente (Cuadro 12). Con estos porcentajes, es posible asociar la pérdida de peso con el endospermo harinoso; ya que es consensuado en la literatura la preferencia del gorgojo por los materiales harinosos (García-Zavala *et al* 2005).

En el Cuadro 13 se observa una correlación negativa entre el porcentaje de pedicelo (PPED) y el porcentaje de pericarpio (PPER) con el peso del grano (PS), por lo que a mayor peso existente menor será el porcentaje de pedicelo y pericarpio; por otra parte, también se observa que la variable porcentaje de pericarpio tuvo una alta correlación con el porcentaje de pedicelo.

En el mismo Cuadro también se observa que el porcentaje de endospermo cristalino (PECR) se relaciona directamente con el porcentaje de endospermo harinoso (PEHA), esto se debe a que en conjunto ambos tipos conforman al endospermo de una semilla.

Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Spearman entre las variables de composición del grano de 10 poblaciones de maíz del estado de Yucatán.

	PES	PPED	PPER	PGER	PECR	PEHA
PES						
PPED	-0.617 **					
PPER	-0.617 **	1.000 ***				
PGER	0.182	0.113	0.113			
PECR	0.309	0.082	0.082	-0.213		
PEHA	-0.25	-0.295	-0.295	-0.208	-0.842 ***	

PES: Peso del grano; PPED: Porcentaje del pedicelo; PPER: Porcentaje del pericarpio; PGER: Porcentaje del germen; PECR: Porcentaje del endospermo cristalino; PEHA: Porcentaje del endospermo harinoso; *, **, *** Significativo con $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.001$, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

Si bien el ciclo biológico de los maíces nativos de Yucatán incide en las diferencias de componentes del rendimiento de mazorca y de grano, tales componentes no impactan directamente en la resistencia al gorgojo *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Con promedios similares en todas las poblaciones de maíz nativo evaluadas en humedad y germinación en el grano de 12.6 y 83.0 % respectivamente, todos presentaron una pérdida de peso de grano promedio de 5.35 % (2.9 a 9.0 %) a los 15 días de infestación; dicha pérdida de peso fue mucho menor a la media nacional de 10 %. La Raza Nal t`eel registró bajo porcentaje de grano dañado (PGD) y también uno de los menores porcentajes de pérdida de peso; por el contrario las poblaciones de Tuxpeño presentaron los porcentajes más altos de grano dañado y pérdida de peso de grano, atribuible a las mayores reservas de la semilla y mayor tamaño de grano. En cuanto a colores, el patrón de preferencia del gorgojo fue mayor por los granos blancos, seguido de los amarillos, morados y rojo. La proporción de pericarpio en la semilla fue alto en todas las poblaciones evaluadas y en su mayoría con endospermo cristalino; el mayor ataque del gorgojo fue en poblaciones con endospermo harinoso.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abebe F., T. Tefera, S. Mugo, Y. Beyene y S. Vidal (2009)** Resistance of maize varieties to the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.)(Coleoptera: Curculionidae). *African Journal of Biotechnology*. 8(21):5937-5943.
- Agrios G. (2005)** Fitopatología. 5th edition. Elsevier Academic Press, Nueva York. 922.
- Aguilar G., H. Torres., J. Medina., R. Nava (2010)** Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres de México. Guía práctica para la descripción preliminar de Colectas de México.
- Ahmed B. I., y A. U. Yusuf (2007)** Host-plant resistance: A viable non-chemical and environmentally friendly strategy of controlling stored products pests- a review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 19: 1-12.
- Antonio M. M., J. L. Arellano V, G. García de los S, S. Miranda C, J. A. Mejía C y F. V. González C (2004)** Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia. Mexicana*. 27(1):9-15.
- Arenas L.C., M. Y. Salinas, L. L. Ballesteros y H. A. López (1994)** Alternativas al uso de insecticidas. In: Perales, M; Fregoso, L. eds. Desarrollo sostenible de los agroecosistemas en el sur de Sinaloa. Ed. Multigraf S.A. de C.V., México. p. 217-226.
- Aristizábal L. M. y L. P. Álvarez (2006)** Los efectos del nivel de vigor de la semilla pueden persistir e influenciar el crecimiento de la planta, la uniformidad de la plantación y la productividad. *Agronomía*. 14(1):17-24.
- Bejarano A., V. Segovia y C. Marín (2000)** Evaluación de cruzamientos simples de maíz provenientes de líneas con tres niveles diferentes de endocria. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Venezuela).

- Betanzos E. (1980)** Selección y mejoramiento de variedades de maíz con alta calidad proteica por resistencia a insectos de granos almacenados. In: Moreno, E; Ramírez, M. eds. Memorias del Coloquio Internacional sobre conservación de semillas y granos almacenados. Instituto de Biología, UNAM. México, D. F. p. 366-387.
- Bustamante R. y L. Patiño (2001)** En búsqueda de un sistema de resistencia estable en plantas cultivadas. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica). 60:3-14.
- Camacho-Villa T. C. y J. L. Chávez-Servia (2004)** Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. In: Chávez-Servia, J. L., J. Tuxill, y D.I. Jarvis (eds). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.
- Carballo C.A. y Benítez V. A (2010)** Manual gráfico para la descripción varietal de maíz (*zea mays* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, s.f. Editor: México. C/633.15/M3. 21098. 69 p.
- Cerna C. E., A. L. Guevara, F. J. Landeros, F. Y. Ochoa, Z. M. H. Badii y P. V. Olalde (2010)** Evaluación de aceites y extractos vegetales para el control de *Sitophilus zeamais* y su efecto en la calidad de semilla de maíz. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina. 42(1):135-145.
- Contreras Z. J. (1994)** Influencia de rotación de cultivo y control de malezas; el crecimiento, rendimiento y comportamiento del rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Universidad Nacional Agraria (UNA). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Managua, Nicaragua. 49 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (1998)** "Finding resistance to maize storage pests" <http://1928.93.203/about/AR97Finding.htm>.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2010)

Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones, de la CONABIO. México, D.F.

[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas marzo% 202010.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas%20marzo%202010.pdf)

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2011)

Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Octubre de 2010. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.

<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.htm>.

Cuevas S. M. I., M. J. C. García y N. C. A. Romero (2006) Productos naturales para el control de la principal plaga de maíz, frijol y garbanzo almacenados. *Boletín Asociación Española Entomología*. 30:83-92.

Danho M., E. Haubruge (2003) Comportement de ponteet stratégie reproductive de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Phytoprotection* 84:59-67.

Derera J., K. V. Pixley P. D. y Giga (2001) Resistance of maize to the maize weevil: I. Antibiosis. *African Crop Science Journal*. 9(2):431-440.

Dobie P. (1974) Laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize lines to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motschulsky. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Stored Products Research* 10: 183-197.

Duch G. J. (1991) Fisiografía del Estado de Yucatán. Su Relación con la Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. CIR. Texcoco, México. 228 p.

- Epidi T. T., O. I. Udo and A. J. Osakwe (2009)** Susceptibility of *Sitophilus zeamais* Mots. And *Callosobruchus maculatus* F. to plant parts of *Ricnodendron heudelotii*. *Journal of Plant Protection Research*. 49:411-419.
- FAO. (1993)** El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición 25.
- FAOSTAT. (2013)** Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), Statistics Division, Roma. En:<http://faostat.fao.org/>(Accesado el día 14 de mayo de 2013).
- Fenalce. (2010)** El cultivo del maíz, historia e importancia. *Revista finagro*, 10, Bogotá; Colombia.
- Ford, R. H. (2000)** Inheritance of kernel color in corn: explanations y investigations. *The American Biology Teacher*, pp 181-188.
- Figuroa Cárdenas J. D. D., D. E. Narváez González, A. Mauricio Sánchez, S. Taba, M. Gaytán Martínez, V. Medina y F. Aragón Cuevas (2013)** Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36:305-314.
- García-Lara S., J. A. Burt, A. J. Serratos, P. D. Díaz, J. T. Arnason y D. Bergvinson (2003)** Defensas naturales en el grano de maíz, al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch, Coleoptera: Curculionidae) Mecanismos y bases de la resistencia. *Revista de Educación Bioquímica*. 22:138-145.
- García R. I. (1992)** Susceptibilidad de *Sitophilus zeamais* Mutsch (Coleoptera: Curculionidae) a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos de 3 áreas de Veracruz (Doctoral dissertation, Tesis Licenciatura. Instituto de Ciencias y Cultura AC Saltillo, Coahuila, México. 80 p.
- García-Lara y J. D. Bergvison (2007)** Programa integral para reducir pérdidas postcosecha en maíz. *Agricultura Técnica en México*. 33:181-189.

- García-Lara y J. D. Bergvison (2013)** Identificación de variedades nativas de maíz con alta resistencia a las plagas de almacén *Sitophilus zeamais* Motschulsky y *Prostephanus truncatus* Horn, en Latinoamérica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3):347-356.
- García-Zavala E., J. D. Molina-Galán y J. J. García-Zavala (2005)** Dinámica poblacional y preferencia de gorgojos y palomillas en maíz almacenado con baja humedad del grano. *Folia Entomológica Mexicana*.44 (2): 145-154.
- Gaytán-Martínez M., J. de D. Figueroa, M de la L. Reyes, E. Morales y F. Rincón-Sánchez (2013)** Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3): 339-346.
- González-Cortés N., H. Silos-Espino, J.C. Estrada-Cabral, J. A. Chávez-Muñoz y L. Tejero Jiménez (2016)** Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(3):669-680.
- González A. U. (1995)** El maíz y su conservación. México, DF. Editorial Trillas.399 p.
- Gil G. M. (2012)** Manejo Postcosecha. El Cultivo de Maíz Temas Selectos. Rodríguez. M.R y De León (coordinadores) editorial Colegio de Postgraduados y Mundiprensa México S.A. de C. V. México.133 p.
- Granados G., R. Paliwal (2001)** Mejoramiento para resistencia a los insectos (En línea). Dirección: [https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el maiz en los tropicos.pdf](https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el_maiz_en_los_tropicos.pdf).
- Hagstrum D. y P. Flinn (1992)** Integrated pest Management of Stored-Grain insects. In Sauer DB. ed. Storage of cereal grains and their products. St. Paul, Minnesota. *American Association of Cereal Chemists, INC.* p. 535-562.
- Hallauer A. R. (1994)** Specialty Corns. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.

- Hernández X. E. (1985)** Maize and man in the greater southwest. *Economic Botany*. 39(4): 416-430.
- Iannacone J., H. Ayala y A. Román (2005)** Efectos toxicológicos de cuatro plantas sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1855 (coleoptera: curculionidae) y sobre el gorgojo de las galletas *Stegobium paniceum* (linnaeus 1761) (coleoptera: anobiidae) en Perú. *Gayana*. 69:234-2040.
- Kirleis A. W., K. D. Crosby y T. L. Housley (1984)** A method for quantitatively measuring vitreous endosperm area in sectioned sorghum grain. *Cereal Chemistry* 61(6): 556-558.
- Lale N. E. S. y M. O. Kartay (2006)** Role of physical characteristics of the seed in the resistance of local cultivars of maize to *Sitophilus zeamais* infestation in storage. *Tropical Science*, 46(1):1-3.
- Lagunas T. A. y R. R. Domínguez (1985)** Plagas del maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 100 p.
- Larraín P. (1994)** Manejo integrado de plagas en granos almacenados. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina*. 81: 10-16.
- Lozada M.A. (2005)** Selección de maíces criollos del sureste del estado de Hidalgo con la mejor calidad nixtamalera para la industria de la tortilla. Tesis de Licenciatura. UAEH, Tulancingo, Hidalgo. 79 p.
- Maldonado R. y J. Martín-Nieto (2010)** Análisis de segregación de fenotipos en el maíz. *Genética. Práctica de Biología* p.2

- Makate N. (2010)** The susceptibility of different maize varieties to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* (MOTSCH) (Coleoptera: Cuculionidae). *Scientific Research and Essay*. 5(1):030-034.
- Mancera R. A., G. García, A. Carballo, C. A. Villaseñor Á, G. Martínez y V. Estrada (2007)** Calidad fisiológica y daño físico en semilla de maíz sometida a impacto. *Agricultura Técnica en México*. 33(2): 125-133
- Matute D. y R. Trabanino (1999)** Manejo integrado de plagas invertebradas en Honduras. Sección 1. Reconocimiento y manejo de las principales Plagas. Zamora academia press. Honduras.
- Morah S. C., G. N. Mbata (1986)** An assessment of relative susceptibility of some maize varieties to post harvest infestation by the maize weevil *Sitophilus zeamais* (Motsch.). *Republic Nigerian Stored Product Research Institute 1982 Technical Report 5*: 63-68.
- Martínez-Curbelo G., M. Feitó- Cespón, D. Covas-Varela y A. Barrera García (2015)** Control de la temperatura para la prevención de plagas postcosecha en la conservación de granos. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 33(2):216-237.
- Moss C. J. y P. F. Credland (1994)** The measurement of resistance to *Acan-thoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) in seeds of *Phaseolus vulgaris* L. Pro. 6 th International Working Con. on Stored-product Protection. 1:545-552.
- Mbata G.N. (1990)** Suitability of maize varieties for the oviposition and development of *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Tropical Pest Management* 36:122-127.
- Palafox-Caballero A., M. Sierra-Macías, A. Espinosa-Calderón, F. Rodríguez-Montalvo y Becerra- León (2008)** Tolerancia a infestación por gorgojos (*Sitophilus spp.*) en genotipos de maíz comunes y de alta calidad proteínica. *Agronomía Mesoamericana* 19: 39-46.

- Paliwal R. L. (2001)** Origen, evolución y difusión del maíz. In: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A. D. y Marathée, J. P. (Eds.). El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp.5-9.
- Pérez M. J. (1998)** Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones del picudo de maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) de varias localidades de México. Tesis de Maestría. Chapingo, México. Colegio de Postgraduados. 142 p.
- Pérez de la C.F.J., A. Carballo, A. Santacruz, A Hernández y J. C. Molina (2007)** Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica en México*. 33(1):53-61.
- Polanco-Jaime A. y T. Flores-Méndez (2008)** Bases para una política de I y D e innovación de la cadena de valor del maíz, Foro Consultivo y Científico, A. C., México.
- Ramírez G.M. (1978)** Almacenamiento y conservación de granos y semillas CECSA México. D. F. 300 p.
- Ramírez M. M. (1990)** Biología y Hábitos de insectos de granos almacenados. Curso sobre insectos de granos y semillas de almacén. Aguascalientes, Ags. México. Pp. 1-51.
- Redondo C. Y. y G. H. Suárez (2008)** Resistencia de cinco genotipos de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (coleoptera: curculionidae) a nivel de laboratorio. *Revista Re'takvn* 1(1):10-17.
- Reyes C. P. (1990)** El Maíz y su Cultivo. 3ª edición. AGT Editor. México, D. F. 460 p.
- Rico A. M., G.G. de los Santos, H. Z. Mancera, A. C Carballo, J. C. Salazár, E. G. Estrada, y C. V. Perea (2016)** Resistencia a ruptura y calidad fisiológica en semillas de maíz bajo compresión axial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(1):45-57.

- Salas J. (1984)** Protección de semillas de Maíz contra el ataque de *Sitophilus orizae* a través de uso de aceites vegetales. *Agronomía Tropical* 35 (4-6): 13-18. Venezuela.
- Salinas-Moreno Y., F. Aragón-Cuevas, C. Ybarra Moncada, J. Aguilar Villarreal, B. Altunar López y E. Sosa Montes (2013)** Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(1):23-31.
- Salinas-Moreno Y., y L. Aguilar-Modesto (2010)** Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola. Biosistemas*, 2(1):5-11.
- Saldaña F. y M. Calero (1991)** Efecto de la rotación de cultivos y control de malezas sobre la cenosis de las malezas en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria (UNA). Managua, Nicaragua. 63 p.
- Satorre E. H. (2014)** Manejo de Insectos en Maíz: Oportunidades y desafíos de la biotecnología Temas de Ciencia y Tecnología. Ensayos para el manejo de *Diatraea saccharalis* (barrenador del tallo) y *Spodoptera frugiperda* (isoca del cogollo). Argentina. Pioneer
- Santos V.C. A., C. C. Fernández, M. L Lopes y H. A. Sousa (2015)** Use of plants oils from southwestern Amazon for the control maize weevil. *Journal of Stored Products Research*. 63:67-70.
- Sedlacek J. D., R. J. Barney and M. Siddiqui (1991)** Effect of several Management tactics on Adult Mortality and Progeny Production of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on Stored corn in the Laboratory. *Journal. Economic. Entomology*. 84(3): 1041-1046. USA.

- Serna-Saldívar S.O., M. H. Gómez, y L.W. Rooney (1994)** Food uses of regular and specialty corns and their dry milled fractions. In A.R. Hallauer, ed. Specialty Corns, p. 263-298. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014)** Medidas de Bioseguridad a cumplir para La Certificación de Semillas GM. Folleto informativo, SAGARPA <https://www.conacyt.gob.mx/.3-2>.
- SIAP. (2017)** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/> Consultado en noviembre de 2018.
- Silva G., A. Lagunes y J Rodríguez (2003)** Control de *Sitophilus zeamais* (coleoptera: curculionidae) con polvos vegetales solos y en mezcla con carbonato de calcio en maíz almacenado. Ciencia e Investigación Agraria. 30:153-160.
- Silva G. A., A. T. Lagunes, J. C. Rodríguez y D. L. Rodríguez (2003)** Escala para estimar el daño de insectos en el maíz almacenado. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 68:46-52.
- Silva G. A., T. A. Lagunes, M. C. J. Rodríguez, L. D. Rodríguez (2002)** Insecticidas vegetales: una vieja y nueva alternativa para el manejo de plagas. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 66:4-12.
- Vázquez C.M.G., L. Guzmán., J. L. Andrés, F. Márquez, J. Castillo (2003)** Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26(4):231-238.
- Vázquez C. M. G., J.P. Pérez, J. M. Hernández, M. L. Marrufo y E. Martínez (2010)** Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y Valle del Mezquital, México. *Revista Fitotecnia. Mexicana*. 33(4):49-56.
- Vallejo F. y E. Estrada (2002)** Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. DIPAL. Palmira, Colombia. 404 p.

- Velásquez S. R. y D. Diamont (2014)** Micromorfología de la epidermis foliar de cultivares de arroz Venezolano (Poaceae) asociado con el daño mecánico de *sogata* *Tagosodes orizicolus* (Homoptera: Delphacidae). *Revista Biología Tropical* 62: 819-827.
- Vowotor K. A., N.A. Bosque-Perez y J. N. Ayertey (1995)** Effect of maize variety and storage form on the development of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Stored Products Research*. 31(1):29-36.
- Vivek B., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie, y A.O. Diallo (2008)** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM.
- Zhang H., R. Goa, and S. Dong (2011)** Anatomical and physiological characteristics associated with corn endosperm texture. *Agronomy Journal* 103(4):1258-1264.

APÉNDICE

Cuadro 1.A. Escala para estimar el daño de insectos en el maíz almacenado

Nivel y Escala	Características	Grado de aceptabilidad
Nivel 0 (Grano completamente sano)	<ul style="list-style-type: none"> • No se observa granos dañados por insectos. • No se observa insectos adultos vivos en la muestra. • Los granos no presentan perforaciones. • El grano soporta la presión de dos dedos sin sufrir cambios. • No se observa harina en los lugares de almacenamiento. 	Excelente, para consumo humano, animal y para semilla.
Nivel 1 (Grano ligeramente dañado)	<ul style="list-style-type: none"> • Menos del 5% de granos dañados por insectos. • Menos de 2 insectos adultos vivos por kg de grano. • Menos del 5% de los granos de la muestra presenta el 5 % de perforaciones del volumen del grano. • El grano puede soportar la presión de dos dedos. • No se observa harina en los lugares de almacenamiento. 	Aceptable para consumo humano, animal y como semilla.
Nivel 2 (Grano medianamente dañado)	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa entre un 5-10 % de granos dañados por insectos. • Se encuentran más de 2 insectos adultos vivos por kg de grano. • Más del 5 % pero menos de un 10% de los granos de la muestra presenta perforaciones menores al 20 % del volumen del grano. • El grano soporta la presión de los dedos sin sufrir daños • Se observa harina menor al 10 % en el lugar recipiente o lugar de almacenamiento. 	Inaceptable para el consumo humano. Apto para el consumo animal y como semilla.

Continúa en la página siguiente »

<p>Nivel 3 (Grano muy dañado)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa a simple vista entre un 11 y un 50 % de granos dañados por insectos. • Se encuentran más de 2 insectos adultos vivos por kg de grano. • Más de un 10 % pero menos de un 50 de los granos presentan perforaciones de hasta un 50 % del volumen del grano. • Los granos no soportan la presión de los dedos sin sufrir daños. • Se observa harina en un volumen entre un 10 y un 20 % en el lugar de almacenamiento. 	<p>Inaceptable para el consumo humano. Apto para el consumo animal. Inaceptable como semilla.</p>
<p>Nivel 4 (Grano completamente dañado)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se observa a simple vista más de un 50 % de los granos dañados por insectos. • Se encuentran más de 2 insectos plaga adultos vivos por kg. de grano. • Más del 50 % de los granos presenta perforaciones mayores al 50 % del volumen del grano. • Los granos quedan destruidos al presionarlos con los dedos. • El volumen de harina supera el 20 % del recipiente de almacenaje. 	<p>Inaceptable para el consumo humano. Apto para el consumo animal. Inaceptable como semilla.</p>

Cuadro 2.A. Diez poblaciones de maíz del estado de Yucatán agrupadas por colore del grano

Nombre común	Color de grano visual en la colecta.	Color por manual grafico para la descripción varietal de maíz.	Color por las Cartas (RHS)
Sac nal	Blanco	Blanco cremoso	Medio amarillo con blanco (grupo amarillo-blanco carta 158 D)
Sac beh	Blanco	Blanco cremoso	Medio amarillo con blanco (grupo amarillo-blanco carta 158 D)
Gallito blanco	Blanco	Blanco cremoso	Medio amarillo con blanco (grupo amarillo-blanco carta 158 D)
Gallito amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo anaranjado fuerte (grupo naranja-amarillo carta 17 A)
Nal xoy	Amarillo	Amarillo	Amarillo anaranjado fuerte (grupo naranja-amarillo carta 17 A)
Nal t'eel amarillo.	Amarillo	Amarillo	Amarillo anaranjado fuerte (grupo naranja-amarillo carta 17 A)
Chicen Itza	Amarillo	Amarillo	Amarillo anaranjado fuerte (grupo naranja-amarillo carta 17 A)
Chac choc	Rojo	Rojo	Rojo obscuro (grupo morado gris carta 185 A)
Chac	Rojo	Rojo	Rojo obscuro (grupo morado gris carta 185 A)
X ej'ub	Morado	Azul obscuro	Morado grisáceo (grupo morado carta 77 A)