



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Almacenamiento hermético de maíz infestado con
el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

MARÍA NAIDÉ GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Asesor
Dr. Ernesto Moreno Martínez



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis**:

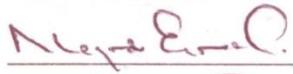
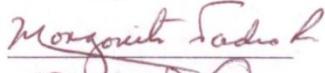
Almacenamiento hermético de maíz infestado con el insecto Sitophilus zeamais Motschulsky.

Que presenta la pasante: **MARÍA NAIDÉ GONZÁLEZ GONZÁLEZ**
Con número de cuenta: **41007932-6** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de febrero de 2016.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dr. Ernesto Moreno Martínez	
VOCAL	Dr. Alejandro Espinosa Calderón	
SECRETARIO	Dra. Margarita Tadeo Robledo	
1er SUPLENTE	Ing. Arturo Leodegario Ortíz Cornejo	
2do SUPLENTE	Ing. Ángel Cipriano López Cortés	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, mi casa de estudios.

Al Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) y a la Unidad de Granos y Semillas UNIGRAS, donde se realizó toda la parte práctica de este trabajo.

Al Dr. Ernesto Moreno Martínez, por su asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

Al Profesor Vicente Silva Carrillo, por ayudarme a aterrizar mis ideas.

A mis sinodales, por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Sergio Jiménez, por su apoyo en el laboratorio de entomología.

Al Sr. Gustavo por su colaboración en el laboratorio y toda la parte práctica de la investigación.

A Laura, por su disposición y apoyo en todo el proceso de elaboración de Tesis.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	7
RESUMEN.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. OBJETIVOS.....	11
1.1.1. Objetivo general.....	11
1.1.2. Objetivos particulares.....	11
1.2. HIPÓTESIS.....	11
II. REVISION LITERARIA.....	12
2.1. Generalidades.....	12
2.1.1. Origen del maíz.....	12
2.1.2. Descripción del maíz.....	13
2.2. El cultivo del maíz en México.....	13
2.2.1. Importancia económica	14
2.2.2. Pérdidas post-cosecha de grano de maíz	15
2.3. Principales plagas de insectos del maíz en almacén.....	15
2.3.1 El insecto <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, (taxonomía, origen y distribución, descripción morfológica y biología).....	17
2.4. Estructura y Composición química del grano de maíz	21
2.4.1. Factores que afectan la calidad física del grano.....	23
2.4.1.1. Internos (respiración).....	23
2.4.1.2. Externos (temperatura, humedad).....	24
2.5. Almacenamiento hermético de granos.....	24
2.5.1.Principio.....	25
2.5.2. Historia.....	25
2.5.3. Almacenamiento hermético en la actualidad.....	26
2.5.4. Principales limitantes del almacenamiento hermético.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. Localización de la investigación	28
3.2. Metodología.....	28

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	28
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. BIBLIOGRAFIA	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales estados productores de maíz en México 2013.....	14
Tabla 2. Principales plagas que afectan a los granos de almacén en México.....	17
Tabla 3. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.....	23
Tabla 4. Porcentaje de oxígeno en unidades experimentales en cuatro contenidos de humedad durante 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento.....	38
Tabla 5. Porcentaje de CO ₂ en unidades experimentales a cuatro contenidos de humedad en 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento.....	39
Tabla 6. Comparación de medianas del porcentaje de grano dañado.....	41
Tabla 7. Porcentaje de emergencias de acuerdo al periodo de almacenamiento en días.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Adulto <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky.	18
Figura 2. Grano sano de maíz.	19
Figura 3. Grano dañado por insecto <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky.	20
Figura 4. Comparación de las superficies del edeago por especie.	21
Figura 5. Estructura del grano de maíz.	22
Figura 6. Silo hermético de lámina galvanizada.	26
Figura 7. Vista microscópica de edeago perteneciente a <i>Sitophilus zeamais</i> .	29
Figura 8. Homogeneizador Divisor Boerner.	30
Figura 9. Ajuste de maíz a humedades de 9% y 11% por medio de estufa Red Line.	31
Figura 10. Frascos y tapa para almacenamiento hermético.	32
Figura 11. Tapado hermético de unidades experimentales	33
Figura 12. Unidades experimentales cerradas herméticamente etiquetadas por periodo de almacenamiento y porcentaje de humedad	33
Figura 13. Analizador Illinois 6600	34
Figura 14. Cajas de aluminio colocadas en desecador	35
Figura 15. Muestras listas para someterse a secado en estufa.	35
Figura 16. Tapas de almacenamiento abierto (izquierda); zarandas manuales (derecha).	36

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de oxígeno presente en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento.....	39
Gráfica 2. Porcentaje de bióxido de carbono presente en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días).....	40
Grafica 3. Porcentaje de grano dañado en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días) a una temperatura constante de 25°.....	42
Gráfica 4. Porcentaje de emergencias por unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días).....	44

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto del almacenamiento hermético con respecto al almacenamiento abierto en maíz blanco infestado con el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky, a humedades de 9%, 11%, 13% y 14% en periodos de 3, 6, 9, 12 y 15 días. Dicho objetivo se cumplió.

Se realizaron pruebas y ajustes de humedad al maíz previas al almacenamiento. Se tomó el porcentaje de oxígeno y de dióxido de carbono en cada unidad experimental y se cuantificó el número de insectos vivos y muertos de acuerdo al porcentaje de humedad y al periodo de almacenamiento.

Después de la ruptura del hermetismo, las unidades experimentales fueron almacenadas por un periodo de 30 días en una cámara de cría a 25°C con 75% de humedad relativa. Transcurrido este periodo, se cuantificó a diario, durante 30 días más, el número de insectos que emergieron en cada una.

Los datos obtenidos fueron sometidos a una prueba de Kruskal- Wallis, realizada en el programa InfoStat.

**Almacenamiento hermético de maíz infestado con el insecto
Sitophilus zeamais Motschulsky.**

I. INTRODUCCIÓN

México es considerado como centro de origen y biodiversidad del maíz, además de ser parte de la dieta básica de la población, por lo que es el principal cultivo en el país (García - Lara y Bergvinson, 2007). Aunque el mayor valor de producción se concentra en 7 estados (Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz), todas las entidades del país aportan cierto porcentaje a la producción de este cultivo (Financiera Rural, 2014).

Las pérdidas post-cosecha por plagas en maíz generan un grave problema en países en desarrollo, principalmente para los agricultores de escasos recursos (García - Lara y Bergvinson, 2007). En México se pierde aproximadamente entre 5% y 25% de grano cosechado (Guzmán y Carballo, 2009). Entre los agricultores de bajos recursos, las pérdidas globales post-cosecha oscilan entre el 10% y 40% (Markham *et al.*, 1994).

La conservación de granos siempre será de gran interés para el hombre debido a la importancia de estos productos en la dieta humana y a la necesidad de su almacenamiento para su posterior aprovechamiento (Genel, 1984). Para evitar o prevenir pérdidas, generalmente se realizan aplicaciones de productos químicos; éstas implican un alto costo además de ciertos conocimientos para poder ser seguras y funcionales.

Diversos factores obligan al agricultor a buscar alternativas para el almacenamiento y conservación de sus granos. Uno de ellos es el proveer alimentos libres de sustancias químicas, pero con el mínimo de costo. Ante esta problemática, una de las alternativas promisorias es el almacenamiento hermético de granos cuyo principio consiste en crear un ambiente desfavorable para la proliferación de insectos sin afectar la estructura y composición del grano.

La principal ventaja del almacenamiento hermético radica en su simplicidad, evitando la necesidad de aplicación de insecticidas peligrosos o costosos, y fumigaciones que requieren recursos y asistencia técnica para su aplicación, que por lo general son poco accesibles para los agricultores, especialmente para los que trabajan en zonas rurales (Porca, 2003).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Determinar cuantitativamente el efecto del almacenamiento hermético de maíz a cuatro contenidos de humedad (9%, 11%, 13%,14%) almacenado a una temperatura constante de 25° C por 3, 6, 9, 12 y 15 días, esto con el fin de controlar al insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

1.1.2 Objetivos Particulares

- Comparar el efecto causado por el insecto en maíz en un sistema de almacenamiento hermético con uno de almacenamiento abierto considerando las variaciones de oxígeno y de bióxido de carbono en cada una de las humedades y periodos de almacenamiento.
- Identificar el porcentaje de humedad y el periodo de almacenamiento ideales para lograr el control del insecto.

1.2.HIPÓTESIS

H1: Hay una diferencia en el daño al grano de maíz por el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento hermético comparado con el almacenamiento abierto.

Ho: No hay una diferencia en el daño al grano de maíz por el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento hermético comparado con el almacenamiento abierto.

Ha: El daño al grano de maíz por el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento abierto es independiente al almacenamiento hermético.

II. REVISIÓN LITERARIA

Pocas cosas hay, acerca del maíz en México que no hayan sido dichas. Religión, dinero, cultura, alimento principal de los mexicanos, la del maíz es en buena medida la historia de la nación.

Gustavo Esteva.

2.1. Generalidades

2.1.1. Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es una monocotiledónea de la familia *Poaceae* y de la tribu maideas. De acuerdo a Nicolai Vavilov, genetista y estudioso de las plantas cultivadas en el siglo XX, el centro de origen del maíz se localiza en el centro-sur de México hasta la mitad del territorio de Centroamérica (Hernández, 2009). Otros estudios sugieren que especialmente los géneros *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaenase* se originaron en los trópicos de América Latina (Flores, 2012).

Diversas son las teorías acerca del origen del maíz, sin embargo, no existe una que consense en específico el cómo, cuándo y dónde se originó y evolucionó éste. La única gran conclusión a la que se ha llegado es que el *teocintle*, en específico el teocintle anual mexicano, es el ancestro del maíz cultivado (Kato, 2009).

Hace más de 500 años se inició en el continente la agricultura del maíz, su primer nombre *teocintli*, destaca el origen divino que se le atribuyó (de *teotl*, dios y *cintli*, maíz). De él se deriva el nombre actual de *teocina*, antecesor del maíz (Esteva, 1984). Los primeros estudios de taxonomía del teocintle fueron realizados por Schrader (1833) que lo clasificó como *Euchlaena mexicana* (Hernández, 2009).

2.1.2. Descripción del maíz

Es una planta herbácea con raíces germinales fibrosas y a partir de los primeros entrenudos forma raíces adventicias. Tiene tallos cilíndricos articulados con presencia de nudos y entrenudos, y sus hojas alternas envainantes están formadas por un limbo y una vaina con una lígula entre ellas y nervaduras paralelas. Es una planta monoica que posee una inflorescencia terminal estaminada llamada panícula o flor masculina y flores femeninas pistiladas situadas en las yemas laterales (mazorcas), su fruto recibe el nombre de cariósido (Rosette *et al.*, 2010).

2.2.El cultivo de maíz en México

En México, la domesticación del maíz inició aproximadamente entre el año 5000 a.C. y el 2500 a.C. como consecuencia de la manipulación y selección de espigas de la especie *Zea mexicana* durante muchos años, hasta obtener mazorcas de aproximadamente veinte centímetros como las conocemos actualmente: *Zea mays* (Gonzalvo *et al.*, 2005).

El cultivo por excelencia en México es el maíz, puesto que representa la principal fuente de alimentación en su dieta y una serie de ventajas ya que, debido a su adaptabilidad a diversos suelos y climas, posee una gran variedad de especies nativas, además de que tiene un abundante rendimiento y resistencia al almacenamiento por temporadas considerables.

México es uno de los diez principales productores mundiales del maíz, ocupando el sexto lugar, contribuyendo así con un 3% del total de la producción. En la **Tabla1** se observan los principales productores de maíz a nivel nacional (SIAP, 2015).

Tabla 1. Principales estados productores de maíz en México 2013.

Ubicación	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Sinaloa	426,856.44	3,627,777.51	8.50
Jalisco	577,679.82	3,303,498.08	5.72
Michoacán	437,866.39	1,746,768.31	3.99
Guanajuato	388,409.00	1,526,682.36	3.93
México	27,021.60	80,498.95	2.98
Guerrero	403,686.30	989,673.01	2.45
Chiapas	701,195.75	1,529,385.18	2.18
Veracruz	568,248.66	1,192,168.58	2.10
Puebla	541,828.77	942,170.67	1.74
Oaxaca	525,778.51	628,530.01	1.20

Fuente: SAGARPA, 2013; en SIAP, 2015

2.2.1 Importancia económica

En nuestro país, el grano de maíz se siembra anualmente en casi 8,000,000 ha, produciendo alrededor de 21,000,000 toneladas, con un rendimiento promedio de 2.63 ton/ha. En cuanto al valor de producción del sector agrícola, participa con el 18% y abarca el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (Financiera Rural, 2014). En 2013, el precio medio rural de maíz de grano se estimó en 3,365.77 pesos por tonelada (SAGARPA, 2013).

Los principales usos del maíz en México son para consumo humano y forrajero (Rosette *et al.*, 2010).

2.2.2 Pérdidas post-cosecha de grano de maíz

Las pérdidas post-cosecha pueden afectar hasta un 35% de la producción. Esto resulta en una menor disponibilidad de alimentos, menor rentabilidad para la cadena de suministro y una comercialización inadecuada (Granados, Lafitte, y Violic, 2001).

Uno de los factores importantes que determinan los elevados costos del producto son las pérdidas post-cosecha, éstas se presentan principalmente cuando hay deficiencias en el periodo de recolección, manejo, embalaje, almacenamiento, transporte o distribución (López, 1986).

Existen tres tipos de daño que afectan a los granos almacenados: físicos, enzimáticos y parasitarios. Los físicos se deben a lesiones mecánicas durante la recolección o procesamiento del grano así como a altas temperaturas durante el método de secado mal ejecutado o por un calentamiento debido a la acción de agentes biológicos (Box, 2005). Enzimas como amilasa, proteasa y lipasa suelen actuar sobre las reservas del grano, en especial cuando la humedad es elevada desencadenando procesos que dan pie a la respiración excesiva. Por último, los daños parasitarios pueden ser ocasionados por insectos y hongos que pueden estar presentes desde la recolección o desarrollarse en el almacén (Box, 2005).

2.3 Principales plagas de insectos del maíz en almacén.

El maíz almacenado es una fuente ideal de alimento para los insectos que están adaptados a situaciones de confinamiento, causando grandes pérdidas en calidad y valor nutritivo y comercial, reduciendo de este modo los ingresos del agricultor (Granados, Lafitte, y Violic, 2001).

La temperatura y la humedad del grano son los factores determinantes para la proliferación de las poblaciones de insectos (Rodríguez y Herrera, 2003).

Las plagas varían de acuerdo con la región, estación del año, el sistema y periodo de almacenamiento, lo que permite clasificarlas de la siguiente manera:

- Plagas Primarias: Son aquellas que atacan al grano íntegro sin daño previo. Son de gran importancia durante el almacenamiento, sus poblaciones alcanzan grandes niveles y pueden sobrevivir en residuos de granos y dentro de la estructura de almacenamiento. En muchos casos, los daños que provocan comienzan desde el campo. Son 14 las especies de plagas primarias adaptadas para vivir en el grano almacenado (Rodríguez y Herrera, 2003).

Las principales plagas primarias de almacén de maíz son:

- *Sitophilus zeamais* (gorgojo del maíz).
 - *Prostephanus truncatus* (barrenador grande del grano).
 - *Sitotroga cereallela* (palomilla de los granos)(García-Lara y Bergvinson, 2007).
-
- Plagas secundarias: no atacan a los granos íntegros, sino que se alimentan de aquellos que ya han sido dañados por plagas primarias o sometidos a cierto manejo o procesamiento: Estas plagas tienen una variedad de alimentos más amplia y pueden hacer su aparición en etapas más tempranas del almacenamiento. Algunas de ellas son:
 - *Plodia interpunctella* (polilla bandeada).
 - *Tribolium castaneum* (escarabajo castaño)(García-Lara, Carrillo, y Bergvinson, 2007).

Tabla 2. Principales plagas que afectan a los granos de almacén en México.

Nombre científico	Nombre común
<i>Sitophilus zeamais</i> Motsch	Picudo del maíz
<i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	Picudo del arroz
<i>Prostephanus truncatus</i> (Horn)	Barrenador grande de los granos
<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius)	Barrenador pequeño de los granos
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L)	Gorgojo de tórax aserrado
<i>Tribolium castaneum</i> (Hbst.)	Gorgojo castaño de la harina
<i>Tribolium confusum</i> Duval	Gorgojo confuso de la harina
<i>Sitotroga cerealella</i> (Oliver)	Palomilla dorada del maíz
<i>Acanthoscelides obtectus</i> (Say)	Gorgojo pardo del frijol
<i>Zabrotes subfasciatus</i>	Gorgojo pinto del frijol
<i>Boheman Cryptolestes pusillus</i> (Schon.)	Gorgojo plano de los granos
<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Steph.)	Gorgojo rojizo de los granos

Fuente: Rodríguez y Herrera, 2003

2.3.1 El insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky (taxonomía; origen y distribución; descripción morfológica y biología)

Taxonomía: Phylum: Arthropoda. Clase: *Insecta*. Orden: *Coleoptera*. Familia: *Curculionide*.

Estos insectos son ampliamente conocidos por los daños que ocasionan a los granos almacenados, y comúnmente se les llama picudo del maíz, ocasionalmente inicia su infestación en el campo y, cuando llega el maíz al almacén, se reproduce rápidamente (Flores, 2012).

Los adultos son escarabajos de 2.5 a 4 mm de largo con fuertes mandíbulas masticadoras en la terminación de la cabeza prolongada. Su cuerpo es de color oscuro, casi negro, con dos manchas ligeras en cada élitro. Sus larvas son blandas, blancas, ápodas y pulposas, las cuales miden un máximo 3 mm. Las hembras pueden vivir varios meses y poner hasta 400 huevecillos durante toda su vida; cada huevo es puesto individualmente en agujeros diminutos que la hembra hace en el grano y que a la vez recubre con una materia gelatinosa. La hembra

alcanza su máxima actividad de oviposición después de 3 semanas de haber emergido.

Cuando la larva eclosiona, comienza a alimentarse de la materia interna del grano, convirtiéndose en pupa y posteriormente emergiendo como adulto (Granados, Lafitte y Violic, 2001).

Puede desarrollarse en el grano de, aproximadamente, 31 a 37 días, con temperaturas de 27° C y 70% de humedad, pero esto varía de acuerdo a la zona. Es un volador muy vigoroso, lo que le permite realizar su infestación en el campo (Rodríguez y Herrera, 2003). Se le encuentra principalmente en las zonas cálidas húmedas, tropicales y subtropicales, pero su distribución se considera mundial (Granados, Lafitney Violic, 2001).

Figura 1: Adulto *Sitophilus zeamais* Motschulsky.



Fuente: USDA, ARS (Public Domain) en(Bio-NET-EAFRINET Keys and Fact Sheets)

Este insecto puede infestar a la mazorca, tanto en campo como en almacén (Granados, Lafitney Violic, 2001), pero la infestación inicial ocurre en el campo (Aguilera, 1988).

Las larvas y pupas suelen ser muy destructivas y el daño que ocasionan generalmente favorece al ataque de otras plagas y hongos (Gómez y Leños, 2008). Cuando el insecto es adulto se reproduce, su tasa de respiración aumenta y el movimiento por su hábitat es evidente (Cornejo, 2012).

Figura 2. Grano sano de maíz.



Fuente: EMPOAGRO 2015 en(Empoagro, 2014)

Figura 3. Grano dañado por insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky.

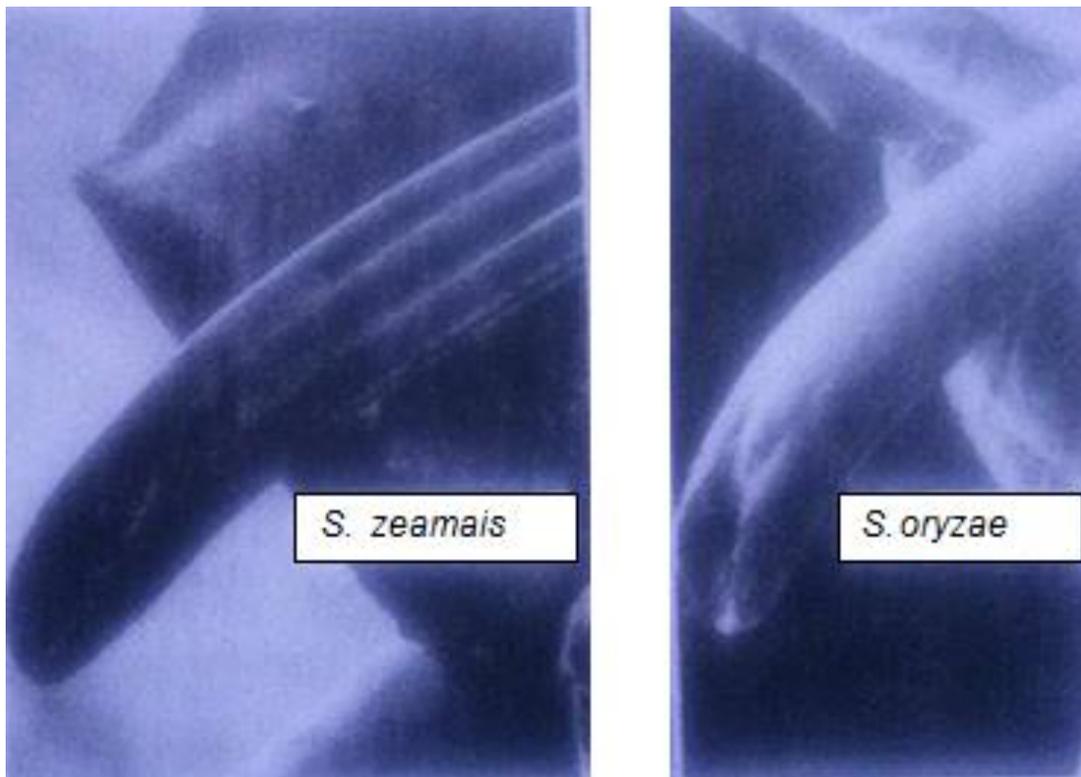


Fuente: Fotografía de autoría propia.

Generalmente, la especie *Sitophilus zeamais* suele citarse junto con la especie *Sitophilus oryzae* como una sola. Para diferenciarlas es necesaria la disección del insecto masculino observando en el microscopio el edeago¹. Si el insecto pertenece a la especie *zeamais*, éste presentará pequeñas canaletas a nivel longitudinal; en el caso de la especie *oryzae*, el aedeago presentará una superficie convexa y lisa (Rees, 1996).

¹ Edeago: Parte externa y mas esclerotizada y retráctil del falo; pene y parámetros (Monteresino y Brewer, 2001).

Figura 4. Comparación de las superficies del edeago por especie.



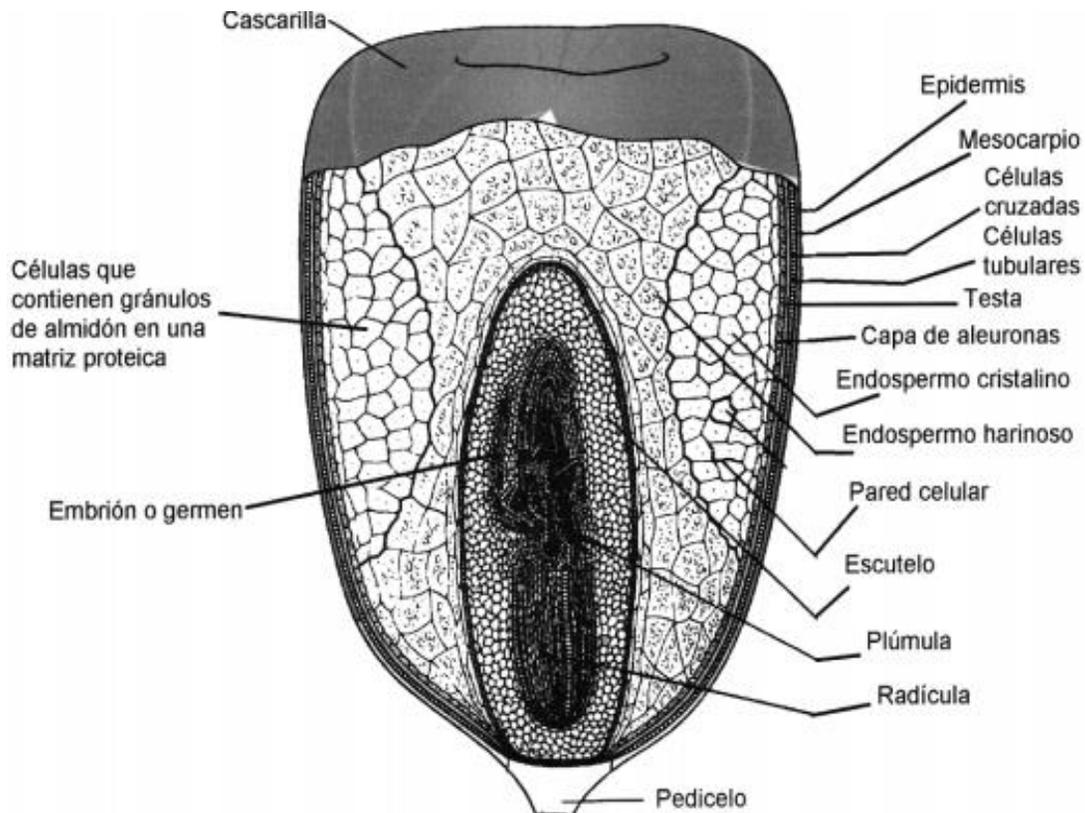
Fuente: Rees, 1996.

2.4 Estructura y composición química del grano de maíz

Entre las principales partes que conforman la estructura de un grano se encuentra el pericarpio, que es la estructura externa que envuelve el grano. Éste tiene funciones protectoras y reguladoras en el grano y se origina de la pared del ovario.

El embrión o germen posee una función reproductiva; en él, la plúmula y la radícula darán origen a la raíz y al tallo. Por su parte, el endospermo tiene la capacidad de almacenar reservas para el embrión, siendo estas reservas una fuente de energía y de sustancias orgánicas (FAO, 2015).

Figura 5. Estructura del grano de maíz.



Fuente: Hoseney y Faubión, 1992.

Con respecto a la composición química del grano, se muestra que el pericarpio se caracteriza por su mayor porcentaje de fibra cruda y, en comparación al embrión, posee un nivel mucho más bajo de azúcar. El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón comparado con el pericarpio y el embrión.

Finalmente, como se muestra en la **Tabla 3**, el embrión posee un mayor porcentaje en la mayoría de los componentes químicos con respecto al pericarpio y el endospermo.

Tabla 3. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: (Watson, 1987)

Conocer la composición química del grano de maíz es importante, especialmente cuando se procesa para su consumo(FAO, 2015).

2.4.1. Factores que afectan la calidad física del grano

Existen diversos factores que se determinan para clasificar la calidad física del grano como los siguientes: el peso hectolítrico; el peso de mil granos; la forma, tamaño y dureza del grano; análisis fitosanitarios y los daños ocasionados por factores bióticos y abióticos. El contenido de humedad, la prueba de flotación, la densidad del grano y la relación de molienda también pueden formar parte de la calidad física de grano (FAO, 2015).

2.4.1.1. Internos (respiración)

La respiración en vida latente de un grano lo orilla a procesos como la oxidación de azúcares reductores (glucosa) y, posteriormente, al desprendimiento de gas carbónico, calor y agua; en otras palabras, esto constituye alteraciones como la acidificación, el aumento progresivo de agua y la elevación de la temperatura.

Cuando existe una humedad elevada, en el grano no hay suficiente oxígeno para los procesos de oxidación y se puede producir fermentación, desprendiendo de este proceso calor, mismo que afectará la calidad del grano (Box, 2005).

2.4.1.2.Externos (temperatura, humedad)

Como ya se mencionó con anterioridad, uno de los factores ambientales más importantes que afectan a la germinación es la temperatura. Si la temperatura de almacenamiento se reduce a 5°C, el grano durará el doble de tiempo (ONU, 1985); sin embargo, una temperatura elevada provocará la degradación de la estructura de almidón, así como la desnaturalización de proteínas y la destrucción de vitaminas (Box, 2005).

Otro de los factores determinantes para el almacenamiento de granos es la humedad, puesto que de ella depende, principalmente, la aparición de la actividad biológica, es decir, el desarrollo de hongos, ácaros e insectos en el grano (Niño, 1980).

2.5.Almacenamiento hermético de granos

El objetivo primordial de un almacén es maximizar la eficiencia en la utilización de recursos y, al mismo tiempo, satisfacer las necesidades del cliente. El almacenamiento de granos influye en toda la cadena productiva, desde la manufactura, comercialización, distribución y abastecimiento de los productos hasta su consumo, teniendo en cuenta siempre la protección de su calidad (Cornejo, 2012).

El almacenamiento hermético es un sistema que permite conservar los granos de tal manera que no sufran daño por ningún tipo de plaga, temperatura o humedad desfavorables.

Generalmente, los almacenes herméticos en la actualidad son de lámina galvanizada y en algunos lugares se opta por usar bolsas plásticas que conserven la atmósfera de hermetismo.

2.5.1.Principio

El oxígeno y el bióxido de carbono son dos de los gases más importantes para que en el planeta exista vida, indispensablemente la respiración de los seres vivos requiere oxígeno para dar como resultado bióxido de carbono y agua. El oxígeno (O₂) se encuentra en el ambiente en un 20.9%, mientras que el dióxido de carbono (CO₂) sólo en 0.03% en promedio (Pérez, 2003).

El dióxido de carbono que se produce en un granero debido a la vida que existe en su interior (respiración del embrión del grano y vida, incluyendo mohos e insectos) aumentará su concentración con una disminución correspondiente de oxígeno. La acción conjunta de estos fenómenos tiende a prevenir y, finalmente, a disminuir todo proceso de metabolismo, particularmente el de los insectos. Por consiguiente, las plagas no pueden desarrollarse bajo condiciones herméticas (Ives, 1951).

Un contenedor a prueba de aire prevendrá la entrada de agua, vapor, insectos o roedores del exterior (Ives, 1951).

2.5.2. Historia

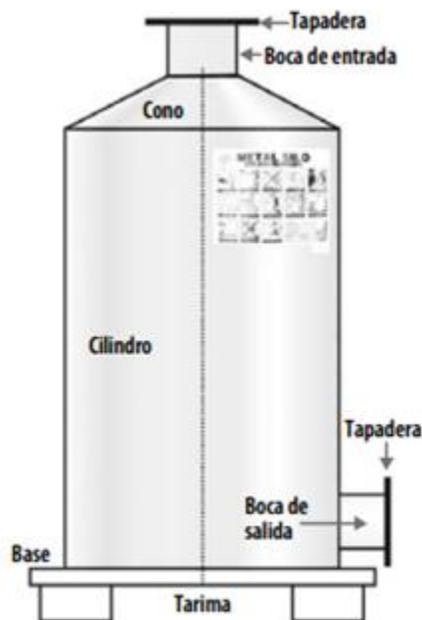
Los antecedentes del almacenamiento hermético se asocian al concepto de "silo", que es un lugar subterráneo y seco en donde se guarda el trigo u otros granos, semillas o forrajes (Real Academia Española, 2015). Esta palabra proviene del griego σῖπος (*siros*, que significa "hoyo o agujero para conservar grano"). Las ruinas arqueológicas y textos antiguos indican que los silos se utilizaron en la antigua Grecia y se remontan a finales del siglo VIII a.C. Por su parte, la palabra hermético hace referencia a Hermes Trimegisto, dios egipcio y mensajero confiable al que se le atribuía una gran discreción en sus palabras (Speake, 1999).

2.5.3. Almacenamiento hermético en la actualidad

Los silos herméticos actuales son recipientes de lámina galvanizada del número 24, ensamblada mediante un proceso de engargolado que se asegura con soldadura de estaño. Posee dos tapones de aluminio y un empaque de hule, uno en la parte superior y otro en la inferior (llenado y extracción), que da como resultado un recipiente hermético (Gómez y Leños, 2008).

Las capacidades de los silos herméticos pueden variar de acuerdo al programa Post-Cosecha COSUDE (NIC). La capacidad máxima adecuada es de 3.9 m³ (un metro cúbico de maíz pesa aproximadamente 750kg) para asegurar el manejo la resistencia y confiabilidad del silo (IICA, 2015).

Figura 6. Silo hermético de lámina galvanizada.



Fuente: (Lara, Camarillo y Bergvinson, 2007).

En 1999, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

evaluaron el silo hermético como método de conservación de granos y, como resultado de ello, actualmente se promueve su uso por medio de manuales, desplegados, folletos, demostraciones, entre otros (Gómez y Leños, 2008).

Actualmente, en países como Guatemala, Venezuela, Costa Rica, El Salvador, República Dominicana, Panamá, Colombia, Perú, Jamaica y Ecuador, empresas como Quelaris venden y distribuyen silos herméticos a pequeños productores (Anónimo, 2015).

2.5.4.Principales limitantes del almacenamiento hermético.

Si bien el almacenamiento hermético presenta grandes ventajas, cabe mencionar que facilita también la respiración anaeróbica, lo que permite el desarrollo de microorganismos de este género que representan una amenaza, los cuales atacan a los embriones de los granos (Ives,1951).

Se ha demostrado que algunos organismos sobreviven a los olores ácidos y los alcoholes producidos cuando los granos húmedos son almacenados herméticamente. Por ello, el contenido de humedad en el grano al momento de ser almacenados herméticamente representa un significativo factor sobre el tipo y la velocidad del proceso anaeróbico (Ives, 1951).

Debido al principio del almacenamiento hermético, se torna complicada y costosa la manipulación de grandes cantidades de grano; sin embargo, es necesario contar con una alternativa para el almacenamiento que asegure la debida conservación de los granos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la investigación.

El presente estudio se realizó en los laboratorios de la Unidad de Investigación de Granos y Semillas (UNIGRAS), ubicada en el Centro de Asimilación Tecnológica y Vinculación (CAT) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán), en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

3.2. Metodología

3.2.1. Diseño experimental

El estudio se hizo con base en una prueba de Kruskal-Wallis, con un total de 80 unidades experimentales se hizo una comparación de medianas entre las variables O₂, CO₂, mortalidad y emergencia.

3.3. Material de experimentación

Insectos de la especie *Sitophilus zeamais* Motschulsky, obtenidos de la cámara de cría de la Unidad de Granos y Semillas (UNIGRAS).

Grano de maíz blanco variedad SB-308 con una humedad inicial de 12.7%.

Frascos de almacenamiento hermético y abierto.

Primera fase

Se verificó que los adultos del insecto sujeto de estudio pertenecieran a la especie *zeamais* por medio de una extracción genitalia, que consiste en hacer una disección del edeago del insecto masculino y observar al microscopio. De pertenecer a la especie *zeamais*, éste poseerá canaletas a nivel longitudinal (Rees, 1996).

Figura 7. Vista microscópica de edeago perteneciente a *Sitophilus zeamais*.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

El grano de maíz se limpió por un proceso de cribado y se colocó en un refrigerador a 5°C para detener la actividad de cualquier organismo vivo y que esta no interfiriera con el estudio, luego se sometió a una prueba de germinación. A continuación, se colocó el maíz en un divisor cónico Boerner (figura 8) para homogeneizar las muestras y se determinó su humedad, que fue de 12.7%. Posteriormente, se ajustó a los contenidos de humedad requeridos para la investigación (9%, 11%, 13% y 14%), esto mediante la adición de agua (Pixton, 1982). El ajuste se hizo calculando la cantidad de agua requerida para alcanzar el contenido de humedad deseado (13% y 14%) con la siguiente ecuación:

$$\text{Cant. agua (ml)} = \left[\frac{100 - \% \text{ de humedad en grano}}{100 - \% \text{ de humedad deseada en grano}} - 1 \right] \times \text{Peso de grano (g)}$$

Por medio de una estufa Red Line, fue secado el grano para las humedades menores (9% y 11%) y fue utilizado el método oficial para maíz y frijol del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la American Association of Cereal Chemists, mismo que consiste en mantener una temperatura 103°C durante 72 horas para grano entero (Martínez, 1996).

Figura 8. Homogeneizador Divisor Boerner.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

Figura 9. Ajuste de maíz a humedades de 9% y 11% por medio de estufa Red Line.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

El almacenamiento del grano de maíz se llevó a cabo en frascos de vidrio de 250g de capacidad debidamente etiquetados, en los que se colocaron 150 g de maíz para cada repetición. Inmediatamente después de llenar el frasco, se colocaron 20 insectos adultos, vivos y sin sexar (*Sitophilus zeamais* Motschulsky).

Figura 10. Frascos y tapa para almacenamiento hermético.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

En seguida de este procedimiento, los frascos fueron tapados con papel parafilm y, posteriormente, con papel aluminio. Finalmente, les fue colocada la tapa especial para almacenamiento hermético y la parte superior del frasco se sumergió en parafina muy caliente, una vez que ésta se enfrió, se volvió a sumergir, esta vez en parafina tibia, para sellar cualquier orificio que hubiera quedado expuesto.

Figura 11. Tapado hermético de unidades experimentales



Fuente: Fotografía de autoría propia

Las unidades experimentales cerradas herméticamente y los testigos se llevaron a una cámara Fisher Scientific que los mantuvo a 25°C de temperatura constante.

Figura 12. Unidades experimentales cerradas herméticamente etiquetadas por periodo de almacenamiento y porcentaje de humedad



Fuente: Fotografía de autoría propia

Se extrajeron 16 frascos de la cámara (3 repeticiones y 1 testigo de cada porcentaje de humedad) cada 3, 6, 9,12 y 15 días posteriores al montaje del experimento para realizar una determinación de O₂ y CO₂ de cada unidad experimental sometida al almacenamiento hermético, utilizando para ello un analizador Illinois 6600 (**Figura 13**), así como una determinación de humedad en una estufa desecadora Red Line (**Figura 8**).

El almacenamiento hermético fue roto al destapar cada unidad experimental para tomar una porción del maíz, colocándolo en cajas de aluminio. Este se pesó para después ser llevado nuevamente a la estufa y (por medio del método oficial para maíz y frijol del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de la American Association of Cereal Chemists para granos enteros) medir su humedad, manteniendo una temperatura 103°C durante 72 horas (Martínez, 1996). Transcurrido este tiempo, las cajas fueron retiradas de la estufa y colocadas en un desecador (**Figura 14**) y, una vez frías, se volvió a tomar registro su peso para así calcular el porcentaje de humedad.

Figura 13. Analizador Illinois 6600



Fuente: Fotografía de autoría propia.

Figura 14. Cajas de aluminio colocadas en desecador.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

Figura 15. Muestras listas para someterse a secado en estufa.



Fuente: Fotografía de autoría propia.

Posterior a estos procedimientos, se realizó una cuantificación de mortalidad y emergencia de insectos, tanto en frascos de almacenamiento hermético como en los testigos, empleando para ello zarandas manuales de 200/mm de diámetro con aberturas de 4/mm y 1/mm. Después de la cuantificación, todos los frascos fueron tapados nuevamente, esta vez con tapas similares a las de los testigos (almacenamiento abierto) para colocarlos en una cámara de cría a 25°C de temperatura constante con una humedad relativa de 75% para así permitir la emergencia de la oviposición.

Figura 16. Tapas de almacenamiento abierto (izquierda); zarandas manuales (derecha).



Fuente: Fotografía de autoría propia.

Transcurridos 30 días incubación, el maíz de cada unidad experimental nuevamente fue cribado con zarandas manuales para la cuantificación de mortalidad y la emergencia de insectos. Este procedimiento se realizó a diario durante 30 días para cada uno de los porcentajes de humedad en cada uno de los días de almacenamiento, teniendo un total de 80 unidades experimentales. Una vez concluido este procedimiento, las unidades experimentales son colocadas en un refrigerador a 5°C para cortar con cualquier actividad del insecto y detener el daño.

Segunda fase

Se determinó el porcentaje de grano dañado en todos los frascos empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Grano dañado (\%)} = \frac{\text{Grano dañado (g)} \times 100}{150 \text{ (g)}}$$

Los resultados de la mortalidad fueron comparados con los resultados de los respectivos testigos por medio de las siguientes ecuaciones:

$$(1) \dots \dots \dots \text{Mortalidad (\%)} = \frac{MH}{20} * 100$$

Donde:

MH = Mortalidad de insectos al romper el hermetismo del tratamiento

La constante 20 es igual al número total de insectos depositados en cada muestra

$$(2) \dots \dots \text{Mortalidad comparada} = \left[\frac{\text{Mortalidad (\%)} - \text{Mortalidad (testigo)}}{100 - \text{Mortalidad (testigo)}} \right] * 100$$

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó una prueba de Kruskal Wallis, en el programa InfoStat, los resultados de cada tratamiento con respecto a emergencia fueron obtenidos por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Emergencia (\%)} = \frac{EM}{ET} * 100$$

Donde:

EM = No. total de insectos emergidos en las muestras (30 días)

ET = No. total de insectos emergidos del testigo en el (30 días)

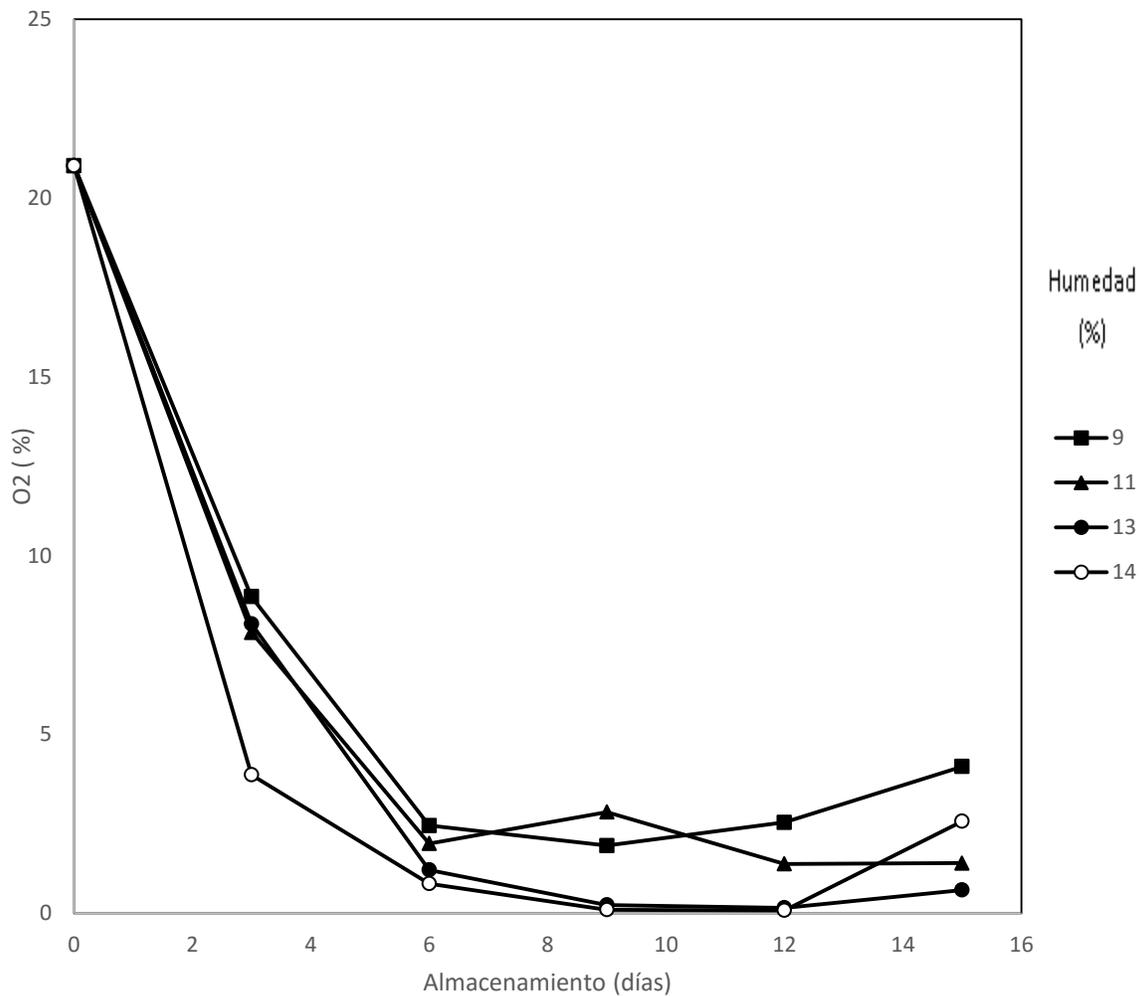
Tabla 4. Porcentaje de oxígeno en unidades experimentales en cuatro contenidos de humedad durante 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento.

Humedad (%)	Días de almacenamiento					
	0*	3	6	9	12	15
9	20.9	8.85	2.45	1.89	2.54	4.1
11	20.9	7.85	1.95	2.83	1.38	1.4
13	20.9	8.09	1.21	0.23	0.15	0.65
14	20.9	3.87	0.83	0.1	0.08	2.57

*En el ambiente el oxígeno se encuentra en un 20.9% (Pérez, 2003), por lo que se considera al inicio del almacenamiento o bien 0 días este porcentaje.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 1. Porcentaje de oxígeno presente en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia.

En la **Gráfica 1** se observa que durante el tratamiento de 12 días y 14% de humedad se encuentra el menor porcentaje de oxígeno registrado en todos los tratamientos; el segundo tratamiento con menor cantidad de oxígeno es el de 12 días y 13% de humedad. En estas condiciones, la respiración del grano y de los insectos reduce el oxígeno, matando a los insectos y reduciendo la actividad del grano (Hernández y Carballo, 2014), por lo que el periodo de almacenamiento de 12 días con humedades de 13% y 14% es seguro para que el contenido de oxígeno sea menor y la atmósfera sea desfavorable para el insecto.

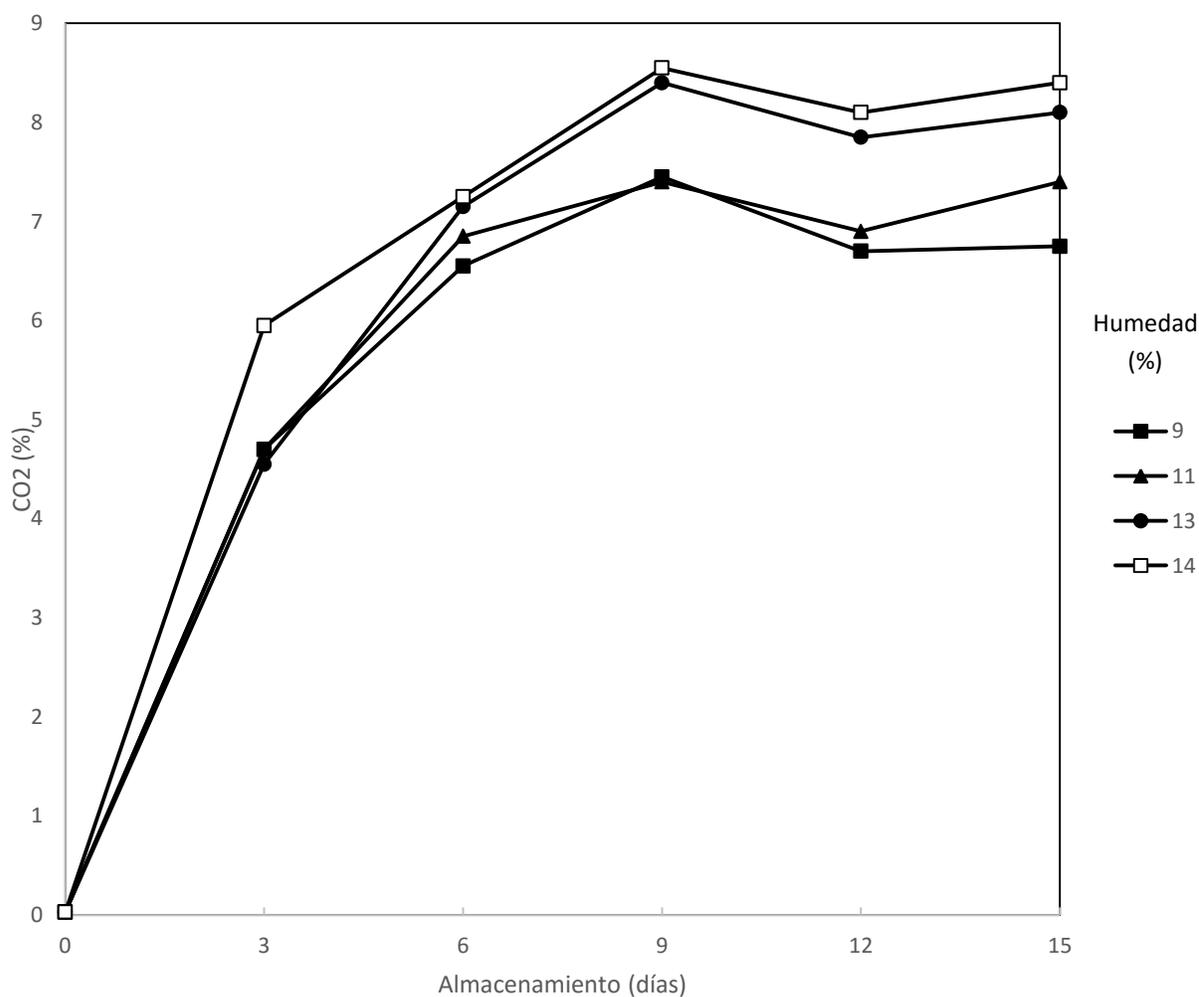
Tabla 5. Porcentaje de CO₂ en unidades experimentales a cuatro contenidos de humedad en 3, 6, 9, 12 y 15 días de almacenamiento.

Humedad (%)	Días de almacenamiento					
	0*	3	6	9	12	15
9	0.03	4.7	6.55	7.45	6.7	6.75
11	0.03	4.7	6.85	7.4	6.9	7.4
13	0.03	4.55	7.15	8.4	7.85	8.1
14	0.03	5.95	7.25	8.55	8.1	8.4

*En el ambiente el dióxido se encuentra en un 0.03% (Pérez, 2003), por lo que se considera que al inicio del almacenamiento o bien 0 días este porcentaje.

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Porcentaje de bióxido de carbono presente en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días).



Fuente: Elaboración propia.

El mayor porcentaje registrado que se observa en la **Gráfica 2** es en el tratamiento de 9 días a un 14% de humedad, seguido por el de 9 y 15 días, con 13% y 14% de humedad respectivamente, con un contenido igual de CO₂. Se puede observar en la gráfica un aumento proporcional del CO₂ con el contenido de humedad, es decir, a mayor contenido de humedad, la respiración es mayor, por lo que el contenido de CO₂ aumentará (Feistritzer, 1985).

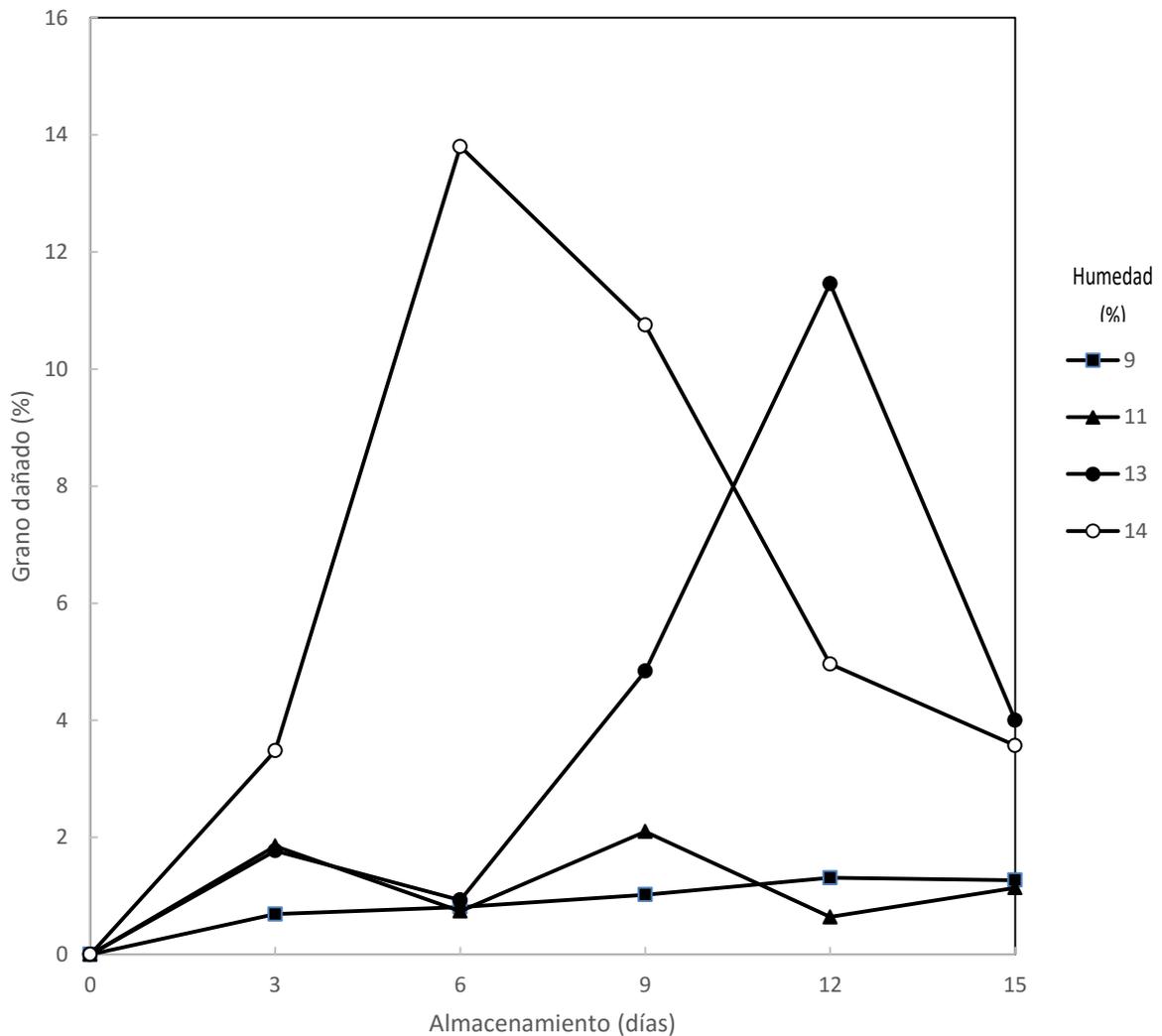
Tabla 6. Comparación de medianas del porcentaje de grano dañado.

Humedad (%)	Días de almacenamiento				
	3	6	9	12	15
9	0.69a-d	0.81abc	1.02ab	1.31ab	1.27ab
11	1.85a-g	0.74a-f	2.1a-d	0.64a	1.14a-e
13	1.77fg	0.93efg	4.84d-g	11.46a-g	4c-g
14	3.48g	13.8efg	10.75fg	4.96a-g	3.57b-g

Las letras indican la agrupación de las muestras de acuerdo a su semejanza; las letras separadas por un guion son consecutivas.

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 3. Porcentaje de grano dañado en cada unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días) a una temperatura constante de 25°.



Fuente: Elaboración propia.

Por un lado, el mayor porcentaje de grano dañado se presenta con un porcentaje de humedad de 14 a 6 días de almacenamiento pues la humedad es suficiente para generar dióxido de carbono y, con ello, una atmósfera desfavorable; sin embargo, el periodo de almacenamiento es muy corto. Por el otro, el menor porcentaje de grano dañado se encuentra a una humedad de 11% con un periodo de almacenamiento de 12 días, por lo que se puede decir que, a mayor humedad, mayor daño en el grano siempre y cuando el periodo de almacenamiento sea

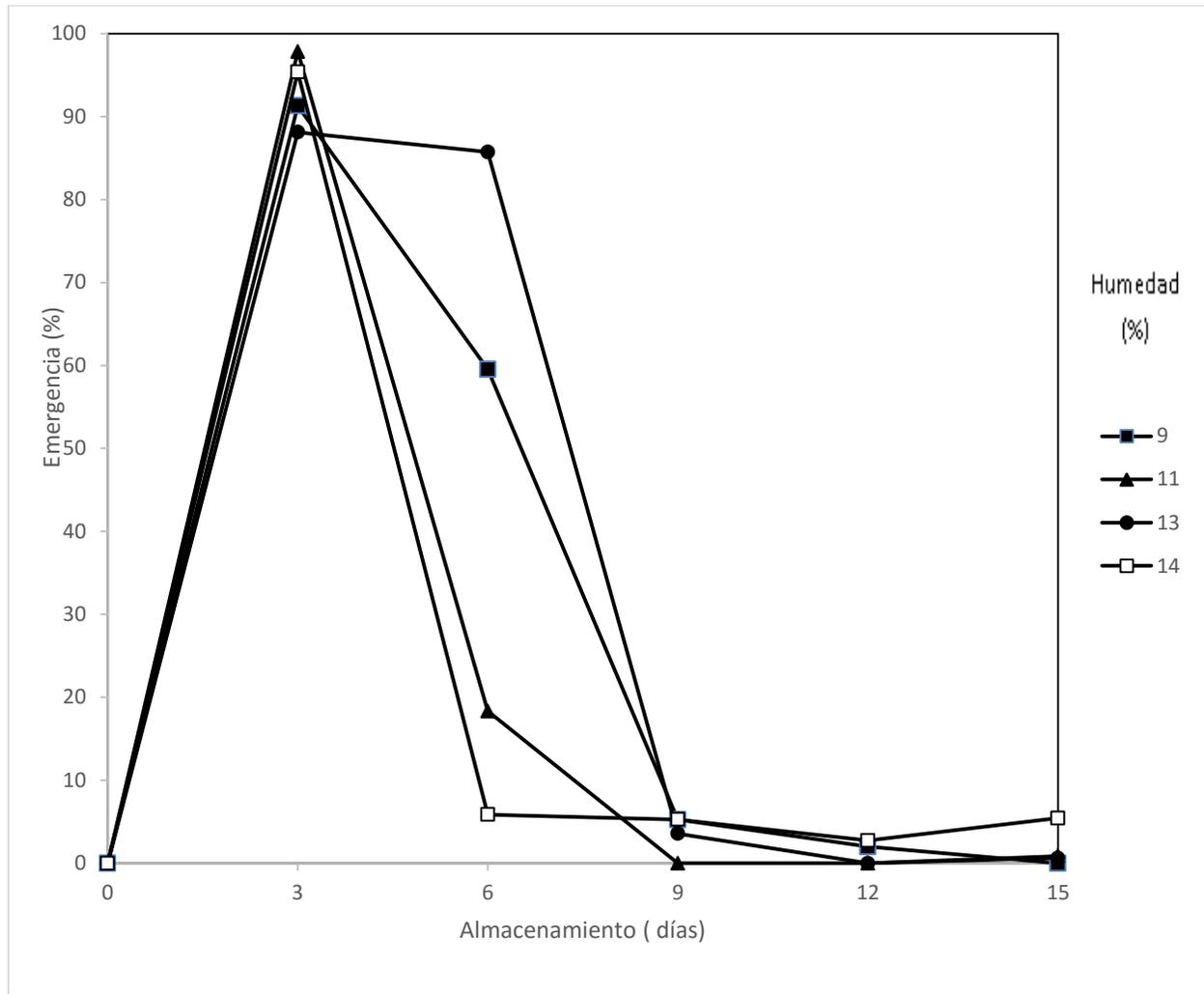
menor a los 9 días. Contrario a esto, humedades mayores a 12% en granos proveen una atmósfera ideal para la proliferación de insectos como *Sitophilus zeamais*.

Tabla 7. Porcentaje de emergencias de acuerdo al periodo de almacenamiento en días.

Humedad (%)	Días de almacenamiento				
	3	6	9	12	15
9	91.3	59.52	5.26	2	0
11	97.83	18.33	0	0	0.88
13	88.1	85.71	3.57	0	0.64
14	95.37	5.87	5.28	2.75	5.45

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Porcentaje de emergencias por unidad experimental de acuerdo al periodo de almacenamiento (días).



Fuente: Elaboración propia.

Los máximos porcentajes de emergencias son registrados en un periodo de almacenamiento de 3 días con un 11% y 14% de humedad, pues un nivel de humedad mayor a 12% cumple con la condición para el desarrollo de plagas de almacén (Feistritzer, 1985). Debido a que el periodo de almacenamiento no fue lo suficientemente largo como para producir una mayor cantidad de dióxido de carbono, el insecto tuvo las condiciones ideales para reproducirse, por lo que, en periodos de almacenamiento de 12 días, aún con humedades de 11% y 13%, la emergencia es nula.

V. CONCLUSIONES

Se observan diferencias al comparar el efecto causado por el insecto sobre el maíz en un sistema de almacenamiento hermético con uno de almacenamiento abierto de acuerdo a cada periodo de almacenamiento y porcentaje de humedad. También se presentan variaciones de oxígeno y dióxido de carbono, siendo 12 días el periodo de almacenamiento hermético en el que las unidades experimentales presentan mayor decrecimiento en el porcentaje de oxígeno en su atmósfera, reduciendo con ello la proliferación y también la oviposición del insecto, especialmente en humedades de 11%. Para el control del insecto en periodos de almacenamiento hermético de nueve días o más, 9 y 11 son los porcentajes de humedad ideales.

Existe diferencia en el daño al grano de maíz por el insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky en almacenamiento hermético comparado con el almacenamiento abierto, por lo que se acepta la hipótesis propuesta.

Con un periodo de almacenamiento de 12 días y humedades de 11% y 13 % se registra el menor porcentaje de emergencia y el menor porcentaje de grano dañado, por lo tanto, para esta investigación, de acuerdo al comportamiento del insecto en cada unidad experimental, se identifica que el periodo de almacenamiento ideal para mantener el control del insecto *Sitophilus zeamais* Motschulsky bajo un sistema de almacenamiento hermético es de 12 días, con una humedad de 11%.

Con la información obtenida es posible recomendar cuales son las condiciones óptimas para el almacenamiento del grano bajo un sistema de hermetismo procurando su sanidad.

Es importante mencionar que, si bien para esta investigación se utilizaron periodos de almacenamiento no mayores a quince días, valdría la pena prolongarlos para posteriores investigaciones acerca de este tema.

Bibliografía

Aguilera, P. (1988). Plagas de almacén que infestan al maíz desde el campo de cultivo en Guanajuato. *Primera reunión científica forestal y agropecuaria* , p.21.

Anónimo (2015). Consultado en: <http://www.quelaris.com/>. Consultado por última vez el 10 de junio de 2015 en: <http://www.quelaris.com/paises.aspx>

Bio-NET-EAFRINET Keys and Fact Sheets(s.f.). Consultado por última vez el 16 de agosto de 2015 en: <http://keys.lucidcentral.org/>: http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/eafrinet/maize_pests/key/maize_pests/Media/Htmml/Sitophilus_zeamais_Motschulsky_1855_-_Maize_Weevil.htm

Box, J. M. (2005). *Prontuario de Agricultura. Cultivos Agrícolas*. Barcelona: Mundi-Prensa.

Empoagro (2014). Consultado por última vez el 16 de agosto de 2015 en <http://empoagro.com/index.php/nuestros-productos/item/35-maiz-blanco-y-amarillo-en-grano>

Esteva, G. (1984). *La batalla en el México rural*. México: Siglo XXI.

FAO (2015). (D. d. Agricultura, Productor). Consultado por última vez el 28 de enero de 2015 en el Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm>

FAO (2015). (Departamento de Agricultura). Consultado por última vez el 27 de mayo de 2015 en el Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S01.htm>

FAO (2015). Consultado por última vez el 28 de enero de 2015 en el Depósito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm>

Feistritzer, W. P. (1985). *Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano*. Roma: FAO.

Financiera Rural (Mayo de 2014). *Financiera Rural*. Consultado el 18 de febrero de 2015 en Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero.: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20%28may%202014%29.pdf>

Flores, H. D. (2012). *Guía Técnica El cultivo del Maíz*. El Salvador: Lica.

García - Lara, S., y Bergvinson, D. (2007). "Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz" en *Agricultura Técnica en México*, 33 (2), pp. 181-189.

García, M. D., y Aguirre, A. (2009). *Almacenamiento hermético de granos y semillas*. Guanajuato: INIFAP.

García-Lara, S.; Carrillo, C. E., y Bergvinson, D. J. (2007). *Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control*. México: CIMMYT.

Genel, M. R. (1984). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. México: Continental.

Gómez, J. A., y Leños, M. D. (2008). *Silo Hermético para almacenar granos y semillas*. Celaya: INIFAP.

Gonzalvo, P. E.; Martínez, B. G.; Jáuregui, L.; Vázquez, J. Z.; Guerra, E. S.; Garcíadiego, J., y otros (2005). *Nueva Historia Mínima de México*. México: El Colegio de México.

Granados, G.; Lafitte, H. R., y Violic, A. D. (2001). *El Maíz en los Trópicos; Mejoramiento y Producción*. Roma: FAO.

Guzmán, A. H., y Carballo, A. C. (2009). SAGARPA. Consultado por última vez el 23 de Abril de 2015 en la Subsecretaría de Desarrollo Rural en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacenamiento%20de%20semillas.pdf>

Hernández, A., y Carballo, A. (2014). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. México: COLPOS.

Hernández, J. A. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Hoseney, R., y Faubión, J. (1992). *Physical properties of cereal grains*. USA: Sauer DB.

IICA (2015). *Observatorio Regional de Innovaciones Tecnológicas en las cadenas de Maíz y Frijol*. Consultado por última vez el 29 de Julio de 2015 en: <http://www.observatorioredsicta.info/es/inventariotec/postcosecha/silosmetalicos>

Ives, N. C. (1951). *Manual de secado y almacenamiento de granos*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas Turrialba.

Kato, T. Á. (2009). "Teorías sobre el origen del maíz" en C. M. Takeo Ángel Kato, *Origen y diversificación del maíz, una revisión analítica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, p.43.

Lara, S. G., Camarillo, N. S., y Bergvinson, D. J. (2007). *Silo metálico manual técnico de fabricación y manejo*. México: CIMMYT.

Lindblad, C., y Druben, L. (1981). *Almacenamiento de grano*. México: Pax México.

López, H. (1986). *Proyecto nacional para la reducción de pérdidas post-cosecha en los productos determinados por el sistema nacional de seguridad alimentaria*. Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

María de Lourdes García Leños, J. A. (2007). "Silo hermético para el control de plagas de granos almacenados en Guanajuato, México" en *SCIELO* .

Markham RH, N. B.-P. (1994). *Developing pest management strategies for the maize weevil, Sitophilus zeamais, and the large grain borer, Prostephanus truncatus, in the humid and sub-humid tropics*.FAO.

Martínez, E. M. (1996). *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mendoza, E. O., y González, F. M. (2006). *Haciendo matemática estadística*. México: Independiente.

Monteresino, E., y Brewer, M. M. (2001). *Diccionario entomológico*. Argentina: Río Cuarto.

Niño, Á. C. (1980). *Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos*. Colombia: IICA.

ONU (1985). *Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano*. Roma: Gandhi.

Ortíz, A. C. (2012). *Almacenamiento y conservación de cereales y oleaginosas*. México: Servicios inteligentes de apoyo técnico.

Pérez, G. A. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*.Medellín: Universidad de Antioquía.

Pixton, S. W. (1982). *The importance of moisture and equilibrium relative humidity in stored products. Tropical stored products research 1*.

Porca, M. (2003). "The actual stage the knowledge about the damages bruchides" en *Journal of Central European Agriculture* .

Rees, D. P. (1996). "Coleoptera" en B. S. Hogstrum, *Integrated management of insects in stored products*. Estados Unidos: Marcel Dekker Inc, p. 16

Rodríguez, R., y Herrera, F. (2003). "Insectos y hongos en granos almacenados en Yucatán" en *UADY* (227), p. 47.

Rosette, R. A., y otros (2010). *Manual de Prácticas de Botánica Económica y Sistemática*. México: UNAM.

SAGARPA (2013). Consultado en: www.siap.gob.mx. Consultado el 17 de junio de 2015 en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

SIAP (2015). Consultado en: www.siap.gob.mx. Consultado por última vez el 17 de junio de 2015 en: <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/2/03-maiz/contexto-2.html>

Speake, G. (1999). *Diccionario Akal de Historia del mundo antiguo*. Madrid: Akal S. A.

Watson, S. A. (1987). *Structure and composition corn, chemistry and technology*. AACCC.