



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

EFFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO DE FRIJOL
ALMACENADO HERMÉTICAMENTE SOBRE EL DESARROLLO
DEL GORGOJO MEXICANO *Zabrotes subfasciatus* (BOHEMAN).

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:
GRIMALDO CASTRO SERGIO CRISTIAN

ASESOR: DR. ERNESTO MORENO MARTÍNEZ

COASESOR: DR. MARCO ANTONIO GARCÍA PEREA

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2013



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.

AGRADECIMIENTOS

- *Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir.*
- *A mi esposa Ana y mis hijos Fátima y Sergio por estar conmigo en este momento.*
- ❖ *En memoria de mi abuelita Antonia Ramírez Salas por el esfuerzo para poder educarme.*
- *A mi mamá y hermanos por apoyarme.*
- *Agradezco a la señora Rosa María Alonso y su esposo Miguel García por su apoyo.*
- *Agradezco al señor Abraham por la preocupación de terminar este trabajo de titulación.*
- *Al Doctor Ernesto Moreno Martínez, por confiar y apoyarme a realizar este proyecto de titulación gracias por su profesionalismo.*
- *Al Doctor Marco Antonio García Perea, por confiar y ayudarme en todo lo que necesité para tener un trabajo de calidad, por la oportunidad de crecer y por su profesionalismo.*
- *Gracias a la UNAM por permitirme prepararme en esta gran escuela y permitir conocer a mis compañeros de la carrera de Ingeniería Agrícola de la generación*

Índice	i
Índice de cuadros	iii
Índice de figuras	iv
Resumen	v

ÍNDICE

1 Introducción	1
2 Objetivos	
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivo particulares	4
2.3 Hipótesis	4
2.4 Justificación	5
3 Marco Teórico	
3.1 Importancia del cultivo del frijol	6
3.1.1 El frijol en el contexto mundial	9
3.1.2 Importancia del frijol en el sector agropecuario nacional	10
3.2 Almacenamiento de granos	12
3.2.1 Tipos de almacenes	14
3.2.2 Métodos de almacenamiento de mayor uso en México	14
3.2.3 Almacenamiento hermético	16
3.3 Proliferación de microorganismos e insectos en granos almacenados	19
3.3.1 Microorganismos	20
3.3.2 Insectos	21
3.3.3 Proceso respiratorio de los granos	24
3.4 Principales plagas que atacan al grano de frijol almacenado	26
3.4.1 Características del gorgojo mexicano del frijol <i>Zabrotes subfasciatus</i> (Boh)	30
4 Materiales y métodos	

4.1	Ubicación del experimento	33
4.1.2	Material biológico	33
4.2	Descripción de técnicas a aplicar	
4.2.3	Ajuste de humedad a 8% , 10% y 12%	34
4.2.2	Propagación de los insectos.	35
4.3.	Establecimiento del experimento	36
4.3.1	Cuantificación de O ₂ y CO ₂ en la atmósfera del almacenamiento hermético	37
4.3.2	Mortalidad	38
4.3.3	Determinación de contenido de humedad	38
4.3.4	Emergencia	40
4.3.5	Porcentaje de grano dañado	40
4.3.6	Daño interno	41
5	Diseño experimental	42
5.1	Variables de estudio	43
6	Resultados y Discusión	
6.1	Contenido de Humedad del grano	44
6.2	Consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono	45
6.3	Mortalidad de <i>Z.subfasciatus</i> .	49
6.4	Emergencia de la F1 de <i>Z.subfasciatus</i> .	52
6.5	Porcentaje de grano dañado	55
6.6	Porcentaje de daño interno	57
7	Conclusiones	62
8	Bibliografía	63

Índice de cuadros

Cuadro 1	Sales para ajustar el contenido de humedad del grano de frijol.	34
Cuadro 2	Consumo de oxígeno durante durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con <i>Z. subfasciatus</i> en tres contenidos de humedad.	46
Cuadro 3	Producción de dióxido de carbono durante 35 días de almacenamiento Hermético y Abierto infestado con <i>Z. subfasciatus</i> en tres contenidos de humedad.	48
Cuadro 4	Porcentaje de Mortalidad durante 35 días de almacenamiento Hermético y Abierto infestado con <i>Z. subfasciatus</i> en tres contenidos de humedad.	51
Cuadro 5	Porcentaje de Emergencia durante 35 días de almacenamiento Hermético y Abierto infestado con <i>Z. subfasciatus</i> en tres contenidos de humedad.	54
Cuadro 6	Porcentaje de grano dañado durante 35 días de almacenamiento Hermético y Abierto infestado con <i>Z. subfasciatus</i> en tres contenidos de humedad.	56
Cuadro 7	Porcentaje de daño interno en el grano de frijol en tres CH, durante 35 días de almacenamiento Hermético.	59

Índice de figuras

Figura 1	Participación estatal en la producción nacional de frijol.	10
Figura 2	Proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas.	25
Figura 3	Adultos de <i>Z. subfasciatus</i> : hembra (arriba) y macho (abajo).	30
Figura 4	Ciclo Biológico de <i>Z. subfasciatus</i>	32
Figura 5	Analizador digital de gases de aire Illinois® modelo 6600.	37
Figura 6	Colocación de semillas para radiografías.	41
Figura 7	Granos de frijol sin daño físico aparente y sin daño interno	60
Figura 8	Larvas que permanecieron en los granos	61

Resumen

Las pérdidas de granos de frijol almacenados en condiciones no favorables para su conservación en zonas rurales pueden alcanzar del 20 al 30 %; el principal factor de deterioro es el alto contenido de humedad (CH) del grano, ya que potencializa causas en detrimento de la calidad del grano. Una de las consecuencias del alto contenido de humedad en el grano es la proliferación de insectos, los cuales utilizan los nutrientes y la humedad contenida en el grano para completar su desarrollo. Por otro lado el sistema de almacenamiento hermético (SAH) ha resultado ser una alternativa para la conservación de granos, pero este sistema necesita ser estudiado bajo diferentes condiciones de humedad en los que pueden ser almacenados los granos de frijol en zonas rurales, por lo antes mencionado el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del contenido de humedad del grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Mayacoba (peruano), almacenado herméticamente en el desarrollo del Gorgojo Mexicano *Zabrotes Subfasciatus* (Boheman), bajo tres diferentes CH 8, 10 y 12 %. Se compararon los resultados del sistema de almacenamiento hermético, con el sistema de almacenamiento abierto (SAA), en relación al desarrollo de *Zabrotes subfasciatus*; para lograrlo se utilizaron unidades experimentales (UE), que consistieron de frascos de vidrio de 250mL con 150 g de frijol, a los cuales se les colocaron 20 insectos sexados, con una relación de 1:1, (con menos de 24 h de vida). Se realizaron siete muestreos, uno cada cinco días (d) con tres repeticiones, en total fueron 126 unidades experimentales. Las determinaciones realizadas en cada muestreo, fueron: contenidos de humedad, niveles de oxígeno (O₂), niveles de dióxido de carbono (CO₂), mortalidad de insectos, emergencia de la primera generación (F1) de los insectos con los que se

montó el experimento, porcentaje de grano dañado y daño interno en el grano de frijol, por medio de Rayos X.

Para el sistema de almacenamiento hermético, se sellaron los frascos con papel parafilm, papel aluminio y cinco capas de cera caliente, a las tapas de los frascos se les insertó un tapón de plástico para la toma de lecturas de las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono, a las unidades experimentales del sistema de almacenamiento abierto, solo les fue colocada una tapa con malla para que permitiera la entrada y salida de gases, pero que evitara la salida de los insectos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para asignar los tratamientos a las unidades experimentales y los resultados fueron analizados estadísticamente bajo un análisis de varianza no-paramétrico con la prueba de Kruskal-Wallis. (Zar, 1999). Los tiempos de almacenamiento para los dos sistemas fueron de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 días para el grano de frijol con contenido de humedad de 8, 10 y 12 %, respectivamente. En el almacenamiento hermético, el contenido de humedad más bajo fue de 8 %, a los 25 días de almacenamiento, el nivel de oxígeno bajó a 8.90 % y el nivel de dióxido de carbono se incrementó a 5.80 %; y a partir de este muestreo hasta el final del almacenamiento (35 días) no existió emergencia de insectos, ni daño en el grano de frijol. También para los contenidos de humedad de 10 y 12 % no hubo emergencia de insectos de F1 y 0 % de grano dañado a los 30 d y 35 días respectivamente con niveles de 7.71 % de oxígeno y 6.47 % dióxido de carbono y 3.03 % oxígeno y 8.9 % dióxido de carbono, respectivamente. Sin embargo, en el sistema de almacenamiento abierto se presentó una severa infestación de insectos en los tres contenidos de humedad aquí estudiados, (hasta 275 insectos emergidos de la F1), y con un alto porcentaje de grano

dañado (hasta 49 %). Los niveles de oxígeno que no permitieron el desarrollo de *Zabrotes subfasciatus*, así como el subsecuente daño al grano de frijol fueron de 8.90 % a 3.03 % y los niveles de dióxido de carbono que hicieron una atmosfera desfavorable para el insecto fueron de 5.80 % a 8.90 %. Con lo anterior se demuestra la importancia de la combinación de bajos contenidos de humedad de los granos en almacenamiento y niveles bajos de oxígeno, con lo que se evita el desarrollo de insectos en un menor tiempo de almacenamiento. El sistema de almacenamiento hermético aunado a un bajo contenido de humedad resultó ser de gran importancia para mantener al grano libre de daño físico, al no proveer las condiciones necesarias para el desarrollo de los estados inmaduros de los insectos de *Zabrotes subfasciatus*

1. Introducción

El grano de frijol constituye la dieta básica del mexicano, este grano contiene 22 % de proteínas de alta digestibilidad, es un alimento de alto valor energético, contiene alrededor de 70 % de carbohidratos totales y además aporta cantidades importantes de minerales y están constituidas por una sustancia sólida, denominada materia seca y por cierta cantidad de agua. La materia seca está formada por las proteínas, los carbohidratos, las grasas, las vitaminas y las cenizas. Desafortunadamente los granos no solo son para el alimento del hombre sino también para otros organismos como los hongos, insectos, roedores y pájaros.

Como ya se señaló en el párrafo anterior dentro de la composición química de los granos esta el agua en dos formas una de ellas ligada químicamente a los componentes o sustancias del grano a esa agua se le llama agua constitutiva pero también existe la llamada agua capilar y esa agua no esta liga a las sustancias constitutivas del grano esta agua está en equilibrio con la humedad del ambiente a la que se le conoce como humedad relativa. Si el aire que rodea a los granos está muy seco el grano perderá agua capilar y si el aire está muy húmedo el grano absorberá humedad con ello aumenta el contenido de humedad del grano, lo anteriormente dicho es muy importante para la preservación de los granos almacenados; ya que el agua capilar arriba del 13 % favorece al desarrollo de los hongos de almacén. Por otra parte los insectos de granos almacenados pueden vivir en granos con contenidos de humedad bajos como lo es del 7 %, cuando estos dos agentes bióticos los insectos y

los hongos encuentran los contenidos de humedad favorables para su desarrollo deterioran los granos en ocasiones hasta su completa destrucción. Además de esos factores de deterioro existen otros como lo son los roedores y los pájaros en los que el contenido de humedad no es importante para causar del daño que estos organismos infieren a los volúmenes almacenados.

Los países en desarrollo para el combate de los insectos, de manera general e inapropiada, han recurrido principalmente al uso de insecticidas. El uso indiscriminado e inadecuado de estos para controlar la proliferación de insectos en el grano almacenado ha resultado en el desarrollo de poblaciones insectiles más resistentes a estos productos químicos lo que ha inducido; a incrementar las dosis de insecticidas así como el numero de aplicaciones para mantener a los insectos bajo control con la consiguiente contaminación del medio ambiente (Champ y Dyte, 1976).

En México no existen cifras precisas que indiquen el volumen de granos que se pierde; sin embargo la FAO estima que a nivel mundial el nivel de perdidas poscosecha es del 5 % de la producción mundial de granos. Sin embargo, las perdidas varían dependiendo de la región, así se tiene que en ciertas regiones las perdidas pueden alcanzar niveles hasta del 30 % de lo producido. Lo anterior, está muy ligado a las condiciones climáticas de la región y a la calidad de la infraestructura de poscosecha que varía por las diversas formas que el campesino utiliza para preservar la calidad de los granos cosechados. En relación a lo anteriormente dicho dadas las bajas condiciones económicas de los campesinos o agricultores que habitan las zonas

rurales la infraestructura es inadecuada y no favorece la buena preservación de los granos.

Los principales factores físicos involucrados en la pérdida poscosecha de los granos son la infraestructura y el contenido de humedad de los granos. En cuanto a los factores bióticos los insectos, los roedores, los hongos y los pájaros son agentes de deterioro que llegan a causar severas pérdidas en los volúmenes de granos almacenados con el consiguiente detrimento económico para el productor y para quienes almacenan los granos. Es por ende, imperativo desarrollar métodos alternativos para el medio rural y controlar los insectos en granos almacenados; métodos que sean económicamente viables y ecológicamente inocuos, en este sentido, el almacenamiento hermético, se constituye como un método alternativo; pudiendo usarse desde unos pocos kilos, hasta volúmenes de muchas toneladas que sirvan a los agricultores que tienen la necesidad de almacenar los granos que producen y que les sirven para su alimentación, así como para vender sus excedentes y tener acceso a otros bienes para su bienestar (Moreno *et al.*, 2000).

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del contenido de humedad del grano de frijol almacenado herméticamente, sobre el desarrollo de *Zabrotes subfasciatus* (Boh).

2.2. Objetivos particulares

- Determinar el contenido de humedad del grano de frijol bajo condiciones de almacenamiento hermético que permita inhibir el desarrollo de *Z. subfasciatus*.
- Establecer los niveles de oxígeno y dióxido de carbono que generen una atmósfera letal para el desarrollo de *Z. subfasciatus*.
- Determinar el periodo de almacenamiento hermético para evitar el daño del frijol por los insectos.

2.3. Hipótesis

Tanto el contenido de humedad del grano de frijol como, el nivel de oxígeno de la atmósfera de almacenamiento, serán factores determinantes para evitar el desarrollo del insecto y por lo tanto para evitar el daño ocasionado al grano de frijol en un sistema de almacenamiento hermético.

2.4. Justificación

Aproximadamente 250 especies de insectos atacan a los granos así como a los productos y de estas especies, solo 20 son de importancia (Dell, Orton, 1985). Éstos pertenecen a pocas Ordenes siendo las principales: Coleóptera, Lepidóptera, Hymenóptera, Psocóptero y Díptera.

La principal plaga del frijol es el gorgojo; existen dos especies (La especie se refiere a individuos con morfología similar, con hábitos alimenticios comunes, y capaces de reproducirse entre sí, constituyendo la base de referencia para su identificación y denominación) en México, el gorgojo pinto o mexicano *Zabrotes subfasciatus* Boheman y el gorgojo pardo del frijol *Acanthoscelides obtectus* Say, que se alimentan exclusivamente de este grano. Se les considera una plaga primaria ya que atacan granos enteros, tanto en campo como en el almacén (Dell, Orto, 1985), principalmente en climas cálidos y templados, donde encuentran condiciones apropiadas para su desarrollo y reproducción causando severos daños al frijol almacenado (Aldana y Claves, 1985).

3. Marco teórico

3.1. Importancia del cultivo del frijol

Dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el frijol común es una de las más importantes debido a su amplia distribución en los 5 continentes y por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia principalmente en Centro y Suramérica. México ha sido aceptado como el más probable centro de origen, o al menos, como centro de diversificación primaria.

El cultivo del frijol es considerado uno de los más antiguos; hallazgos arqueológicos señalan su posible centro de origen en México y en Suramérica indican que era conocido por lo menos unos 5,000 años antes de la era cristiana (CIAT, 1988).

Debido al interés del hombre por esta leguminosa, las selecciones realizadas por culturas precolombinas originaron un gran número de formas diferentes, y en consecuencia diversas denominaciones comunes o nativas. Es así como el frijol se conoce con los nombres de Poroto, Alubia, Judía, Frixol, Ñuña, Habichuela, Vainita, Caraota y Feijao (CIAT, 1988).

La planta de frijol es anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, aunque es una especie termófila, es decir, que no soporta heladas; se cultiva esencialmente para obtener los granos, los cuales tienen un alto contenido de proteína, alrededor de un 22 % o más, este dato calculado con base en materia

seca. Los granos pueden ser consumidos tanto inmaduros como secos. También puede consumirse la vaina entera inmadura (CIAT, 1988).

Taxonomía

Desde el punto de vista taxonómico esta especie es el prototipo del genero *Phaseolus* y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Lineo en 1753. Pertenece a la tribu Phaseoleae de la subfamilia Papilionoideae dentro del orden Rosales (CIAT, 1988).

Orden: *Rosales*.

Familia: *Leguminosae*.

Subfamilia: *Papilionoideae*.

Tribu: *Phaseolae*.

Género: *Phaseolus*.

Especie: *Phaseolus vulgaris* L. (CIAT, 1988).

Se considera que en total existen alrededor de 150 especies, aunque en México estas solo son alrededor de 50, destacando las cuatro especies que el hombre ha domesticado, como son el *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común), *Phaseolus coccineus* L. (frijol ayocote), *Phaseolus lunatus* L. (frijol comba) y *Phaseolus acutifolius* Gray (frijol tepari). En nuestro país las especies más importantes en cuanto a superficie sembrada y producción son las dos primeras.

Las partes externas más importantes de la semilla son:

- La testa o cubierta, que corresponde a la capa secundaria del ovulo.
- El hilum, o cicatriz dejada por el funículo, el cual conecta la semilla con la placenta.
- El micrópilo que es una abertura en la cubierta o corteza de la semilla cerca del hilum. A través de esta abertura se realiza principalmente la absorción de agua.
- La rafe, proveniente de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del ovulo campilotropo (CIAT, 1984).

Internamente la semilla está constituida solamente por el embrión el cual está formado por la plúmula, las dos hojas primarias, el hipocotilo, los dos cotiledones y la radícula.

La semilla tiene una amplia variación de color (blanco, rojo, crema, negro, café, etc.), de forma y de brillo. La combinación de colores también es muy frecuente. Esta gran variabilidad de los caracteres externos de la semilla se tiene en cuenta para la clasificación de variedades de frijol como consecuencia de la gran diversidad genética que existe dentro de esta especie (CIAT, 1988).

3.1.1. El frijol en el contexto mundial

En 2008 los principales países productores fueron Brasil (que generó el 17 % de la producción mundial), India (15 %), Myanmar (11 %), China (8 %), Estados Unidos (6 %) y México (6 %). Los seis países concentraron el 56 % de toda la producción en dicho

año, sin embargo su participación cambió respecto a 1990 cuando generaron el 63 % (Capillo, 2011).

El volumen total de exportaciones de frijol en el mundo asciende a 3.3 millones de toneladas lo que representa el 14.4 % de la producción. El 78 % de las exportaciones provienen de cinco países: China (29 %), Myanmar (20 %), EEUU (13 %), Canadá (9 %) y Argentina (7 %). México, Brasil e India que figuran entre los principales productores, están ubicados respectivamente en las posiciones 19°, 45° y 58° en la lista de mayores exportadores.

Desde el 2002 el precio de las exportaciones de frijol ha sido superior al mostrado por las importaciones. Desde 1998 la tonelada en el mercado internacional se ha pagado a un precio mayor que en el mercado nacional, y en los últimos tres años el precio del frijol importado ha sido más barato que el producido en México (Capillo, 2011).

3.1.2. Importancia del frijol en el sector agropecuario nacional

El frijol es definido en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable de México (LDRS, 2001) como un producto básico y estratégico para el desarrollo rural del país que se siembra en todas las regiones agrícolas.

Zacatecas es la principal entidad productora de frijol, con una participación del 25 %, seguida de Sinaloa con el 16 %, Durango con 13 %, Chihuahua con 11 % y Nayarit 7 %. Estas entidades ubicadas en el norte – occidente del país generan un volumen de

producción de 760 mil toneladas de frijol lo que representa el 73 % del total nacional. Chiapas es la única entidad del sur – sureste con una importante participación en la producción de frijol del 7 % (Capillo, 2011).

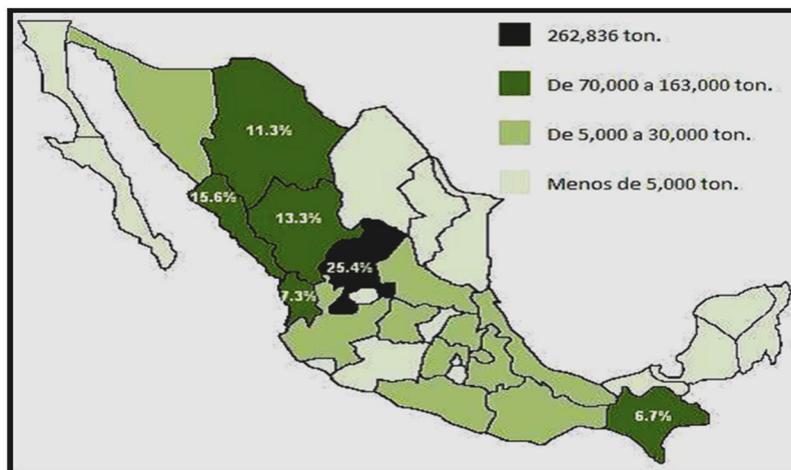


Figura 1. Participación estatal en la producción nacional de frijol.

En nuestro país se cultivan principalmente las variedades claras y negras de frijol, las primeras ocupan el 67 % de la producción y las segundas el 30 %. El restante 2 % se refiere a otras variedades o bien producción no clasificada.

Los principales estados productores de frijol claro son Sinaloa con el 23 %, Zacatecas con el 22 %, Chihuahua con el 17 % y Durango con el 15 %. Estas cuatro entidades suman 541.5 mil toneladas lo que representa el 77 % de la producción de frijol claro. Los estados de Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, ubicados en el sur – sureste, no producen en absoluto frijol claro (Capillo, 2011).

Zacatecas produce más de la tercera parte del volumen de frijol negro. En segundo lugar se encuentra Chiapas con el 17 %, Nayarit con el 13 %, Oaxaca con el 7 %, Durango con el 6.8 % y Veracruz con el 6 %. Estas entidades concentran el 84 % del

total. El frijol negro no se cultiva en la región norte y noroeste y tampoco en Jalisco, Aguascalientes y Colima.

El 28 % de la producción de frijol es de la variedad Pinto nacional (claro) la cual se cultiva principalmente en Chihuahua y Durango. La segunda variedad más importante es el frijol negro San Luis, que representa el 10 % del total y que se cultiva prácticamente en su totalidad en Zacatecas. Otras variedades relevantes de frijol claro son el Azufrado, Mayocoba y Flor de Mayo.

El volumen del consumo nacional aparente (CNA), es decir, producción más importaciones menos exportaciones, ha oscilado entre 900 mil y 1.6 millones de toneladas en los últimos 10 años. A principios de la década pasada la participación de las importaciones en el consumo nacional era prácticamente inexistente. A partir de 2002 dicha participación aumentó hasta alcanzar un máximo de 10 % en 2009 (Capillo, 2011).

En términos absolutos el volumen de importaciones ha experimentado un incremento acelerado al pasar de 1.8 mil toneladas en 1998 a 95 mil en 2010. Esto es durante dicho período crecieron a una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 39.6 %.

En el caso de las exportaciones, éstas han sido menores, y a pesar de haber aumentado de 18.2 a 27.1 mil toneladas en un periodo de 10 años, no representan un componente importante en términos de la balanza comercial de frijol, debido a que representan el 2 % de la producción nacional (Capillo, 2011).

3.2 Almacenamiento de granos

Se utiliza el término de grano cuando se destinan para la alimentación humana y animal, o como materia prima para la industria.

La conservación y protección de los granos almacenados constituye una necesidad alimenticia social y económica. Desde que los seres humanos empezaron a acumular reservas de una manera organizada, particularmente las de tipo alimenticio, trataron de buscar los mejores medios para asegurar su subsistencia.

El almacenaje, que se considera una etapa final del proceso de producción, puede verse afectado por los siguientes factores:

- Condiciones adversas durante la cosecha.
- Ataque de plagas y enfermedades durante el cultivo.
- Permanencia innecesaria del producto en la planta tras la maduración fisiológica.
- Daños mecánicos en la cosecha, limpieza, transporte, clasificación y manejo del grano en general.
- Secado inadecuado o inoportuno.
- Almacenaje inadecuado.

Por lo tanto se hace necesario que durante el período de almacenaje, la conservación y la protección de los granos almacenados se realice de una manera segura, eficiente, técnicamente viable y económicamente factible

Independientemente del tipo de almacén o de recipiente que se utilice, el producto almacenado debe mantenerse fresco, seco y protegido de insectos, pájaros, hongos y roedores (Carballo y Hernández, 2007).

3.2.1. Tipos de almacenes

El principio de un buen almacenamiento y conservación de granos y semillas es el empleo de bodegas secas, limpias y libres de plagas; donde se almacenen granos o semillas secas, enteras, sanas y sin impurezas (Carballo y Hernández, 2007).

En México existen los almacenes rústicos, planos y modernos. Los dos primeros son estructuras que se utilizan para almacenar el grano o la semilla en cantidades y por periodo de tiempo relativamente corto, que puede ser desde unos cuantos meses hasta un año aproximadamente. Estos tipos de almacenes son los que tradicionalmente se utilizan en el medio rural.

Los almacenes modernos se utilizan cuando se almacenan grandes volúmenes; cuentan con instalaciones mecánicas que aseguran un adecuado manejo y una eficiente conservación de granos y semillas durante su almacenamiento, que por lo general, dura desde uno hasta varios años (Carballo y Hernández, 2007).

3.2.2. Métodos de almacenamiento de mayor uso en México

1. Almacenamiento en sacos

Este método consiste en conservar los granos, previamente secos y limpios, en sacos (de fibra vegetal o de materia plástica) y en apilar éstos ordenadamente en espacios convenientemente acondicionados.

En consecuencia, es económico y se adapta bien a las condiciones locales de transporte y de comercialización de los granos.

Existen varias maneras de realizar el almacenamiento de los granos en sacos. Pueden apilarse éstos al aire libre, protegidos con lonas, o bien en el interior de almacenes, hangares o depósitos.

En ciertos casos y sobre todo para las semillas, el almacenamiento de los granos en sacos se realiza en almacenes refrigerados (De Lucia y Assennato, 1993)

2. Almacenamiento a granel

Este método consiste en conservar los granos, sin embalaje alguno, en el interior de estructuras construidas con ese fin (graneros, silos).

Los tipos de construcción son bastante variados. Puede haber, en efecto, estructuras relativamente sencillas y de escasa capacidad para guardar los excedentes agrícolas en las zonas de producción, o bien instalaciones complejas de grandes dimensiones para el almacenamiento comercial o industrial de los productos.

En general, las estructuras de almacenamiento a granel pueden agruparse en dos categorías: los silos o graneros de pequeña capacidad para el almacenamiento en la granja y los silos de gran capacidad.

Estos últimos, muy utilizados en los países desarrollados, no están todavía muy difundidos en los países en desarrollo (De Lucia y Assennato, 1993)

3.2.3. Almacenamiento hermético.

Su principio básico radica en la eliminación del oxígeno y en el incremento del dióxido de carbono de la atmósfera que rodea a los hongos y los insectos aerobios del almacén (Banks, 1981). Los insectos mueren cuando el aire en el almacén contiene 3 % o menos de oxígeno y los hongos detienen su desarrollo cuando el nivel de oxígeno es de 1 % o menor (Moreno, Jiménez y Vázquez, 2000). Según (Bailey y Banks, 1980); la mayoría de los insectos de productos almacenados, mueren cuando la concentración de oxígeno llega a 2 % por volumen de aire intergranular. El tiempo en que tardan los insectos en morir bajo un almacenamiento hermético depende notablemente de la infestación, cantidad de granos, temperatura y tamaño del almacén.

El almacenar granos para satisfacer las necesidades de una gran concentración de población ha comprobado que el almacenamiento hermético es un método alternativo de preservación de granos siendo aplicable en volúmenes pequeños y grandes (Moreno, Jiménez y Vázquez, 2000).

El almacenamiento hermético ofrece una forma simple de guardar el grano en un estado libre de insectos por largos periodos, para reservas de carestía o estrategias de mercado, sin el uso de insecticidas químicos. Su uso para almacenamiento a corto plazo, y especialmente sus posibilidades para prevenir las infestaciones por insectos o controlarlos sin la necesidad de aplicar plaguicidas con residuos tóxicos parece no haber sido totalmente apreciado todavía (García, 2004).

1. Sacos de plástico

Son recipientes herméticos, fáciles de manejar, protegen al grano o semilla contra insectos y son apropiados para fumigar cantidades pequeñas de grano y semilla. Sus desventajas son que pueden romperse con facilidad, se destruyen por roedores y en ciertas regiones son costosos. La humedad del producto por almacenar debe ser inferior al 9 % (Carballo y Hernández, 2007).

2. Tambos metálicos

Es común su uso y funcionan muy bien como almacén, siempre y cuando la humedad del producto sea menor al 12 %. Estos actúan como barrera contra el ataque de insectos y roedores.

El problema de aplicar tecnología actual con el propósito del almacenaje hermético para la subsistencia de los pequeños productores recae en la necesidad de conseguir

un contenedor fácilmente sellable de bajo costo para una capacidad de 1 tonelada o menos (García, 2004).

Algunas de las precauciones que deben tomarse al usar tambos son:

- Si están oxidados, limpiarlos perfectamente y pintarlos previamente al almacenamiento.
- Al depositar el grano o la semilla, los tambos deben estar limpios, secos y sin agujeros; de existir algunos orificios, deben soldarse o taparse con cera.
- Agitar el tambo para que se llene completamente, sin dejar espacios vacíos.
- Cerrar los tambos herméticamente.
- No deben quedar expuestos al sol, para evitar cambios en la temperatura y humedad del producto almacenado (Carballo y Hernández, 2007).

En el medio rural este sistema de almacenamiento puede resolver el problema de acopio de granos básicos para el autoconsumo y para mantener la calidad de los granos que posteriormente podrían venderse a precios justos para el productor primario (García, 2004).

Por lo antes expuesto, se considera importante obtener información sobre las ventajas y limitaciones del sistema hermético de granos, con el fin de llegar a desarrollar tecnologías y métodos adecuados para el almacenamiento de los granos en el medio rural.

3.3. Proliferación de microorganismos e insectos en granos almacenados

Si bien hay otros factores que pueden ejercer influencia sobre la conservación de los granos, el contenido de humedad es el principal factor que influye en la calidad del producto almacenado. Para obtener un almacenamiento eficiente, los granos deben tener un bajo contenido de humedad, ya que los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos, insectos y ácaros (Arias, 1993).

La acción de la temperatura sobre la conservación de los alimentos es conocida universalmente. Los alimentos (y otros materiales biológicos) se conservan mejor en ambientes refrigerados que en altas temperaturas, sobre todo si su contenido de humedad es alto; este hecho se basa en el principio de que la mayoría de las reacciones químicas se aceleran con el aumento de la temperatura. Los granos con alto contenido de humedad, que son inadecuados para el almacenamiento convencional, pueden conservarse en refrigeración. Los granos almacenados tienen menor posibilidad de deterioro cuando están fríos. Las bajas temperaturas pueden compensar los efectos de un alto contenido de humedad y evitar el desarrollo de microorganismos, insectos y ácaros que atacan los granos almacenados (Arias, 1993).

3.3.1. Microorganismos

Los hongos son los principales microorganismos de la microflora presentes en los granos almacenados y constituyen la más importante causa de pérdidas y deterioro durante el almacenamiento. Prefieren ambientes o substratos con alto contenido de

humedad y son los agentes responsables por el gran aumento de la respiración de los granos húmedos. Por lo general, los hongos que atacan los granos se dividen en dos grupos el primero Hongos de campo y el segundo Hongos de almacenamiento (Arias, 1993).

1. Hongos de campo

Así son llamadas las especies que contaminan los granos antes de la cosecha, durante su desarrollo en la planta. Estos hongos necesitan para su desarrollo un alto contenido de humedad, es decir, granos en equilibrio con una humedad relativa de entre el 90 y el 100 por ciento. Las esporas de estos hongos pueden sobrevivir durante mucho tiempo en los granos húmedos; sin embargo, no germinan cuando el contenido de humedad está en equilibrio con humedades relativas inferiores al 75 % (Arias, 1993).

Los hongos de campo pueden provocar pérdida de la coloración natural y del brillo de los granos, con lo que se reduce el valor comercial del producto. En las semillas, además de reducir el poder germinativo y el vigor, pueden ocasionar putrefacción de las raíces y otras enfermedades de las plantas (Arias, 1993).

2. Hongos del almacenamiento

Estos hongos se desarrollan después de la cosecha, cuando el contenido de humedad de los granos está en equilibrio con una humedad relativa superior al 65 o 70 por

ciento. Los hongos que proliferan con mayor frecuencia en los granos almacenados son algunas especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*.

Las principales pérdidas ocasionadas por hongos en granos y cereales se deben a:

- Cambios bioquímicos
- Posible producción de toxinas
- Pérdida de la materia seca (hidratos de carbono, fibras, aceites y proteínas)

En silos y bodegas, los daños causados por los hongos del almacenamiento son mayores que los producidos por los hongos de campo (Arias, 1993).

3.3.2. Insectos

Los insectos son importantes agentes que causan daños a los granos tanto en el campo como durante el almacenamiento, reduciendo drásticamente su calidad. Si la población de insectos crece en forma desmesurada, además de reducir la calidad del grano, se produce un incremento de la temperatura y humedad de los granos, un aumento del contenido de dióxido de carbono y una reducción del contenido de oxígeno del medio ambiente (Arias, 1993).

El embrión puede sufrir diferentes grados de daño o hasta morir durante la alimentación de los insectos en su estado de adulto o larva, o durante la ovoposición. Si el embrión sobrevive, las reservas del endospermo pueden ser insuficientes para el desarrollo normal de la planta.

Los insectos son portadores de hongos que pueden debilitar o consumir los granos o atacar la planta que de ella se origina. Algunos insectos forman capullos y telas, que unen los granos, formando conglomerados que hacen más difíciles las operaciones de aireación y control fitosanitario. Los insectos de granos almacenados más perjudiciales son aquellos que se alimentan del embrión y que destruyen el poder germinativo de la semilla. Los insectos que viven en el interior de los granos se alimentan principalmente del endospermo, en cuyo caso el embrión no es afectado directamente, pero la reducción parcial o total de las reservas alimenticias hace que la semilla pierda su vigor y produzca una planta débil o incapaz de sobrevivir (Arias, 1993).

La infestación se origina tanto en el campo como en el almacén. Los insectos del almacenamiento comúnmente se encuentran presentes en almacenes, silos, trojes y depósitos en general, por lo que el grano puede infestarse fácilmente al ser almacenada cerca de productos ya infestados. Los daños causados por la infestación de campo pueden evitarse si se cosecha el grano tan pronto esté madura y se la somete a un secado y fumigación oportuna. La temperatura y la humedad son los principales factores que influyen en el desarrollo de los insectos (Arias, 1993).

Humedad

El contenido de humedad de los granos es un factor crítico para la supervivencia del insecto. Los insectos toman de los alimentos la humedad que requieren para sus procesos vitales. El aumento del contenido de humedad favorece la proliferación de los insectos; sin embargo, por sobre un cierto límite, el desarrollo de microorganismos

reducen el de los insectos. Los granos de cereales con humedad inferior al 10 por ciento inhiben la actividad de los insectos (Arias, 1993).

Temperatura

La mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados son de origen subtropical y tropical. En las regiones muy frías, los insectos alcanzan niveles de reproducción tan bajos que no llegan a caracterizarse como plagas. En los granos que se mantienen bajo los 17°C, el desarrollo de los insectos resulta insignificante. Los límites de temperatura para el desarrollo de la mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados varían entre 20 y 35°C (Arias, 1993).

Composición del aire intergranular

Aparte de la temperatura y del contenido de humedad de los granos, la composición del aire intergranular (relación oxígeno/gas carbónico) constituye un importante factor para el desarrollo de las poblaciones de insectos que infestan los granos almacenados. En bodegas y silos, la masa de granos forma un microclima que afecta la respiración de los granos y organismos asociados a ella por lo que la composición del aire intergranular puede resultar profundamente modificada (Arias, 1993).

3.3.3. Proceso Respiratorio de los Granos

Después de cosechados los granos continúan viviendo y como todos los organismos vivos, respiran. El proceso de la respiración se efectúa en todas las células vivas, para proporcionar la energía química requerida por el protoplasma para llevar a cabo las funciones metabólicas vitales en los organismos. Mediante la respiración se libera energía, debido a la oxidación bioquímica de los carbohidratos y de otros nutrimentos. En los organismos aerobios, el oxígeno es absorbido y algunos compuestos orgánicos, tales como los carbohidratos y las grasas, se oxidan, formándose entonces dióxido de carbono y agua como productos metabólicos de desecho (García, 2004).

La respiración bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno libre) es el proceso por medio del cual las células vivas de los vegetales oxidan los carbohidratos y las grasas, por medio del oxígeno atmosférico, produciendo gas carbónico (CO₂) y agua (H₂O) y liberando energía en forma de calor. La ecuación representa el proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas, $C_6H_{12}O_2 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O + CALOR$ (Arias, 1993).

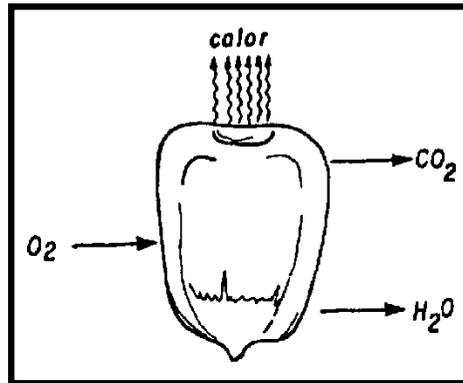


Figura 2. Proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas.

Factores que afectan la respiración de los granos

Según las reacciones presentadas, el proceso respiratorio va acompañado de una pérdida de sustancias nutritivas. Los principales factores que afectan la velocidad del proceso respiratorio son: la temperatura, el contenido de humedad de los granos, el desarrollo de los hongos y otros microorganismos, así como, la composición del aire ambiental.

Composición del aire ambiental

Aparte de la temperatura y del contenido de humedad que actúan sobre todos los procesos bioquímicos, la composición del aire ambiente del almacén (relación entre gas carbónico y oxígeno) también afecta el proceso respiratorio de la masa de granos. Cuanto mayor sea la proporción de CO_2 y menor la de oxígeno menor será la intensidad respiratoria de los granos almacenados en una bodega o silo (García, 2004).

Aire atmosférico

El aire atmosférico se compone de una mezcla de gases, vapor de agua y contaminantes, tales como humo, polvo y otros elementos gaseosos que no están presentes normalmente en lugares distantes de las fuentes de contaminación. Por definición, existe aire seco cuando se ha extraído todo el vapor de agua y los contaminantes del aire atmosférico. Mediante extensas mediciones se ha demostrado que la composición del aire seco es relativamente constante, si bien el tiempo, la ubicación geográfica y la altura determinan pequeñas variaciones en la cantidad de los componentes (García, 2004).

3.4. Principales plagas que atacan al grano de frijol almacenado

Diversas especies de insectos pueden atacar el frijol ya sea a la planta durante todo su periodo de desarrollo, o al grano una vez cosechado. En mucho de estos casos existe la posibilidad de que, una vez controlado el insecto la planta se recupere. Pero cuando los insectos atacan el grano de frijol almacenado, no hay recuperación posible y el daño es irremediable. Esta razón es por la cual es tan importante conocer y saber controlar los insectos que atacan el grano de frijol almacenado (CIAT ,1988).

Las pérdidas causadas por el ataque de los insectos al frijol almacenado pueden ser:

1. **De cantidad:** número de granos o porciones de ellos consumidos directamente por los insectos.

2. **De calidad:** granos contaminados de excrementos o de cuerpos de los mismos insecto (CIAT ,1988).

Estas perdidas, tanto en la calidad como en la cantidad, pueden incrementarse debido al ataque secundario del microorganismo tales como hongos y bacterias.

El ciclo de vida de los géneros de insectos más importantes que infestan el grano de frijol es relativamente corto. El rango de temperatura mínimo para el desarrollo es de justo debajo de los 15°C y la temperatura máxima es entre 32.5°C y 35°C.

El desarrollo se inhibe tanto por humedades muy altas como muy bajas (Baur, 1983). El periodo de desarrollo de los insectos en los frijoles es el más corto cerca de 28 días a temperatura de 30°C y humedades relativas HR de 70-80 %. La fecundidad máxima es de cerca de 70 huevos por hembra a los 25°C y 70 % de humedad relativa.

Los gorgojos, cuyo estado larval se desarrolla del grano, causan elevación de la temperatura y la humedad debido a su respiración y metabolismo; esto favorece el desarrollo de pudriciones secundarias, pues los granos que alcanzan más del 17 % de humedad se constituyen un excelente medio para el desarrollo tanto de las larvas de bruchidos, como de hongos tales como *Aspergillus spp*, *Penicillum spp* y *Phomopsis spp*. El ataque de hongos y bacterias se previene cuando el frijol almacenado tiene una humedad del 14 % o menor (CIAT ,1988).

El deterioro del grano de frijol como consecuencia del ataque de estos insectos es muy frecuente y las pérdidas económicas, pueden llegar a ser considerables. Ya que el grano de frijol con daño causado por los bruchidos, es inaceptable en el mercado. Los granos están cubiertos de huevos y presentan muchas perforaciones que corresponden a la cámara de alimentación de los insectos (CIAT ,1988).

El número de especies de insectos que atacan el frijol almacenado es grande. Sin embargo, muchas de ellas provienen de otros productos como maíz, sorgo o arroz almacenados en la misma bodega y en general no alcanzan a producir pérdidas importantes al grano de frijol (CIAT ,1988).

Las dos especies principales, que mayor daño causan al frijol almacenado son *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) y *Acanthoscelides obtectus* (Say), ambas pertenecientes al orden Coleóptera y a la familia *Bruchidae*. Estas dos especies se originaron probablemente en Sur América y están ampliamente distribuidas desde Chile hasta los Estados Unidos. Los nombres comunes de los Bruchidos en Latinoamérica incluyen gorgojo, gorgojo pintado, gorgojo común del frijol, caruncho y gorgulho de feijao (CIAT ,1988).

I. *Acanthoscelides obtectus* (Say)

Conocido como gorgojo del frijol y gorgojo común del frijol, ha sido descrito bajo otros nombres tales como: *Bruchus obtectus*, *Mylabris obtectus* y *Laria oblecta*. Su nombre correcto es *Acanthoscelides obtectus*.

Esta especie puede causar daños al grano de frijol tanto en los sitios de almacenamiento como en el campo, ya que las hembras ovipositan en las grietas de las vainas, o en los espacios libres entre los granos almacenados. Por esta razón los granos dañados por *Acanthoscelides* no presentan posturas adheridas a la testa (CIAT ,1988).

II. *Zabrotes subfasciatus* (Boheman)

Conocido como gorgojo pinto del frijol y también como el gorgojo del frijol mexicano, ha sido descrito anteriormente bajo diferentes nombres: *Zabrotes pectoralis*, *Zabrotes dorsopictus subfasciatus* y *Spermophagus pectoralis*. Su nombre correcto es *Zabrotes subfasciatus*.

El gorgojo mexicano o pinto del frijol *Z. subfasciatus* es el principal problema fitosanitario del frijol almacenado en zonas menores a 1500 m de altitud (Ramayo, 1982). En el campo la hembra deposita sus huevos en las vainas y luego las larvas penetran en el grano para alimentarse y continuar su desarrollo. En la cosecha estos insectos son transportados al almacén, donde sus progenesis infestan granos sanos, ocasionando grandes daños si no se controla (CIAT ,1988).

3.4.1. Características del gorgojo mexicano del frijol *Zabrotes subfasciatus*

Taxonomía de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman).

Phyllum: *Artrópoda*.

Clase: *Insecta*.

Orden: *Coleóptera*.

Familia: *Bruchidae*.

Género: *Zabrotes*.

Especie: *Subfasciatus* (Boheman).

Nombre común: gorgojo pinto o gorgojo mexicano del frijol.

La hembra adulta de *Z. subfasciatus* es de color negro con manchas color crema y el macho es de color pardo sin manchas. Su longitud es de 2 a 3 mm.

La especie presenta dimorfismo sexual siendo las hembras más grandes que los machos (CIAT ,1988).



Figura 3. Adultos de *Z. subfasciatus*: hembra (arriba) y macho (abajo).

La hembra de *Z. subfasciatus*, después de acoplarse con el macho, pone huevos pegándolos sobre la testa el frijol. La larva sale del huevo y tiene que penetrar en el

grano, esto le cuesta unas 24 horas de trabajo. Después de penetrar en el frijol, se alimenta del cotiledón, forma una especie de cámara y procede a desarrollarse dentro de la semilla (CIAT ,1988).

Las larvas mudan cuatro veces antes de empupar, es decir, pasar por cuatro instares de desarrollo. Durante el ultimo instar, la larva realiza un corte circular en la testa, formando una “ventana” característica que permitirá luego al adulto abandonar la cámara pupal o de alimentación. El adulto recién desarrollado puede permanecer en la cámara durante varios días antes de empujar la “ventana” y abandonar el grano. Inmediatamente después de salir del grano realiza la copula e inicia su oviposición (CIAT ,1988).

En cuanto a su duración, el ciclo de vida se puede resumir así:

Z. subfasciatus:

- Duración del estado de huevo, 4-5 días.
- Duración del estado larval (4 instares), 14 días.
- Estado pupal, 5-6 días.
- Longevidad del adulto, 10-12 días.
- Oviposición promedio de la hembra, 35 huevos.



Figura 4. Ciclo Biológico de *Z. subfasciatus*.

En estudios realizados en Colombia la duración promedio de los estados inmaduros de *Zabrotes* fue de 23 a 25 días; en Brasil de 24 a 26 días. Los adultos vivieron entre 10 y 12 días (CIAT, 1988).

4. Materiales y Métodos

4.1. Ubicación del experimento

Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS), ubicado en el Centro de Asimilación Tecnológica (CAT) y Vinculación (Campo 3) de la FES Cuautitlán.

4.1.2. Material biológico

Población del gorgojo mexicano del frijol *Z. subfasciatus* obtenida del laboratorio de entomología de la UNIGRAS y Grano de frijol, variedad Mayacoba (peruano), producido en la entidad de Culiacán, Sinaloa, Ciclo Agrícola 2010 y adquirido en la Central de Abastos de la Ciudad de México.

Al hacer la recepción del grano se limpió manualmente con cribas quitando las impurezas (fragmentos del mismo producto) y materias extrañas (residuos vegetales y cuerpos extraños, como tierra, etc.) ya que son portadores de una gran cantidad de microorganismos y presentan condiciones que facilitan su deterioro. Las materias extrañas e impurezas, bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura del aire, presentan contenidos de humedad más altos que el producto.

El grano adquirido se homogenizó para que sea razonablemente uniforme en sus diferentes componentes (Moreno, 1996), siendo esto para todas las pruebas realizadas.

El grano de frijol variedad Mayocoba, se colocó durante 10 días a -4°C para eliminar posibles huevecillos y larvas de insectos.

4.2. Descripción y técnicas a aplicar

4.2.1. Ajuste de humedad a 8 %, 10 % y 12 %

Para ajustar los diferentes contenidos de humedad en el grano para su evaluación, así como para mantener constante la humedad del grano en los sistemas de almacenamiento hermético y abierto se prepararon tres soluciones sobresaturadas con diferentes sales (grado técnico) para obtener humedades relativas que se equilibren con el contenido de humedad del grano a 8 %, 10 % y 12 % (Arias, 1993). El cuadro 1, muestra el tipo de sal requerido para cada contenido de humedad.

Cuadro 1. Sales para ajustar el contenido de humedad del grano de frijol.

Contenido de humedad	Sal	Peso de la sal	Litros de agua destilada
8 %	Cloruro de calcio	1 kg	900 mL
10 %	Carbonato de potasio	1.1 kg	1000 mL
12 %	Bromuro de sodio	1 kg	900 mL

Winston y Bates, 1960.

Después de preparar las sales se mantuvieron en una incubadora a 25°C, hasta que el grano llegó a una humedad constante. En los recipientes con las soluciones saturadas se utilizaron termo higrómetros digitales para conocer la humedad relativa a la cual alcanzó el equilibrio con el contenido de humedad del grano y permanecieron a una

humedad constante. Los tres contenidos de humedad del grano llegaron al equilibrio entre los días 18 y 20 de exposición con las sales. La humedad del grano de 8 % se obtuvo con la solución saturada de cloruro de calcio en equilibrio con una humedad relativa de 22 % el contenido de humedad de 10 % en equilibrio con la sal saturada carbonato de potasio a una humedad relativa de 46 % y el contenido de humedad 12 % se obtuvo entre el equilibrio de la sal bromuro de sodio y la humedad relativa de 59 %.

4.2.2. Propagación de los insectos

Para disponer de gorgojos suficientes para llevar a cabo el experimento se propagó la población de *Z. subfasciatus* en el laboratorio de entomología de la UNIGRAS siguiendo las recomendaciones del CIAT. 1988, como se describe a continuación.

La variedad de frijol Mayacoba (peruano), se infestó con la especie en estudio, colocando en cuatro frascos de vidrio de 4 L, 2.5 kg de frijol y 700 insectos en cada frasco, estos frascos se colocaron en la cámara de cría a $28^{\circ}\text{C} \pm 2$ con 75 % de humedad relativa y un fotoperiodo de 12 horas luz. El tiempo para determinar la experimentación está fundamentada en el ciclo de vida de los insectos, que fue: estados inmaduros (huevo, larva y pupa) de 23 a 25 días, la longevidad del adulto es de 10 a 12 días (CIAT, 1988).

4.3. Establecimiento del experimento

Se utilizaron frascos de vidrio de 250 mL, como unidad experimental, se les colocaron 150 g de frijol y 20 insectos de *Zabrotes subfasciatus* sexuados con una relación 1:1 estableciendo para cada contenido de humedad (8, 10 y 12 %) con tres repeticiones, tanto en el sistema de almacenamiento hermético como para el sistema de almacenamiento abierto, con un diseño experimental. Se realizaron 7 muestreos uno cada 5 días teniendo 18 muestras por los dos sistemas de almacenamiento, completando un total 126 unidades experimentales.

Los insectos de *Zabrotes subfasciatus* colocados en cada unidad experimental fueron con menos de 24 horas de haber emergido, para homogeneidad de la edad de los insectos, se logro retirando los insectos que emergieron durante los primeros 5 días, para utilizar solo los insectos que emergieron al siguiente día y evitar efectos por la diferencia de edades.

Durante la etapa de experimentación se colocaron los dos sistemas de almacenamiento en la cámara de cría con una temperatura de $28^{\circ}\text{C} \pm 2$, una humedad relativa de 75 % y un fotoperiodo de 12 horas luz.

En el caso del sistema de almacenamiento hermético se sellaron los frascos para evitar intercambio de gases con el exterior. Primero se sello la boca del frasco con parafilm, después se colocó papel aluminio, posteriormente se colocó la tapa a la cual se le insertó al centro un tapón de hule para realizar las mediciones de gases de oxígeno y

dióxido de carbono, finalmente se sometió a cuatro baños de cera caliente para asegurar el hermetismo.

4.3.1 Cuantificación de O₂ y CO₂ en la atmosfera del almacenamiento hermético

En el sistema de almacenamiento hermético de cada muestreo se determinó la concentración de oxígeno y de dióxido de carbono usando el analizador digital de gases de aire Illinois[®] modelo 6600. Se calibra automáticamente, tomando como patrón el contenido de oxígeno 20.9 % y dióxido de carbono 0.03 % contenidos normales del aire.

En 15 segundos el analizador de gases toma una muestra de 38 mL de aire, el frasco vacío tiene 275 mL de capacidad, los 150 g. de grano de frijol ocupan 110 mL, dejando la parte de aire arriba y los espacios inter-granulares con 165 mL, la cual es suficiente cantidad para tomar la muestra de la atmosfera de cada unidad experimental. El oxígeno y el dióxido de carbono fueron las primeras variables determinadas en cada una de las 3 repeticiones por cada contenido de humedad y cada periodo de muestreo.



Figura 5. Analizador digital de gases de aire Illinois[®] modelo 6600.

4.3.2 Mortalidad

Después de determinar el contenido de oxígeno y de dióxido de carbono en el sistema de almacenamiento hermético; para los dos sistemas de almacenamiento, se abrieron los frascos para cuantificar la mortalidad de los insectos, tamizando el grano para separar los insectos vivos y muertos. (A las unidades experimentales del sistema de almacenamiento hermético se les cambio la tapa por una con malla para permitir el paso de aire y evitar la salida de los insectos que posteriormente se desarrollaron) se regreso el grano libre de insectos (vivos y muertos) pero ovipositado al frasco de la unidad experimental correspondiente se les colocó nuevamente en la cámara de cría con condiciones optimas para el desarrollo de la nueva generación (F1).

4.3.3 Determinación del Contenido de humedad

La medición de humedad debe ser exacta, ya que el contenido de humedad de los granos es muy importante para mantener la calidad del producto almacenado. Esta determinación presenta también una gran importancia desde el punto de vista comercial, ya que el precio varía en función de la humedad del grano.

Se utilizó el método directo de la estufa por ser el de mayor precisión, el contenido de humedad se determinó en base húmeda; éste método tiene la desventaja de ser tardado ya que su funcionamiento es a base de corrientes de aire caliente que van eliminando la humedad de los granos durante un tiempo determinado para cada especie de grano.

Para determinar el contenido de humedad de los granos se somete a secado una muestra de granos de peso conocido al secado y se calcula el porcentaje de humedad a través del peso que se pierde durante el proceso. Para obtener el porcentaje de humedad se divide la pérdida de peso de la muestra entre el peso original de ella y el resultado se multiplica por 100 (Moreno 1996).

$$\text{Contenido de humedad (en \%)} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

P_i = peso de la muestra antes del secado

P_f = peso de la muestra después del secado

Para la determinación de humedad en los granos y semillas se basa en las reglas internacionales aprobadas por el ISTA (International Seed Testing Association 1999).

En este método se recomienda el secado de granos de frijol a 103°C ± 2°C por un período de 48 horas (Arias, 1993 y Moreno, 1996).

Para determinar el contenido de humedad por medio de estufa se pesan cajas de aluminio previamente lavadas y secadas en estufa hasta peso constante, eliminándose toda la humedad, se les colocan entre 4 y 6 g de grano de la muestra por duplicado y se toma el peso del grano con la caja, se colocan en la estufa previamente calibrada a 103°C, durante 48 horas, transcurrido el tiempo se sacan las cajas y se colocan en un desecador para bajar la temperatura y evitar que adquieran humedad del medio ambiente, posteriormente se toma el peso de las cajas con los granos secos y se aplica la fórmula.

4.3.4. Emergencia

La emergencia de los insectos se refiere al inicio de otra generación la F1, obtenida de la eclosión de huevecillos y desarrollo de las larvas de la población inicial (20 insectos). Se cuantificó después de 35 días del inicio del experimento pero no más de este tiempo para evitar un posible traslape de generaciones. Esta emergencia de insectos fue de la oviposición de los insectos colocados al momento de iniciar el experimento y para cada muestreo los insectos tuvieron diferente tiempo para ovipositar los granos.

4.3.5. Porcentaje de grano dañado

El porcentaje de grano dañado se cuantificó de la totalidad del grano de la unidad experimental. Separando manualmente granos sanos y dañados; considerando dañados a los granos con perforaciones o con presencia de “ventana” (cavidad pupal) marcada por las larvas al emerger el insecto empuja la ventana que deja una perforación en la testa del grano. Este daño físico se nota a simple vista, el cual tiene impacto económico en la comercialización, ya que no es aceptable para el consumo humano, por la pérdida de peso como por la contaminación de cuerpos, excretas y bajo contenido nutricional por disminución o ausencia del germen.

4.3.6. Daño interno

El daño interno por la larva no es visible a simple vista ya que el orificio de daño inicial al entrar la larva es de un poco más de 0.2 mm, (Ramírez, 1981), por lo que se

tomaron radiografías (Rayos X) para observar una posible invasión por *Zabrotes subfasciatus*. La radiografía para detectar el daño interno fue realizada, sólo al sistema de almacenamiento hermético, para esto se tomó una muestra de 30 granos sin daño aparente (esto es sin presencia de cavidad pupal y/o ventana visible) de cada contenido de humedad y muestreos con tres repeticiones. En la figura 9. Se observa en las columnas los contenidos de humedad con sus tres repeticiones.

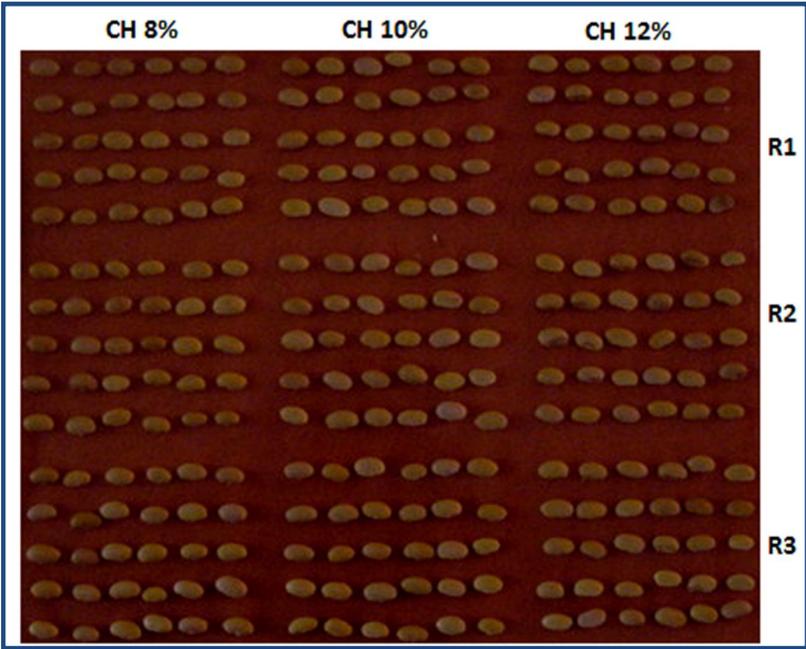


Figura 6. Colocación de semillas para radiografías.

5. Diseño experimental

Durante el experimento se evaluaron dos sistemas de almacenamiento; hermético y abierto con tres contenidos de humedad del grano 8, 10 y 12 % y siete muestreos con intervalos de cinco días cada uno, hasta llegar a 35 días, con tres repeticiones.

El experimento fue conducido bajo un diseño experimental completamente al azar. Después de realizar la prueba de distribución normal ($\sim N$) de los datos, con el procedimiento UNIVARIANTE NORMAL con la prueba de Anderson-Darling y la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett (SAS Institute, 2002), se concluyó que los datos no provienen de una distribución normal y tampoco tienen homogeneidad de varianzas; por lo tanto no se cumple con los supuestos para realizar un análisis de varianza paramétrico. Así que se realizó una prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis usando el procedimiento NPAR1WAY con la prueba de Wilcoxon. (Zar, 1999).

En las variables donde resultaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) se realizó la prueba de comparación de medidas por medio de Tukey con $\alpha = 0.05$, los análisis fueron realizados en el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

5.1. Variables de estudio.

- a) Variables dependientes: Mortalidad de insectos, emergencia de insectos, grano dañado, daño interno. En el caso del sistema de almacenamiento hermético las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.

- b) Variables independientes: contenido de humedad, periodo de almacenamiento y sistemas de almacenamiento.

6. Resultados y Discusión

En los (Cuadros 2, 3, 4, 5, 6 y 7) se muestran los promedios de las tres repeticiones de los datos originales, con la comparación de medias de los datos categorizados (ranked) que el procedimiento NPAR1WAY del programa estadístico SAS utiliza para realizar el análisis de varianza no-paramétrico.

6.1. Contenido de humedad del grano

Para mantener constantes los contenidos de humedad durante el tiempo de experimentación, se utilizaron cámaras sobresaturadas con sales como se menciona en materiales y métodos. Los granos al tener la característica de ganar o ceder humedad dependiendo de la humedad relativa presente en el ambiente (higroscopicidad), tienden a equilibrar su contenido de humedad con respecto a la humedad relativa presente en el ambiente, lo antes mencionado permitió que no existieran cambios significativos en los contenidos de humedad de los diferentes tratamientos utilizados durante el tiempo de este experimento, al mantener los granos en sus respectivas humedades relativas, con respecto a los contenidos de humedad del grano que se definieron para este experimento.

Las humedades relativas se mantuvieron constantes en cada solución sobresaturada con 22, 46 y 59 % para los contenidos de humedad de 8, 10 y 12 %, respectivamente, durante el tiempo de experimentación de este trabajo, tanto en el sistema de almacenamiento hermético como en el sistema de almacenamiento abierto; ya que al

mantener una HR constante en el grano almacenado, está se equilibró con el CH del grano como lo menciona Moreno, (1996).

6.2. Consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono

El análisis estadístico No-paramétrico mostro diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), entre los sistemas de almacenamiento, así como en relación a los contenidos de humedad y tiempos de evaluación durante los 35 días de almacenamiento.

El nivel de oxígeno y de dióxido de carbono son los parámetros principales del almacenamiento hermético. El consumo de oxígeno fue realizado principalmente por los insectos presentes en las unidades experimentales, ya que por medio de su respiración consumen el oxígeno presente en el ambiente del sistema de almacenamiento hermético. El incremento de dióxido de carbono se debe principalmente a la cantidad de insectos dentro de las unidades experimentales, este aumento es debido al metabolismo de los insectos al respirar. Si bien, los granos también consumen oxígeno y por medio de su metabolismo producen dióxido de carbono, estas cantidades son mínimas en comparación con las cantidades consumidas y producidas por *Z. subfasciatus*, y en poco tiempo no llegan a aumentar o disminuir los niveles de estos gases significativamente. En las unidades experimentales del sistema de almacenamiento hermético, al transcurrir los días se presentó una disminución en la concentración de oxígeno y tomando en cuenta que el nivel de oxígeno en el aire es de 20.9 % y que fue con este nivel como se inicio el experimento en el día cero y que la disminución de este gas, durante el tiempo de almacenamiento se hizo notoria a partir

del quinto día, se menciona lo siguiente: El oxígeno en el contenido de humedad de 8 % a los 5 días de almacenamiento, fue de 11.70 %, Cuadro 2 observándose una disminución del 55.98 % en relación a la concentración inicial de oxígeno; para el contenido de humedad de 10 % la lectura de oxígeno fue de 9.87 %, Cuadro 2 en este caso la disminución del oxígeno fue del 47.22 % y para el contenido de humedad de 12 % el nivel de oxígeno fue de 12.03 % con un 57.55 % de disminución del oxígeno con relación a la concentración inicial. Para los tres contenidos de humedad estas disminuciones fueron debido al consumo del oxígeno por la respiración de los insectos a través de los 5 días Cuadro 2.

Cuadro 2. Consumo de oxígeno durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con *Zabrotes subfasciatus* en tres contenidos de humedad.

Sistema de Almacenamiento	CH (%)	Tiempo de almacenamiento (días)						
		5	10	15	20	25	30	35
Hermético	8	11.70b ¹	10.19b ²	10.07b ²	8.91b ³	8.90b ³	7.41b ^{3,4}	6.27c ⁴
	10	9.87c ¹	8.47c ^{1,2}	8.44c ^{1,2}	7.50c ²	4.56c ³	7.71b ²	7.10b ^{2,3}
	12	12.03b ¹	7.61c ^{1,2}	4.39d ^{2,3}	3.41d ^{3,4}	4.08c ^{3,4}	3.85c ^{3,4}	3.03d ⁴
Abierto	8	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹
	10	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹
	12	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹	20.90a ¹

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Los contenidos de oxígeno finales a los 35 días de almacenamiento, son una indicación muy clara que señala la actividad del insecto a través del periodo de almacenamiento. El contenido de humedad de 8 %, al final tuvo un contenido de oxígeno de 6.27 %; el

contenido de humedad de 10 % tuvo un contenido de oxígeno de 7.10 % y el contenido de humedad de 12 %, tuvo un contenido de oxígeno de 3.03 %.

Con respecto a los niveles de oxígeno en el sistema de almacenamiento abierto, como se esperaba no se presentó ningún cambio debido a que los niveles de oxígeno fueron los mismos que contiene el aire atmosférico como se observa en el Cuadro 2.

En el sistema de almacenamiento hermético, al transcurrir los primeros días se presentó un incremento en la concentración de dióxido de carbono y tomando en cuenta que el nivel de este en el aire es de 0.03 %, nivel con el que se inició el experimento en el día cero, el aumento de este gas fue considerable ya que a los 5 días fue de 4.83, 5.83 y 4.30 %, con los contenidos de humedad 8, 10 y 12 % respectivamente. Cuadro 3. Este comportamiento del dióxido de carbono se debe al metabolismo de los insectos por el proceso de respiración. Los niveles de dióxido de carbono aumentaron a través de los periodos de almacenamiento hasta niveles de 7.52 %, en el contenido de humedad de 8 %, a los 30 días, para el contenido de humedad del 10 % fue de 8.13 % a los 25 días y en el contenido de humedad de 12 % fue de 9.03 a los 15 días de almacenamiento, Cuadro 3.

Con respecto a los niveles de dióxido de carbono en el sistema de almacenamiento abierto al igual que con el oxígeno, como se esperaba no se presentó ningún cambio debido a que los niveles de dióxido de carbono fueron los mismos que contiene el aire atmosférico como se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Producción de dióxido de carbono durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con *Zabrotes subfasciatus* en tres contenidos de humedad.

Sistema de Almacenamiento	CH (%)	Tiempo de almacenamiento (días)						
		5	10	15	20	25	30	35
Hermético	8	4.83b ⁴	6.47b ^{2,3}	6.93b ^{1,2}	5.77b ^{3,4}	5.80b ^{3,4}	7.52b ¹	7.50b ¹
	10	5.83a ⁴	7.13ab ^{2,3,4}	8.93a ¹	6.32b ⁴	8.13a ^{1,2}	6.47b ^{3,4}	7.73b ^{1,2,3}
	12	4.30c ³	7.33a ²	9.03a ¹	7.93a ⁴	7.17a ^{2,3}	8.80a ¹	8.90a ¹
Abierto	8	0.03d ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03d ¹	0.03c ¹
	10	0.03d ¹	0.03d ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03d ¹	0.03c ¹
	12	0.03d ¹	0.03d ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03c ¹	0.03d ¹	0.03c ¹

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Con lo antes mencionado, se puede decir que el mayor consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono fue durante el periodo que los insectos permanecieron activos, ya que si bien el grano también consume oxígeno y produce dióxido de carbono lo hace en niveles muy bajos. Como se puede observar en el (Cuadro 2), a partir de los 10 días en el sistema de almacenamiento hermético los niveles de oxígeno en los contenido de humedad de 8 y 10 % no sufren grandes modificaciones, con respecto al contenido inicial; para el contenido de humedad de 12 %, los cambios son mínimos a partir de los 15 días, lo anterior concuerda con los porcentajes de mortalidad basados en los tiempos de vida del insecto, como se mostrara más adelante. Los resultados aquí presentados concuerdan con lo mencionado por (Banks, 1981); (García, 2004); y (Ceballos, 2008); donde señalan que el principio básico del almacenamiento hermético radica en la eliminación del oxígeno y

en el incremento del dióxido de carbono, resultando con esto que se genere una atmosfera letal para la sobrevivencia de los insectos tanto para adultos como para sus estados larvales.

6.3 Mortalidad de *Zabrotes subfasciatus*

El tiempo de vida de los insectos adultos colocados en las unidades experimentales, fue evaluado como el porcentaje de mortalidad, registrado en cada uno de los muestreos realizados. La mortalidad a los 5 días en el sistema de almacenamiento hermético para los tres contenido de humedad de 8, 10 y 12 % fue de 53, 50 y 36 % respectivamente y a los 10 días de almacenamiento para los contenido de humedad de 8 y 10 % se alcanzó el 100 % y para el contenido de humedad de 12 % a los 10 d fue de 95 % de mortalidad Cuadro 4. A partir de los 15 días la mortalidad fue del 100 % para los tres contenidos de humedad, hasta el final del tiempo para el sistema de almacenamiento hermético. La mortalidad en el sistema de almacenamiento abierto a los 5 días para los tres contenidos de humedad de 8, 10 y 12 % fue de 24, 22 y 3 % respectivamente, a los 10 días de almacenamiento abierto en los contenidos de humedad de 8, 10 y 12 % fue de 83, 80 y 71 % respectivamente. A partir de los 15 días en los tres contenido de humedad se alcanzó el 100 % de mortalidad de *Z. subfasciatus* Cuadro 4.

Cuando se alcanzó el 100 % de mortalidad a los 10 días para 8 y 10 % de contenido de humedad en el sistema de almacenamiento, los niveles de oxígeno fueron de 10.19 y 8.47 %, respectivamente y los niveles de dióxido de carbono fueron de 6.47 y 7.13 %, respectivamente. A los 15 días cuando la mortalidad fue del 100 %, para el contenido

de humedad de 12 %, los niveles fueron de 4.39 y 9.03 % de oxígeno y dióxido de carbono, respectivamente (Cuadros 2 y 3). Como se puede observar en los resultados de mortalidad, la humedad tiene influencia muy importante sobre los insectos, ya que si bien existen condiciones no favorables de oxígeno y de dióxido de carbono en los tres contenido de humedad, los insectos adultos mueren en menor tiempo cuando los contenido de humedad son más bajos que cuando el contenido de humedad es mayor a 12 %, lo anterior se observa claramente a los 10 días en el sistema de almacenamiento hermético, donde todavía existen insectos vivos y no así en los contenido de humedad de 8 y 10 %, y a los 5 días en el sistema de almacenamiento abierto donde solo se obtuvo el 3 % de mortalidad en comparación a 24 y 22 % para los contenido de humedad de 8 y 10 %, respectivamente.

Cuadro 4. Porcentaje de mortalidad durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con *Z. subfasciatus* en tres contenidos de humedad.

Sistema de Almacenamiento	CH (%)	Tiempo de almacenamiento (días)						
		5	10	15	20	25	30	35
Hermético	8	53a ²	100a ¹	100a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹
	10	50a ²	100a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹
	12	36a,b ³	95a,b ²	100 a ¹				
Abierto	8	24b ³	83b,c ²	100 a ¹				
	10	22b ³	80c ²	100 a ¹				
	12	3c ³	71c ²	100 a ¹	100 a ¹	100 a ¹	100a ¹	100 a ¹

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Lo anterior no concuerda con lo mencionado por (Moreno, Jiménez, Vázquez 2000); donde menciona que los insectos mueren cuando el aire en el almacén contiene 3 % o menos de oxígeno y por (Bailey y Banks, 1980); quienes mencionan que la mayoría de los insectos de productos almacenados, mueren cuando la concentración de oxígeno llega a 2 % por volumen de aire intergranular.

En cambio en esta investigación la muerte de los insectos ocurre en contenidos de oxígeno del 10.19 % en un contenido de humedad del grano de frijol de 8 %. Por otra parte, se observó que el grano de frijol con un contenido de humedad del 10 % la mortalidad del 100 % se alcanzó con un contenido de oxígeno de 8.47 %.

Las anteriores aseveraciones tienen que ver con que en estos trabajos utilizaron *Sitophilus zeamais* Motschulsky, que es un insecto que tiene un mayor tamaño y longevidad y a su vez consume mayor cantidad de oxígeno. Por otro lado los resultados de este estudio concuerdan con lo mencionado por; (García, 2004); y (Ceballos, 2008); quienes mencionan que *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* mueren cuando los niveles de oxígeno son mayores a 3 %, pero combinado con altos niveles de dióxido de carbono, los cuales tienen efectos sinérgicos para generar una atmósfera desfavorable para la sobrevivencia y desarrollo de estos insectos.

Para el caso del sistema de almacenamiento abierto la mortalidad total fue a los 15 días para los tres contenidos de humedad del 100 % Cuadro 4, lo anterior corresponde al ciclo de vida de *Z. subfasciatus*, el cual es corto al igual que el bruquido *A. obtectus*.

6.4. Emergencia de la F₁ de *Zabrotes subfasciatus*

Después de registrar la mortalidad de los insectos y tomar las muestras para medir el contenido de humedad en cada muestreo; el resto del grano infestado de las unidades experimentales fue colocado en la cámara de cría por 35 días, a 28 °C ± 2 con 75 % de humedad relativa y un fotoperiodo de 12 horas luz, para permitir a los huevecillos eclosionar y a las larvas desarrollarse que son las que causan el daño interno en el grano, y así poder cuantificar la emergencia de la F₁.

El número de insectos emergidos de la F₁ de *Z. subfasciatus* en las unidades experimentales durante el periodo de almacenamiento hermético para los tres contenidos de humedad a los 5 días fue de 21, 42 y 73 insectos para 8, 10 y 12 % respectivamente Cuadro 5. La emergencia se fue incrementando hasta los 15 días de almacenamiento, siendo en este muestreo donde se alcanzó el mayor número de insectos emergidos, llegando hasta 29, 102 y 140 insectos en los contenidos de humedad de 8, 10 y 12 %, respectivamente. A partir de los 20 días de almacenamiento la emergencia fue cayendo hasta llegar a 0 insectos emergidos para el contenido de humedad de 8 % fue a los 25 días, con el contenido de humedad de 10 % la emergencia fue 0 a los 30 días y para el contenido de humedad de 12 % la emergencia fue 0 a los 35 días Cuadro 5.

Como se esperaba, en el sistema de almacenamiento abierto el número de insectos se incrementó a través de los días del experimento, en el contenido de humedad del 8 % se obtuvo la menor emergencia, con 37 insectos a los 5 días y el mayor número de

insectos emergidos con 213 a los 35 días. Para el contenido de humedad de 10 % se obtuvo una emergencia de 66 hasta 264 insectos a los 5 y 35 días, respectivamente. En el contenido de humedad de 12 % se obtuvieron emergencias desde 84 a 221 a los 5 y 35 días, respectivamente Cuadro 5.

Cuadro 5. Numero de insectos emergidos durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con *Zabrotes subfasciatus* en tres contenidos de humedad.

Sistema de Almacenamiento	CH (%)	Periodo de almacenamiento (días)						
		5	10	15	20	25	30	35
Hermético	8	21d ^{1,2}	25d ²	29b ¹	2e ³	0d ⁴	0d ⁴	0c ⁴
	10	42c ²	49c,d ²	102a,b ¹	25d ³	3c ⁴	0d ⁵	0c ⁵
	12	73a,b ³	80b,c ^{2,3}	140a ¹	99c ^{1,2}	9c ⁴	2c ^{4,5}	0c ⁵
Abierto	8	37c ³	126a ²	133a ¹	141b ²	194b ¹	199b ¹	213b ¹
	10	66b ⁵	126 ^{a4,5}	157a ^{3,4}	193a ^{2,3}	205b ²	203b ²	264a ¹
	12	84a ⁴	115a ^{3,b4}	132a ³	146b ³	275a ¹	273a ¹	221b ²

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Una vez más con estos resultados se observa la importancia del contenido de humedad del grano, en este caso para la emergencia de los insectos, ya que como se presenta en el Cuadro 5, el mayor número de insectos emergidos se da en los contenido de humedad más altos y por el contrario el menor número en la emergencia de los insectos se da en los contenido de humedad más bajos. Lo anterior se refuerza con lo dicho por (Calderón y Navarro, 1980); donde mencionan que el contenido de humedad de humedad bajo en los granos realiza un efecto deshidratador sobre los estados

inmaduros de los insectos, ya que estos utilizan la humedad contenida en los granos de los que se alimentan para completar sus procesos vitales.

Por otro lado los bajos niveles de oxígeno y altos niveles de dióxido de carbono en el sistema de almacenamiento hermético no permitieron la proliferación de los insectos ya que el número de estos fue menor en el sistema de almacenamiento hermético, comparado con el sistema de almacenamiento abierto. La emergencia se redujo a 0 insectos a los 25 días en las muestras almacenadas con un contenido de humedad de 8 %, el grano con contenido de humedad de 10 % ya no presentó emergencia a los 30 días y el grano con 12 % de contenido de humedad redujo a 0 insectos emergidos hasta el final del periodo de almacenamiento, 35 días. Con estos resultados y los antecedentes de (Calderón y Navarro, 1980); (Oxley y Wickenden, 1963); (Burrel, 1968), se puede mencionar que los tres factores que intervienen en la generación de una atmósfera desfavorable para la sobrevivencia y desarrollo *Z. subfasciatus*, son niveles bajos de oxígeno, niveles altos de dióxido de carbono y bajos contenidos de humedad, efectos sinérgicos para realizar un control exitoso del insecto.

6.5. Porcentaje de grano dañado

Los resultados del análisis estadístico de porcentaje de grano dañado mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el periodo de almacenamiento en los dos sistemas y entre contenidos de humedad.

El daño observado en las unidades experimentales es el producto de la alimentación de las larvas y la de los insectos adultos que emergen para ovipositar en nuevos granos. Durante los 5 días en el sistema de almacenamiento hermético para los tres contenidos de humedad el daño fue de 21, 42 y 73 % respectivamente Cuadro 6. Como la emergencia se fue incrementando para los tres contenido de humedad de 8, 10 y 12 % siendo a los 15 días donde se alcanzó el mayor porcentaje de grano dañado llegando hasta 29, 102 y 140 % respectivamente; a partir de los 25 días el porcentaje de grano dañado fue de 0 %, para el contenido de humedad de 8 %, con el contenido de humedad de 10 % a los 30 días y para el contenido de humedad de 12 % fue hasta el final del periodo de almacenamiento Cuadro 6.

Cuadro 6. Porcentaje de grano dañado durante 35 días de almacenamiento hermético y abierto infestado con *Zabrotes subfasciatus* en tres contenidos de humedad.

Sistema de Almacenamiento	CH (%)	Periodo de almacenamiento (días)						
		5	10	15	20	25	30	35
Hermético	8	21d ^{1,2}	25d ²	29b ¹	2e ³	0d ⁴	0d ⁴	0c ⁴
	10	42c ²	49c,d ²	102a,b ¹	25d ³	3c ⁴	0d ⁵	0c ⁵
	12	73a,b ³	80b,c ^{2,3}	140a ¹	99c ^{1,2}	9c ⁴	2c ^{4,5}	0c ⁵
Abierto	8	37c ³	126a ²	133a ¹	141b ²	194b ¹	199b ¹	213b ¹
	10	66b ⁵	126 ^{a4,5}	157a ^{3,4}	193a ^{2,3}	205b ²	203b ²	264a ¹
	12	84a ⁴	115a ^{3,b4}	132a ³	146b ³	275a ¹	273a ¹	221b ²

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Como se esperaba, en el sistema de almacenamiento abierto el porcentaje se fue incrementando a través de los días del experimento, en el contenido de humedad de 8 % se obtuvo el menor daño, con un 37 % a los 5 días y el mayor porcentaje de grano dañado con 213 % a los 35 días. Para el contenido de humedad de 10 % se obtuvo un porcentaje de grano dañado de 66 % hasta 264 % a los 5 y 35 días, respectivamente. En el contenido de humedad de 12 % se obtuvo un porcentaje de grano dañado de 84 % hasta 221 % a los 5 y 35 días, respectivamente Cuadro 6.

Como se puede observar en este trabajo el contenido de humedad es muy importante para el desarrollo y posterior daño causado al grano de frijol por el insecto *Z. subfasciatus* ya que como se comentó anteriormente las etapas juveniles del insecto ocupan la humedad contenida en el grano para su desarrollo y si esto es exitoso se producirá el daño físico en el grano, ocasionando con esto la pérdida de peso y de valor comercial.

La variable de emergencia de la F1 de *Z. subfasciatus* en grano de frijol, está altamente correlacionada con el porcentaje de grano dañado, con un coeficiente de correlación de $r = 0.88$ entre los dos sistemas de almacenamiento y entre los tres contenido de humedad, siendo esto debido a que los insectos emergidos y las pupas son los que causan el daño físico visible en el grano; por lo tanto, a mayor emergencia mayor porcentaje de grano dañado.

6.6. Porcentaje de daño interno

El daño interno se refiere a la presencia de larvas de *Z. subfasciatus* en el interior del grano, que no emergieron y quedan muertas dentro de él, lo cual es un demerito en la calidad del grano (Ceballos, 2008). Se evaluó el daño interno de los granos de frijol que no mostraba daño físico visible. Para ello se seleccionaron 30 granos de cada contenido de humedad que no presentara daño visible y con tres repeticiones se les sometió a una radiografía de rayos X.

Lo anterior se debe a que los insectos adultos que se colocaron en las unidades experimentales tuvieron tiempo de ovipositar los granos y estos huevecillos eclosionaron y penetraron el grano.

Los resultados del análisis estadístico de porcentaje de daño interno mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en el periodo de almacenamiento hermético entre contenido de humedad.

En el Cuadro 7, se puede observar que el daño interno hecho por la larva en el contenido de humedad de 8 % fue de 1.7 % a los 5 días en el sistema de almacenamiento hermético y a partir del día 10 no hubo presencia de daño interno. Para el contenido de humedad de 10 % fue de 2.0 % para los 5 y 10 días, y a partir de los 15 días no hubo presencia de larvas al interior de los granos. En el contenido de humedad de 12 % el porcentaje de daño interno fue de 5.0 % a los 5 y 10 días, a los 15

y 20 días fue de 3.0 y 2.3 % respectivamente, y a partir de los 25 días no hubo daño interno para los tres contenidos de humedad.

Cuadro 7. Porcentaje de daño interno en el grano de frijol en tres CH, durante 35 días de almacenamiento hermético.

Sistema de Almacenamiento	C.H. (%)	Periodo de almacenamiento (días)							
		5	10	15	20	25	30	35	
Hermético	8	1.7b ¹	0.0c ²	0.0b ²	0.0b ²	0.0a ²	0.0a ²	0.0a ²	
	10	2.0b ¹	2.0b ¹	0.0b ²	0.0b ²	0.0a ²	0.0a ²	0.0a ²	
	12	5.0a ¹	5.0a ¹	3.0a ²	2.3a ²	0.0a ³	0.0a ³	0.0a ³	

Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia significativa y números diferentes en superíndice indican diferencias dentro de filas (DMS con $\alpha=0.05$).

Una vez más se observa la importancia del contenido de humedad en el grano para el desarrollo del insecto *Z. subfasciatus*, en el Cuadro 7, se puede observar que la presencia de larvas dentro del grano del frijol sin aparente daño físico se exhibe con mayor daño en el contenido de humedad de 12 % hasta los 20 días de almacenamiento y para el contenido de humedad de 8 % solo se presentó a los 5 días.

El efecto más visible del daño en el sistema de almacenamiento hermético se debe a que en los primeros muestreos existe mayor cantidad de insectos emergidos con respecto a los últimos muestreos se debe a que en las últimas muestras no hubo emergencia o esta fue muy baja, ya que en los primeros muestreos, al término de su periodo de almacenamiento, se rompe el hermetismo de las unidades experimentales

para muestrear y permite que los huevecillos y/o larvas puedan sobrevivir y posteriormente desarrollarse bajo condiciones favorables como las prevalcientes en la cámara de cría; no siendo así para los muestreos con mayor tiempo de almacenamiento bajo condiciones desfavorables, como lo señalado por (Annis,1987); en relación a que los estados inmaduros como son larvas y los propios huevecillos son más tolerantes que los estados adultos a bajos niveles de oxígeno, lo cual concuerda bien con los resultados de esta investigación ya que en este trabajo murieron los insectos adultos antes de tiempo normal y los huevecillos de los primeros muestreos sobrevivieron permitiendo la eclosión y emergencia de larvas que penetraron al grano, las cuales, dependiendo del tiempo que estuvieron almacenadas herméticamente, fueron las que ocasionaron el daño que aquí se ha presentado y discutido; sin embargo, las condiciones de bajo nivel de oxígeno y moderado nivel de dióxido de carbono ocasionaron a lo largo del periodo de almacenamiento la muerte de las larvas que permanecieron en los granos que fueron almacenados bajo condiciones no favorables.

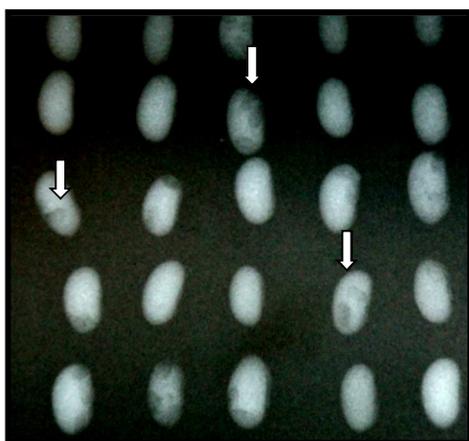


Figura 7. Granos de frijol sin daño físico aparente

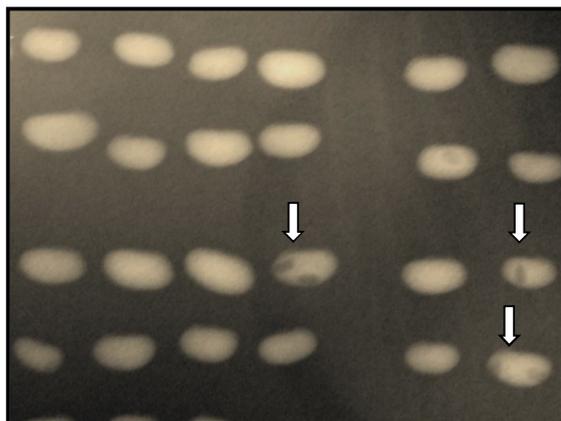


Figura 8. Larvas que permanecieron en los granos.

En la Figura 7 y 8 se muestran las radiografías de granos de frijol sin daño físico aparente. En el cual se observa en los granos larvas que no completaron su desarrollo (señalados con una flecha), sin poder observar en que instar larval fue detenido su desarrollo, pero esto nos indica que los granos aparentemente sin daño físico pueden tener insectos en sus etapas larvales dentro de los granos y así son consumidos.

7. Conclusiones

- Las bajas concentraciones de oxígeno y las altas concentraciones de dióxido de carbono aunado el contenido de humedad del grano no permitieron la emergencia de *Z. subfasciatus* en el sistema de almacenamiento hermético para los contenidos de humedad de 8, 10 y 12 % a los 25, 30 y 35 días respectivamente.
- Los niveles de oxígeno y dióxido de carbono que no permitieron el desarrollo y posterior daño del grano fueron de 8.90, 7.71 y 3.03 % a los 25, 30 y 35 días respectivamente y los contenidos de dióxido de carbono fueron de 5.80, 6.47 y 8.90 % a los 25, 30 y 35 días respectivamente.
- Por lo tanto los resultados aquí presentados aceptan la hipótesis de que en etapas juveniles de *Z. subfasciatus* el contenido de humedad del grano fue un factor determinante en el desarrollo del insecto y su posterior daño al grano de frijol.
- Con los resultados obtenidos en el experimento se puede evitar el daño ocasionado por *Z. subfasciatus* en el grano de frijol al almacenarlo herméticamente bajo las condiciones de este experimento y conservar el valor nutritivo y sanitario del alimento.

8. Bibliografía

- Aldana A., H. M. y A. Claves., (1985). Evaluación de las pérdidas en el frijol causadas por los gorgojos *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) y *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleóptera: Bruchidae). Resúmenes del XII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Medellín, Colombia. 94 pp.
- Annis, P. C., (1987). Towards rational controlled atmosphere dosage schedules, A review of ocurrent knowledge. In: Donahaye, E., Navarro, S. Proceedings of de 4th International Working Conference on Stored Products Protection. Mmaor-Wallach Press, Jesusalem, 128-142 pp.
- Arias, C., (1993). Manual de Manejo Poscosecha de Granos a Nivel Rural. Organización de la Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile.
- Bailey, S.W. y J. Banks., (1980). A review of recent studies of controlled atmospheres on stored product pests. In: Controlled atmosphere storage of grain (Ed. J. Shejbal). Elsevier, Amsterdam. 101-118 pp.
- Banks, H.J., (1981), Effects of controlled atmosphere storage on grain quality: a review. Food Technology in Australia. 355-340 pp.
- Burrell, N.J., (1968). Miscellaneous experiments on grain storage under plastic sheeting. V. The control of insects in infested wheat in a glass-fibre and plastic bin. Agricultural Research Council, Pest Infestation Laboratory Report, 8pp.
- Calderón, M. and Navarro, S., (1980). Synergistic effects of CO₂ and O₂ mixtures on stored grain insect pests. In: Shejbal, J. controlled Atmospheres Storage of grains. Elsevier, Amsterdam. 79-84pp
- Capillo D.S., (2011). monografía del frijol. Financiera Rural. México D.F. 6pp

- Carballo C.A y Hernández G.J.A., (2007). Almacenamiento y Conservación de granos y semillas. Colegio de Posgraduados. Edo de México. 8pp
- Ceballos A.L., (2008). Tesis de Licenciatura de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la FES Cuautitlán, UNAM; Almacenamiento Hermético de grano de frijol infestado con el gorgojo *Acanthoscelides obtectus* Say Cuautitlán; 2008.76pp
- Champ B. R. And Dyte, C. E., (1976). Report of the FAO global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored grain Pests. FAO Plant Products/protection. Service No. 5. FAO, Rome.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), (1988). Insectos de Frijol Almacenado y su Control. Cali, Colombia., 44 pp.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), (1988). Principales Insectos que Atacan al Frijol Almacenado. Guía de Estudio. CIAT, Serie 04-SB-05, 03. 32 pp.
- Dell, Orton, T.H., (1985). Insectos que dañan granos y productos almacenados, serie tecnología poscosecha, Oficina Regional de la FAO para América Latina y Caribe, Santiago de Chile.
- Diario oficial de la federación., (2001). Ley de Desarrollo Rural Sustentable de México (LDRS). <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/ldrs.htm>
- García P.M.A., (2004). Tesis de Licenciatura de la carrera de Ingeniería Agrícola de la FES Cuautitlán, UNAM; Efecto del almacenamiento Hermético del grano de frijol, sobre el desarrollo de los gorgojos, *Zabrotes subfaciatus* Boh. Y *Acanthoscelides obtectus* Say Cuautitlán; 2004.108pp.
- ISTA; Internacional Rules For Seed Testing. (1999). Vol.27. Suplement
- M. De Lucia y D. Assennato., (1993). La ingeniería en el desarrollo- Manejo y

tratamiento de granos poscosecha. FAO, Roma Italia.

- Moreno M. E., (1996) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. Tercera edición. México D.F., 393 pp.
- Moreno M. E., Jiménez A. S y Vázquez E. M., (2000) Effect of *Sitophilus zeamais* y *Aspergillus chevalieri* on the oxygen level in maize stored hermetically. Journal of Stored Products Research 36 (2000) 25-36 pp.
- Osborne D.R. y Voogt P., (1986). Análisis de los nutrientes de los alimentos, traducido por el profesor Dr. Andrés Marcos Barrado, Ed. Acribia, Zaragoza España.
- Oxley, T.A., and Wickenden, G., (1963). The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. *Annals of Applied Biology*, 51, 313-324pp.
- Ramirez G.M., (1981). Almacenamiento y conservación de granos y semillas, Ed Continental C.EC.S.A. México. Octava impresión.300 pp
- Sartori M. R., and Vitti P. (1991) influencia do armazenamento hermético do milho contenedor de humidade moderadamente elevada sobre sus características de moagem por via umida. Instituto Tecnología de Alimentos de Brazil 21, 100-106 pp.
- SAS Institute. (2002). Statistical Analysis System. User's guide version 9.0. Statistics. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Sigout, F., (1980). Significance of underground storage in traditional systems of grain production: In: Shejbal, J. (Ed.), Controlled atmosphere storage of grains. Elsevier, Amsterdam, pp. 3-13pp.

- Winston W.P. and Bastes H.D., (1960). Saturated solutions for the control of humidity in biological research, Ecology, Vol 41. No 1. Department of Biology University of Colorado Boulder, Colorado.
- Zar, J.H., (1999). Biostatistical Analysis, 4th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 662 pp.