



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

EFECTO DEL ALMACENAMIENTO HERMETICO DEL
GRANO DE FRIJOL, SOBRE EL DESARROLLO DE
LOS GORGOJOS *Zabrotes subfasciatus* Boh. Y
Acanthoscelides obtectus Say.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
MARCO ANTONIO GARCIA PEREA

ASESOR: DR. ERNESTO MORENO MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO HERMÉTICO DEL GRANO
DE FRÍJOL, SOBRE EL DESARROLLO DE LOS GORGOJOS
Zabrotes subfasciatus Boh. Y *Acanthoscelides obtectus* Say.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

MARCO ANTONIO GARCÍA PEREA

ASESOR: DR. ERNESTO MORENO MARTÍNEZ

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Efecto del Almacenamiento Hermético del Grano de Frijol, sobre
el Desarrollo de los Gorgojos Zabrotes subfasciatus Boh. y
Acanthoscelides obtectus Say.

que presenta el pasante: Marco Antonio García Perea
con número de cuenta: 8702433-1 para obtener el título de :
Ingeniero Agrícola

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Septiembre de 2004

PRESIDENTE	<u>Dr. Ernesto Moreno Martínez</u>	
VOCAL	<u>Dra. Rosa Navarrete Maya</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. Benjamín J. Frontana de la Cruz</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>M. E. José L. Sánchez González</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Arturo L. Ortiz Cornejo</u>	

Agradecimientos

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo cuatro, UNAM por todos los momentos inolvidables durante los cinco años de preparación, académica y humana.

A mi director de tesis, Dr. Ernesto Moreno Martínez por su apoyo para la realización de este proyecto y su motivación para continuar con mi formación académica y agradeciendo profundamente su amistad..

A el Dr. Sergio Jiménez por su ayuda para la realización de este proyecto, por sus consejos y principalmente por su amistad.

A todos mis profesores de la facultad por su amistad y compartir sus conocimientos y consejos para formarme académicamente.

Con especial agradecimiento a los profesores miembros del jurado Dra. Rosa Navarrete Maya, Dr. Benjamín Frontana, M. E. José L. Sánchez e Ing. Arturo L. Ortiz Cornejo que amablemente revisaron este trabajo y con sus consejos y observaciones me hicieron reflexionar en la importancia de realizar un trabajo de calidad que posiblemente utilizaran otras generaciones. A todos ustedes muchas gracias por sus acertadas observaciones y aportaciones para este trabajo.

A la Maestras: Cristy, Gaby, Martha y Jose por sus acertadas observaciones para la realización de este trabajo.

A la banda de CORENA por su amistad y apoyo para el desarrollo de mis tareas en esa institución, en especial a Juan Manuel, Susy, Paco, Martha, Kena y al jefe José Luis.

Ya todo el personal de la UNIGRAS por su apoyo y amistad.

Dedicada:

A mi mamá quien siempre ha estado ahí para cualquier situación sin esperar nada a cambio y siempre me impulsa a seguir adelante.

A la memoria de mi padre Rafael García V.

Para mis hermanos Claudia, Francisco, Rosaura, Alejandra, Arturo, Lupita, Evangelina y Rafael por su apoyo para lograr mi meta, con mucho cariño.

A todos mis sobrinas y sobrinos para que sigan adelante.

A mis hijos Emiliano y Toño que son mi impulso para seguir adelante.

A Jenny por su cariño y comprensión siendo parte importante para la conclusión de mis estudios.

Para mi suegra Leticia que gracias a su apoyo y cuidados para con mis hijos ha sido posible la conclusión de mis estudios.

A Rodrigo García quien me motivo a seguir con mis estudios.

Y con especial cariño para mis compañeros de la generación 23 por su amistad; en especial para Alejandro, Daniel, Juan Manuel, Sergio, Eugenio, Erick, Pedro, Gabriel, Erika, Lleinin, Flor, Miriam, Miguel, Silvia etc.

CONTENIDO

	Pág.
Índice de cuadros	i
Índice de gráficas	iii
Índice de figuras	v
Resumen	vi
1. Introducción	1
1.1 Justificación	5
2. Objetivos	6
2.1 Objetivo general	6
2.2 Objetivos particulares	7
2.3 Hipótesis	7
3. Revisión de literatura	7
3.1 Importancia del cultivo del frijol	7
3.1.1 El frijol y su participación en la producción y comercio mundial	8
3.1.2 El frijol en México y su tendencia en los últimos años	9
3.1.3 Importancia económica del cultivo de frijol	11
3.2 Pérdidas de granos almacenados	12
3.2.1 Principales plagas del grano de frijol en el almacén	14
3.2.2 Daños que ocasionan los gorgojos del frijol <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boheman. y <i>Acanthoscelides obtectus</i> Say. al grano en almacén	15
3.3 Coleóptera, Bruchidae	16
3.3.1 Descripción	16
3.3.2 Ciclo de vida y requerimientos ambientales	17
3.3.3 <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boheman	20
3.3.3.1 Ubicación taxonómica	20
3.3.3.2 Origen y distribución	20
3.3.3.3 Descripción	20
3.3.3.4 Biología	21
3.3.4 <i>Acanthoscelides obtectus</i> Say	22
3.3.4.1 Ubicación Taxonómica	22
3.3.4.2 Origen y Distribución	22

3.3.4.3 Descripción	23
3.3.4.4 Biología	24
3.4 Composición química del grano	25
3.5 Proceso respiratorio de los granos	26
3.5.1 Proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas	26
3.6 Consecuencia del proceso respiratorio	27
3.6.1 Pérdida de peso	27
3.7 Factores que afectan la respiración	27
3.7.1 Temperatura	28
3.7.2 Contenido de humedad	28
3.7.3 Hongos	28
3.8 Composición del aire ambiente	29
3.8.1 Aire atmosférico	29
3.9 Factores que influyen en la calidad de los granos	30
3.9.1 Condiciones climáticas durante el periodo de maduración de los granos	31
3.9.2 Grado de maduración en el momento de la cosecha	31
3.9.3 Daños mecánicos	31
3.9.4 Impurezas	33
3.9.5 Humedad	33
3.9.5.1 Contenido de humedad de los granos	34
3.9.6 Temperatura	34
3.9.7 Microorganismos	35
3.9.7.1 Hongos de campo	35
3.9.7.2 Hongos de almacén	36
3.9.8 Insectos	36
3.9.8.1 Temperatura	38
3.9.8.2 Humedad	38
3.9.9 Roedores	38
3.10 Higroscopicidad de los granos	40
3.10.1 Actividad acuosa del agua	41
3.10.2 Disponibilidad de agua y estabilidad del grano en almacenamiento	41
3.11 Almacenamiento hermético de granos	42

3.11.1 Principio de almacenamiento hermético	43
3.11.2 Historia del almacenamiento hermético	44
3.11.2.1 Silos subterráneos	44
3.11.2.2 Estructuras semi-subterráneas	45
3.11.2.3 Estructuras sobre el piso a pequeña escala	45
3.11.3 Almacenaje hermético moderno	46
3.11.3.1 Estructuras rígidas sobre el suelo	46
3.11.3.2 Estructuras flexibles sobre el suelo	47
3.11.3.3 Estructuras flexibles subterráneas	47
3.11.4 Problemática del almacenamiento hermético	48
4. Materiales y métodos	49
4.1 Ubicación del experimento	49
4.2 Material de experimentación	49
4.3 Manejo del experimento	49
4.3.1 Grano de frijol	49
4.3.2 Contenido de humedad	50
4.3.3 Germinación	51
4.3.4 Eliminación de huevecillos y larvas de insectos	52
4.3.5 Micobiota	53
4.3.6 Ajuste de Humedad	54
4.3.7 Insectos de <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boh. y <i>Acanthoscelides obtectus</i> Say.	55
4.3.8 Longevidad	55
4.3.9 Identificación de características de diferenciación entre especies de insectos	56
4.4 Desarrollo del experimento	57
4.5 Diseño experimental	60
4.5.1 Variables de Estudio	60
5. Resultados y Discusión	61
6. Conclusiones	84
7. Bibliografía	86
ANEXOS	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
1	Periodo de puesta de huevos y fecundidad de <i>Acanthoscelides obtectus</i> en frijol.	18
2	Composición química de granos de algunas especies (100 g).	25
3	Composición del aire seco.	29
4	Tiempo seguro de almacenamiento en función de la diferentes temperaturas y contenido de humedad de los granos.	39
5	Contenido de humedad para el almacenamiento adecuado de algunos productos.	40
6	Contenido de humedad en equilibrio con frijol a diferentes humedades relativas y temperaturas.	42
7	Prueba de germinación de grano de frijol variedad Mayocoba, con método de rollos de germinación en papel absorbente, en incubadora a 25 °C.	52
8	Prueba de micobiota en grano de frijol variedad Mayocoba para hongos de almacén y de campo con medio de cultivo malta sal agar y papa dextrosa agar respectivamente.	54
9	Prueba de longevidad de los principales insectos que atacan el grano de frijol <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boh. y <i>Acanthoscelides obtectus</i> Say.	56
10	Calendario de actividades de experimento final para cada especie de insecto y cada sistema de almacenamiento.	61
11	Contenidos de humedad en grano de frijol variedad Mayocoba, infestado con el insecto <i>Z. subfasciatus</i> y <i>A. obtectus</i> .	62
12	Consumo de oxígeno por el insecto <i>Z. subfasciatus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	65
13	Producción de bióxido de carbono por el insecto <i>Z. subfasciatus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	66

14	Consumo de oxígeno por el insecto <i>A. obtectus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	67
15	Producción de bióxido de carbono por el insecto <i>A. obtectus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	69
16	Longevidad de <i>Z. subfasciatus</i> con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7% en almacenamiento abierto a 27 °C, 75 % H.R. y en condiciones normales de ambiente.	83
17	Longevidad de <i>A. obtectus</i> con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7% en almacenamiento abierto a 27 °C, 75 % H.R. y en condiciones normales de ambiente.	83
18	Mortalidad de <i>Z. subfasciatus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, en tres contenidos de humedad.	95
19	Mortalidad de <i>A. obtectus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, en tres contenidos de humedad.	95
20	Número de insectos de <i>Z. subfasciatus</i> que emergieron a través del tiempo de almacenamiento, hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.	96
21	Número de insectos de <i>A. obtectus</i> que emergieron a través del tiempo de almacenamiento, hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.	96
22	Porcentaje de grano dañado por el insecto <i>Z. subfasciatus</i> en almacenamiento hermético y abierto con tres contenidos de humedad.	97
23	Porcentaje de grano dañado por el insecto <i>A. obtectus</i> en almacenamiento hermético y abierto con tres contenidos de humedad.	97
24	Micobiota en grano de frijol infestado con <i>Z. subfasciatus</i>	98
25	Micobiota en grano de frijol infestado con <i>A. obtectus</i>	98
	ANOVAS determinaciones <i>Z. subfasciatus</i>	103
	ANOVAS determinaciones <i>A. obtectus</i>	105

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Título	Pág.
1	Pérdidas poscosecha de granos y semillas	13
2	Consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono por el insecto <i>Z. subfasciatus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	67
3	Consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono por el insecto <i>A. obtectus</i> en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.	70
4	Mortalidad del insecto <i>Z. subfasciatus</i> a través del tiempo de almacenamiento en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto en tres contenidos de humedad.	72
5	Mortalidad del insecto <i>A. obtectus</i> a través del tiempo de almacenamiento en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto en tres contenidos de humedad.	74
6	Número de insectos de <i>Z. subfasciatus</i> que emergieron a través del tiempo en almacenamiento hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.	76
7	Número de insectos de <i>A. obtectus</i> que emergieron a través del tiempo en almacenamiento hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.	77
8	Porcentaje de grano dañado realizado por el insecto <i>Z. subfasciatus</i> en almacenamiento hermético y abierto en tres contenidos de humedad.	79
9	Porcentaje de grano dañado realizado por el insecto <i>A. obtectus</i> en almacenamiento hermético y abierto en tres contenidos de humedad.	80
10	Contenidos de humedad de grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, infestado con el insecto <i>Z. subfasciatus</i> .	99
11	Contenidos de humedad de grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, infestado con el insecto <i>A. obtectus</i> .	99

- 12 Número de insectos emergidos de *Z. subfasciatus* en cada muestreo del almacenamiento abierto, en tres contenidos de humedad que a partir del primer día de emergencia se cuantificaron diariamente hasta el término de esta. 100
- 13 Número de insectos emergidos de *Z. subfasciatus* en cada muestreo del almacenamiento hermético, en tres contenidos de humedad que a partir del primer día de emergencia se cuantificaron diariamente hasta el término de esta. 100
- 14 Número de insectos emergidos de *A. obtectus* en cada muestreo del almacenamiento abierto, en tres contenidos de humedad que a partir del primer día de emergencia se cuantificaron diariamente hasta el término de esta. 101
- 15 Número de insectos emergidos de *A. obtectus* en cada muestreo del almacenamiento hermético, en tres contenidos de humedad que a partir del primer día de emergencia se cuantificaron diariamente hasta el término de esta. 101
- 16 Longevidad de *Z. subfasciatus* con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7% en almacenamiento abierto a 27°C, 75% H.R. y en condiciones ambientales normales. 102
- 17 Longevidad de *A. obtectus* con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7% en almacenamiento abierto a 27°C, 75% H.R. y en condiciones ambientales normales. 102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Título	Pág.
1	Gorgojo emergiendo del grano de frijol el cual se encuentra en abundancia en zonas cálidas húmedas.	21
2	Gorgojo pardo <i>Acanthoscelides obtectus</i> infestando grano de frijol almacenado.	24
3	Respiración aeróbica.	27
4	Granos dañados por insectos.	37
5	Silos metálicos herméticos.	48
6	Material para el experimento, montaje y almacenamiento de las unidades experimentales.	59
7	Medición de los gases, contenido de humedad, manejo del experimento y microbiota.	59
8	Desarrollo del experimento.	94

RESUMEN

El principal objetivo del almacenamiento de granos y semillas, es el de mantenerlos a salvo por un período determinado, para su posterior comercialización y uso después de su cosecha. La conservación de la cantidad y calidad de la cosecha de granos depende en gran medida de la infraestructura de almacenamiento y de los sistemas de poscosecha. Cuando existen deficiencias en dicha infraestructura como lo es el caso de nuestro país, una alternativa muy promisoría para la conservación de los granos básicos como el maíz y el frijol en el medio rural es el almacenamiento hermético de dichos granos.

Con el fin de conocer el efecto del almacenamiento hermético en grano de frijol variedad Mayocoba sobre el desarrollo de insectos *Zabrotes subfasciatus* Boheman. y *Acanthoscelides obtectus* Say, se almacenó grano en dos sistemas de almacenamiento; abierto y hermético, con tres contenidos de humedad de 10, 12 y 15 %, ajustados con soluciones sobresaturadas y estas mismas utilizadas para mantener durante el período de experimentación el contenido de humedad en las unidades experimentales del sistema abierto. El grano se infestó con 20 insectos adultos de las dos especies en estudio con menos de 24 horas de emergidos para estandarizar las edades; se utilizaron frascos de 250 ml con 150 g de grano, ocupando dos terceras partes del volumen del recipiente.

Las unidades experimentales para el almacenamiento hermético se sellaron con papel parafilm, aluminio y tapas de plástico con tapón de hule (selladas con cera) para toma de muestras de los gases oxígeno y bióxido de carbono; para el sistema abierto se colocaron tapas con malla a los frascos. Todos los tratamientos se colocaron en la cámara de cría en condiciones óptimas para el desarrollo de los insectos (25 °C; 75 % de humedad relativa y 16 horas luz). Se realizaron siete muestreos cada tres días con tres repeticiones para cada tratamiento. De las determinaciones que se llevaron a cabo sólo en el almacenamiento hermético se tomaron lecturas de: porcentaje de oxígeno y bióxido de carbono; y para los dos sistemas de almacenamiento hermético y abierto se realizaron las siguientes determinaciones: mortalidad, contenido de humedad, emergencia, porcentaje de grano dañado y micobiota, esta última se determinó inicial y al final de los siete muestreos.

El oxígeno en los tratamientos herméticos se fue agotando paulatinamente a través del tiempo de almacenamiento, así como, se fue incrementando la generación de bióxido de carbono. En el almacenamiento abierto, los insectos permanecieron vivos durante los 12 y 14 días de tiempo de vida adulta para *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* respectivamente y en almacenamiento hermético la mortalidad total se presentó a los 9 días para las dos especies; la totalidad de la mortalidad de *Z. subfasciatus* fue para 10, 12 y 15 % de contenido de humedad del grano, de 9.8 % de O₂, 5.73 % CO₂; 7.5 % de O₂, 6.77 % CO₂ y 6.7 % de O₂, 7.37 % CO₂ respectivamente y para *A. obtectus* en los tres contenidos de humedad 10, 12 y 15 %, siendo de 3.4 % O₂, 9.5 % CO₂; 2.0 % O₂, 9.7 % CO₂ y 1.8 % O₂, 9.43 % CO₂ respectivamente. En la emergencia de los insectos se pudo observar claramente el efecto sinérgico de las bajas cantidades de oxígeno con una elevada cantidad de bióxido de carbono, aunado esto al bajo contenido de humedad del grano al 10 %, siendo para este contenido de humedad las mas bajas cantidades de insectos emergidos así como el menor porcentaje de grano dañado. *Z. subfasciatus*, durante los 21 días de almacenamiento hermético, se registró emergencia de los insectos en todos los tratamientos con excepción del contenido de humedad de 10% a los 21 días de almacenamiento hermético, siendo para este de 0% de grano dañado.

La especie que presentó mayor susceptibilidad a los efectos del almacenamiento hermético fue *A. obtectus*, ya que su tasa de respiración es mayor que la de *Z. subfasciatus*, observándose en *A. obtectus* el efecto benéfico del bajo contenido de oxígeno en las atmósferas de almacenamiento hermético, elevadas concentraciones de bióxido de carbono y aunado esto a los bajos contenidos de humedad que ejercen un efecto deshidratante sobre los estados inmaduros de los insectos, no permitiendo así la proliferación de estos; a partir de los seis días en el contenido de humedad de 10% no hubo daño, para el contenido de humedad de 12% a partir de los 9 días ya no hubo daño y para el contenido de humedad de 15% desde los 12 días en adelante no hubo daño.

1. Introducción.

Actualmente, el almacenamiento de granos alimenticios se ha convertido en una práctica sustentada por un crecimiento tecnológico; principalmente en los países desarrollados, gracias a la investigación realizada en los últimos 60 años. Para competir en la producción y en la comercialización de los granos, en esta economía globalizada, se requiere contar con un sistema de poscosecha eficiente, que garantice la conservación cuantitativa y cualitativa de las cosechas. Para que los granos conserven la calidad que tienen al momento de la madurez fisiológica es importante que se cumplan los siguientes preceptos: la cosecha debe realizarse en la época adecuada, el secado y la limpieza de los granos es de vital importancia, así como la constante supervisión durante su transporte y almacenamiento, y por último la aplicación de medidas preventivas que eviten el deterioro de la calidad nutricional e industrial de los granos. Los almacenes, sean silos, bodegas o trojes, también juegan un papel crucial en el sistema poscosecha, su función es evitar que los factores ambientales, humedad, temperatura; así como los agentes bióticos (insectos, hongos y roedores), dañen a los productos almacenados.

Los granos almacenados se consideran como una masa porosa, constituida por los mismos granos y el aire intersticial. Constituyen un material biológico vivo, que usa el oxígeno del aire de los intersticios y deja libre el gas carbónico. Por ello, tienden a deteriorarse por un proceso natural. Bajo condiciones ambientales favorables a la actividad metabólica, el fenómeno de la respiración se transforma en el principal agente responsable del deterioro. Este deterioro puede evaluarse, en muchos casos, a través de la pérdida del vigor de las semillas, desarrollo de hongos, pérdida de capacidad de panificación, incremento de la acidez, endurecimiento, etc. A parte, el almacenamiento que se considera una etapa final del proceso de producción, puede verse afectado por los siguientes factores:

- a. Condiciones adversas durante la cosecha.
- b. Ataque de plagas y enfermedades durante el cultivo.

- c. Permanencia innecesaria del producto en la planta tras la maduración fisiológica.
- d. Daños mecánicos durante la cosecha, limpieza, transporte, clasificación y manejo del grano en general.
- e. Secado inadecuado o inoportuno
- f. Almacenaje inadecuado.

Por lo tanto es importante que el almacenamiento y conservación de los granos se realice de una manera segura, eficiente, técnicamente viable y económicamente factible.

La preservación y conservación de los granos representan hoy en día una cuestión vital. Toda la reserva que se destina a la alimentación humana y animal debe ser cuidadosamente beneficiada y conservada durante el almacenamiento para que no se altere su valor nutricional. Por lo tanto, el propósito del almacenamiento es preservar la calidad de los productos agrícolas después de su cosecha, limpieza y secado.

La producción de granos es discontinua y periódica mientras que su consumo es permanente y no se interrumpe. Para conciliar estos dos aspectos es necesario almacenar la producción agrícola para atender la demanda que se presenta durante el periodo entre cosechas. Como raramente es posible consumir de inmediato toda la producción, si el agricultor la almacena podrá consumirla poco a poco o venderla con posterioridad en la época más oportuna, evitando así las presiones del mercado que se presentan durante la época de la cosecha.

Por ser organismos vivos, los granos requieren cuidados especiales para que sus cualidades se preserven durante el almacenamiento. El deterioro del grano no se puede evitar completamente, ya que por ser un organismo vivo respira como cualquier otro, consumiendo sus reservas y produciendo energía. El uso de técnicas adecuadas de producción, cosecha, secado, beneficio, almacenaje y manejo minimizan el deterioro.

El contenido de humedad, la temperatura, los hongos, los insectos, las impurezas presentes en la masa de granos, los daños físicos y los roedores, son factores que influyen en su conservación durante el almacenamiento. De estos factores, los principales que favorecen el deterioro de los granos, son la temperatura y la humedad. En general, mientras más seco y frío es el ambiente de las bodegas, la conservación del grano será más factible y mayor será el tiempo que permanezca en buenas condiciones.

El frijol es uno de los granos más importantes para la alimentación de la población mexicana, así como para muchos otros países en desarrollo. En estos países el frijol es producido principalmente en pequeñas superficies. Los campesinos conservan parte de la cosecha para su consumo propio, vendiendo eventualmente los excedentes a la población urbana. En consecuencia, la preservación de la calidad del grano a nivel de pequeños productores, es de gran importancia. Esta preservación es una cuestión difícil, particularmente en aquellas áreas tropicales donde la tecnología de secado y almacenaje son deficientes o inexistentes.

Los insectos del grano almacenado y los hongos, causan severas pérdidas de calidad y cantidad, que tienen graves implicaciones para la disponibilidad de alimento, especialmente en aquellas áreas del mundo donde el almacenaje del grano es manejado de manera deficiente, por la falta del conocimiento técnico adecuado y la carencia de tecnología poscosecha (Sauer, et al., 1992, Harein y Davis, 1992).

A fin de prevenir pérdidas excesivas en calidad y cantidad durante el almacenaje de los granos, las prácticas de secado artificial, la aireación refrigerante, y el uso de insecticidas, son las técnicas más comúnmente utilizadas por aquellos países que pueden acceder al uso de estas tecnologías (Hall, 1980).

Los países en desarrollo para el combate de los insectos, de manera general e inapropiada, han recurrido principalmente al uso de insecticidas. En aquellos países, el uso indiscriminado e inadecuado de insecticidas para controlar la

proliferación de insectos en el grano almacenado ha resultado en el desarrollo de poblaciones más resistentes; lo cual hace que se requiera incrementar las dosis, así como también el número de aplicaciones para mantenerlos bajo control (Parkin, 1965; Dyte, 1970; Champ y Dyte, 1976). Además, el uso de varios insecticidas puede ser un riesgo ecológico y de salud pública. Cuando los productores de los países en desarrollo tienen problemas con los insectos de los granos almacenados, por la falta de un conocimiento técnico, ellos tienden a utilizar cualquier insecticida que sea fácilmente disponible; incluyendo químicos tóxicos como el lindano, paratión, paratión metílico, carbaril; insecticidas que han sido frecuentemente usados en áreas rurales mexicanas, para controlar a los insectos de granos almacenados (Moreno *et. al.*, 2000). Es por ende, imperativo desarrollar métodos alternativos para controlar insectos en granos almacenados; métodos que sean económicamente viables y ecológicamente orientados, el almacenamiento hermético puede ser sólo uno de esos métodos alternativos.

Milenios de práctica de agricultura en un mundo fuertemente dependiente del almacenaje de granos, han probado que el almacenaje hermético es un buen método alternativo de preservación de granos, variando desde unos pocos kilos hasta volúmenes grandes (Hyde, 1965; Sigout, 1980; Sartori y Vitti, 1991; Kawasugi; 1994; Varnava 1995, Moreno *et al.*, 2000). En las áreas tropicales de varios países de América Central, así como en México, el almacenaje hermético ha sido usado empíricamente (Moreno *et al.*, 2000). Para mejorar el beneficio del almacenaje hermético, se necesita más información relacionada con el almacenaje de granos y semillas bajo aquellas condiciones de humedad encontradas durante la cosecha y el almacenaje por los campesinos de las áreas tropicales.

Los resultados benéficos del sistema de almacenaje hermético están basados en el agotamiento del oxígeno (O₂) y en la evolución del bióxido de carbono (CO₂) en el contenedor de almacenaje; por lo que es muy importante determinar el impacto de los factores que influyen en el consumo de O₂ y en la generación de CO₂. Considerando lo antes señalado, esta investigación se realizó para definir el efecto del almacenamiento hermético sobre el desarrollo de las poblaciones de los

insectos *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) y *Acanthoscelides obtectus* (Say), y poder así determinar el tiempo de almacenamiento hermético para evitar al 100 % los daños causados por estos insectos al grano de frijol a diferentes contenidos de humedad; esto con el propósito de aportar al medio rural la tecnología adecuada para preservar la calidad del grano de frijol mediante el almacenamiento hermético, siendo una alternativa para la no aplicación de plaguicidas en el combate de insectos, reduciendo así las pérdidas económicas y de calidad del grano.

1.1 Justificación.

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.

Durante el almacenamiento, los granos de leguminosas son particularmente dañados por insectos de la familia Bruchidae quienes pueden consumir más del 50 % del peso del grano.

De las leguminosas, el frijol es la de mayor consumo en México y parte de América Latina; además de ser un componente fundamental en la alimentación diaria de la población. De los brúquidos que afectan este grano destaca por su importancia económica en regiones cálidas y semicálidas del país, los gorgojos *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* siendo las principales plagas de insectos después de la cosecha, causando pérdidas considerables a productores y centros de acopio que almacenan el grano en condiciones inapropiadas. Las pérdidas producidas son el resultado de la alimentación del insecto, así como de la acción nociva y de deterioro, lo cual propicia la invasión de microorganismos que en conjunto alteran la calidad de consumo y el valor en la comercialización.

A nivel nacional el frijol se considera uno de los cultivos más importantes en razón de la superficie dedicada a su producción, la cantidad de grano que se consume y por la actividad económica que genera. De esta leguminosa se siembra alrededor de dos millones de hectáreas, de la cual el 85 % se cultiva bajo condiciones de temporal (Claridades, 2003). El grano representa un componente fundamental en la alimentación diaria del mexicano ya que constituye la principal fuente de proteína para la mayoría de la población. El contenido de proteínas es del 24 %, además de carbohidratos (57 %), así como vitaminas del complejo B, y una gran cantidad de minerales que pueden ser aprovechados por el ser humano. De este grano el consumo per cápita anual es de 16 kilos. (Claridades, 2003)

Almacenar el frijol, así como otros granos y productos que constituyen una fuente alimenticia para el hombre ha representado una estrategia para disponer de ellos cuando sea preciso, por ello es necesario protegerlos de agentes que alteren negativamente su calidad y para preservar sus características originales hasta el momento de ser consumidos.

Considerando que en el medio rural se produce una parte importante del frijol que la población consume, se hace imprescindible el tener un buen sistema de preservación de la calidad nutrimental de este importante grano. Así mismo, es muy importante eliminar o reducir al máximo las pérdidas cuantitativas y el almacenamiento hermético de granos podría ser una de las mejores alternativas para el medio rural.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo general.

- ⊕ Estudiar el efecto de atmósferas con bajo contenido de oxígeno en el desarrollo de los gorgojos del grano de frijol almacenado a diferentes contenidos de humedad y bajo condiciones de hermetismo.

2.2 Objetivos específicos.

- ⊕ Determinar la posibilidad de preservar la calidad del grano de frijol mediante el almacenamiento hermético.
- ⊕ Determinar los contenidos de humedad del grano que permitan inhibir el desarrollo de los gorgojos, evitando el uso de insecticidas para su control.
- ⊕ Establecer los porcentajes de oxígeno y bióxido de carbono que generen una atmósfera desfavorable para el desarrollo de los insectos *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say.
- ⊕ Obtener el tiempo de almacenamiento hermético necesario para evitar al 100 % el daño del grano por los insectos.

2.3 Hipótesis.

- ⊕ En el almacenamiento hermético, el contenido de humedad del grano y el tiempo de almacenamiento, influyen directamente en el agotamiento del oxígeno y en la generación de bióxido de carbono, por la respiración de los insectos y del propio grano. Por lo tanto, los insectos *Z. subfasciatus* Boh. y *A. obtectus* Say., no se desarrollarán en atmósferas con baja concentración de oxígeno.

3. Revisión de literatura.

3.1 Importancia del cultivo del frijol.

El cultivo de esta leguminosa además de ser una tradición cultural, genera un gran impacto económico y social en ciertas regiones del país.

Cultivado desde hace 8,000 años, el frijol formó parte de los cuatro productos agrícolas (maíz, frijol, calabaza y chile), que constituyeron la columna vertebral de

la alimentación de los pueblos mesoamericanos. Nuestro país es considerado como uno de los centros de origen de diversos tipos de frijol, siendo el principal el *Phaseolus vulgaris* L.

Se estima que en la actualidad se siembran 20 variedades y 50 criollas en el territorio nacional, hecho que demuestra la diversidad de mercados, preferencias, precios y calidades (Claridades 2003).

3.1.1 El frijol y su participación en la producción y comercio mundial.

La producción de frijol en el mundo podría considerarse con una tendencia a la baja sobre todo si se compara con la producción de otros productos. En los últimos cinco años los volúmenes de frijol generados en el mundo representaron el 2.9 % de la producción mundial de trigo y 10.3 % de la producción de grano de soya y el 2.9 % de la producción mundial de arroz. Este fenómeno se explica por el hecho de que tanto el trigo como el grano de soya forman parte de procesos agroindustriales que buscan la transformación a subproductos, lo que no sucede con el frijol, aunado a lo anterior, el consumo de frijol está determinado por las preferencias de ciertas variedades de este producto (Claridades 2003).

La producción mundial de frijol en los últimos 10 años registró niveles de 16.7 millones de toneladas en promedio, observándose una tendencia al alza que se manifiesta a través de una tasa de crecimiento anual de 1.4 % alcanzando 17.9 millones de toneladas para el año 2002.

El periodo comprendido del año 1992 al año 2002, el 57 % de la producción mundial de frijol se concentró en cinco naciones: la India (18 %), Brasil (16.5 %), China (8.4 %), Estados Unidos (7.3 %) y México (6.8 %) (Claridades 2003).

Durante el periodo 1992-2002, la superficie cosechada de frijol a nivel mundial fue de 24.4 millones de hectáreas en promedio y este indicador muestra una

tendencia a la baja lo cual refleja una mejora en el rendimiento mundial, que para el mismo periodo fue reportado en 0.687 ton/ha (Claridades 2003).

En el periodo 1992-2002, países como Canadá, Estados Unidos, China e Indonesia han tenido rendimientos de frijol por arriba de 1 ton/ha, este fenómeno se explica por la mejora en la tecnología y el tipo de variedades sembradas en estos países.

En el caso de México, el rendimiento en la producción de frijol es de 0.629 ton/ha lo cual ubica a este país en un nivel cercano al rendimiento promedio mundial para el periodo 1992-2002 (Claridades 2003).

El intercambio comercial de frijol en el ámbito mundial ha sido más dinámico durante los últimos años pasando de 1.9 a 3.0 millones de toneladas exportadas de 1992-2001, lo cual representa en promedio 14.6 % de la producción total del orbe.

Países como Japón (8.1 %), Brasil (7.2 %), Reino Unido (6.67 %) y México (4.7 %) se ubicaron en las primeras posiciones en el rubro de las importaciones de frijol en el periodo comprendido de 1992-2001.

3.1.2 El frijol en México y su tendencia en los últimos años.

Los principales indicadores de frijol en México, han registrado durante los últimos 11 años importantes cambios, caracterizados sobre todo por los siguientes aspectos:

- ñ Superficie sembrada: tradicionalmente, el frijol ha tenido una importante participación en las áreas dedicadas a la agricultura, el frijol se ha ubicado como el segundo cultivo que mayor superficie sembrada ocupa en México, sólo detrás del maíz y a pesar de que el frijol ha mostrado una ligera disminución en el número de hectáreas dedicadas para su siembra, la

producción de este básico no se ha visto afectada fenómeno derivado principalmente por el incremento en los rendimientos de frijol presentados en los últimos dos años.

- ñ Durante el periodo de 1990-2002, la superficie sembrada mostró una tendencia a la baja, ya que para 1990 la superficie dedicada a la siembra de frijol fue de 2.27 millones de hectáreas, mientras que al final se ubicó en 2.22 millones de hectáreas representando una caída del 0.16 %.
- ñ La estructura de producción en el país cambia de acuerdo al ciclo agrícola, al régimen hídrico, así como a la entidad de referencia. La rentabilidad del frijol no es la excepción, por el contrario, sigue mostrando las enormes dificultades que algunas regiones del país manifiestan para seguir manteniendo este cultivo.
- ñ En principio, es importante señalar que la diversidad de variedades de frijol que se producen en nuestro país, está directamente relacionado con una estructura de mercado que muestra también una diversidad de preferencias. Por ejemplo, los frijoles claros como son el bayo y el Mayocoba son preferidos fundamentalmente en la zona noroeste del país, mientras que en el resto del país, su demanda es limitada. El frijol pinto, sobre todo las variedades flor de mayo y flor de junio, es consumido en mayor medida en la región norte y centro del país. En cambio, el frijol negro tiene una amplia preferencia en el sur del país y en el Distrito Federal (Claridades 2003).
- ñ Esta atomización en las preferencias ocasiona, que exista en ocasiones una mayor oferta en algunas variedades, lo que su movilización y consumo a otras regiones se hace difícil.

En términos generales, el canal de comercialización de frijol en nuestro país se caracteriza por los siguientes aspectos:

- a) Cerca del 20 % de la producción total se destina al autoconsumo.
- b) Los mayoristas de las centrales de abasto absorben el 39 % de la producción.
- c) Las empacadoras el 26 %
- d) La industria el 5 %
- e) Lo interesante de esto es que tanto los mayoristas, empacadores y la industria adquieren el producto no de manera directa sino a través de acopiadores o comercializadores de origen, esto implicaría que el 70 % de la producción nacional es captada por agentes intermediarios.
- f) Un 5 % de la producción nacional se estima es la merma, mientras que un mismo porcentaje es utilizado como semilla (Claridades 2003).

3.1.3 Importancia económica del cultivo de frijol.

Las autoridades federales reconocieron la importancia del frijol como un cultivo básico para la dieta de los mexicanos y estratégico desde el punto de vista productivo, toda vez que se siembra en prácticamente todos los estados de la república y es considerado como el segundo más importante por la superficie cultivada, es decir un millón 600 mil hectáreas (AgroRed 2003).

Actualmente, calculan que el valor agrícola del cultivo de este grano llega a 6 mil millones de pesos y señalan que vale 15 mil millones de pesos toda la cadena agroalimentaria, que incluye el procesamiento y la comercialización. Además, de esta actividad dependen 650 mil productores agrícolas de los cuales ocho de cada 10 productores son marginales y en transición, y genera un total de 76 millones de jornales, que equivalen a 382 mil empleos permanentes.

Tan importante es la cadena productiva del frijol, que a nivel internacional, México ocupa el quinto lugar en producción, con un volumen aproximado de un millón (70 % de la producción es comerciable y el resto, de autoconsumo) y un consumo

aparente de 1.2 millones de toneladas, mientras que el consumo en promedio por mexicano cada año es de 11.8 kg. (AgroRed 2003)

3.2 Pérdidas de granos almacenados.

Las pérdidas poscosecha de granos se han estimado conservadoramente que son alrededor del 10 %, sean granos producidos en México o granos importados, lo cual significa pérdidas económicas multimillonarias. La magnitud de las pérdidas varía de un país a otro y de un año a otro, pero en los países subdesarrollados de Asia, África y América Latina, se calcula que se pierde alrededor del 30 % de la cosecha anual (Munro, 1966; Christensen y Kaufmann, 1969; Sifuentes, 1979; Schnaider, 1991).

Si bien, en el caso de México, las cosechas de maíz y frijol se han reducido, por la falta de rentabilidad de la producción frente a la competencia con el maíz y el frijol del mercado internacional; aún existen millones de campesinos en el medio rural, quienes no cuentan con estructuras de almacenamiento adecuadas para preservar sus cosechas de maíz y del frijol; granos básicos para la alimentación del mexicano.

Lo anterior obliga a los productores primarios a vender sus granos al momento de la cosecha, con la consiguiente desventaja de obtener bajos precios por sus productos al existir elevada oferta en época de cosecha. De ahí que se hace necesario buscar alternativas para almacenar los granos básicos sin menoscabo de su calidad y cantidad, y de preferencia sin el uso de plaguicidas, en estructuras de almacenamiento de bajo costo, entre esas tecnologías el almacenamiento hermético es altamente promisorio

Bajo estas circunstancias, la investigación y el desarrollo de tecnología de poscosecha de granos básicos, por parte de las universidades y centros de investigación de los países subdesarrollados, tienen ahora, más que nunca, un

mayor significado, dadas las precarias condiciones de las agriculturas rurales y por otra parte las grandes importaciones de granos, que también tienen que ser almacenados y conservados, y que no llegan a los países compradores con las mejores condiciones de calidad, lo que hace más difícil su conservación. Las pérdidas de los granos almacenados según las condiciones de almacenamiento se muestran en la gráfica 1 y se pueden clasificar en cuantitativas y cualitativas en los siguientes términos:

•**Precosecha:**

–Pérdidas causadas por enfermedades y plagas de los cultivos.

•**Cosecha:**

–Pérdidas que ocurren justo antes de la cosecha o durante la cosecha.

•**Poscosecha:**

–Pérdidas que ocurren a partir de la cosecha, hasta el momento del consumo y uso de los granos.

GRÁFICA 1: Pérdidas poscosecha.

100 % CALIDAD Y CANTIDAD



3.2.1 Principales plagas del grano de frijol en el almacén.

Lepiz (1982), menciona 28 especies de insectos que atacan al frijol en condiciones de almacén; de las cuales las más importantes son el gorgojo pardo del frijol, *Acanthoscelides obtectus* Say y el gorgojo pinto o mexicano del frijol *Zabrotes subfasciatus* Boheman., ambos insectos afectan a esta leguminosa en estado larvario principalmente y la contaminación en su forma adulta.

Dada la acción nociva y deteriorativa de estos organismos junto con otros factores de tipo biótico y abiótico durante el almacenaje, el frijol suele sufrir daños que repercuten en la calidad; y por lo tanto esto se traduce en pérdidas de carácter económico.

Las plagas de insectos más importantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en almacén son los brúquidos: gorgojo pinto *Z. subfasciatus* Boheman y gorgojo pardo o común *A. obtectus* Say, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en América, así como en los países tropicales y subtropicales de Asia Occidental, África y Europa (Loya, 1977; CIAT, 1979; Aldana y Claves, 1985).

La importancia económica de estos brúquidos no ha sido bien documentada pero estos son una grave plaga de almacén. McGuire y Crandall, (1967) estiman en 35 % las pérdidas de almacenamiento en Centroamérica. Estas dos especies causan pérdidas que varían entre 10 y 20 % en México (Loya y Flores, 1977; Sifuentes, 1985)

Es ampliamente conocido que los gorgojos de *Z. subfasciatus* y *A. obtectus*, son las especies que mayores daños causan al frijol almacenado (CIAT, 1979). Asimismo, según el CIAT (1988), el daño producido por estos insectos ocasiona pérdidas que se estiman de 13 a 15 % en América Latina. Para darse cuenta de lo que significa, en México en 1996 se cosecharon aproximadamente 1,103,000 toneladas de frijol a un precio de referencia de \$3,800 por tonelada, por lo que el daño de estas plagas se estima entre 540 a 630 millones de pesos.

Menéndez (1977) menciona que la pérdida promedio ocasionada por estos gorgojos del frijol es de 22 % de la producción nacional.

Por su parte Moreno (2003), señala que el almacenamiento parcelario, es decir, aquel en el que el grano se queda con el ejidatario o pequeño productor para su consumo, es el más desposeído y afectado por la carencia de facilidades para el almacenamiento y conservación del maíz y del frijol, además de que la producción nacional de estos granos (40 y 25 % respectivamente) se queda en las trojes de los productores.

En México, Sifuentes (1981) señalan que los insectos afectan del 10 al 20 % de la producción de frijol en almacén; así mismo, indican también que el problema se acentúa más en las regiones tropicales secas y húmedas de los estados de Morelos, Guerrero, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Oaxaca y Yucatán.

3.2.2 Daños que ocasiona los gorgojos del frijol *Zabrotes subfasciatus* Boheman. y *Acanthoscelides obtectus* Say. al grano en almacén.

Estos insectos no atacan los cereales al igual que otros brúquidos, pero están con frecuencia presentes como contaminantes procedente de infestación cruzada en los almacenes y más particularmente en los mercados y almacenes de los comerciantes (Gutiérrez, 1989).

Los insectos pueden iniciar la infestación en los granos ya cosechados, sin embargo en la naturaleza se mantienen en leguminosas silvestres de vainas dehiscentes que les sirven como hospederos por lo que este aspecto, hace problemático el control ya que pueden alimentarse de estas plantas, así como del néctar de las flores de una gran diversidad de especies cuando son adultos (Pierre y Pimbert, 1981).

En el cultivo del frijol se ha observado que aquellos con riego insuficiente tienden a ser más susceptibles al ataque de *Acanthoscelides obtectus* y *Zabrotes subfasciatus* desde la etapa de la formación del ejote llegando a presentarse junto con los botones florales (Ramírez, 1991).

Luna y Evangelista (1992), mencionan que las principales plagas que atacan el frijol almacenado aparecen en el campo cuando las vainas empiezan a formarse y que cuando más tarda sin cosecharse el grano, aumenta considerablemente la infestación.

Las pérdidas son ocasionadas por el insecto al perforar la semilla, donde pasan las primeras etapas de su vida y se manifiestan por la reducción en la cantidad de grano o semilla que es consumida directamente por los insectos y por que demeritan o afectan la calidad del grano debido a la presencia de huevecillos, excremento o cuerpos de los mismos insectos.

3.3 Coleoptera, Bruchidae.

3.3.1 Descripción.

Muchos escarabajos de la familia Bruchidae son serias plagas de granos de leguminosas cultivadas (legumbres). Aquellos que aparecen en el almacén depositan huevos en las vainas en desarrollo y los granos en el campo, y como el desarrollo no se puede completar hasta después de la maduración de los granos, a menudo son llevados a los almacenes con la cosecha recolectada. Muchas especies, como la *Bruchus pisorum*, *Bruchus rufimanus* y la *Bruchidius atrolineatus* son incapaces de procrearse en legumbres secas y por lo tanto mueren en condiciones de almacenamiento. Otras, sin embargo, como la *Acanthoscelides obtectus*, *Zabrotes subfasciatus*, y varias especies de *Callosobruchus*, procrean sin problema bajo condiciones de almacenamiento y su número se incrementa rápidamente.

Muchos brúquidos de productos almacenados son capaces de infestar un amplio margen de semillas de leguminosas pero cada especie es característicamente asociada con ciertas plantas hospedantes (Baur, 1983).

Los adultos son fáciles de conocer: el cuerpo, que está cubierto de pequeños pelos, es compacto y globular. Los élitros, son pequeños y exponen el último segmento abdominal (llamado pigidio). Las antenas son largas y, en algunas especies son pectinadas.

Los miembros de los principales géneros pueden ser fácilmente identificados por características en las extremidades posteriores de los adultos. El fémur posterior del *Acanthoscelides* tiene tres estructuras con forma de púa en línea. *Zabrotes* tiene dos espuelas/ramales móviles en el extremo de la tibia posterior. En el *Callosobruchus* spp hay una púa exterior obtuso (despuntados) y una púa interior aguda en el ápice ventral del fémur posterior (Subramanyam y Hagstrum, 1996)

3.3.2 Ciclo de vida y requerimientos ambientales.

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 (H.R.) de 70-80 %. La fecundidad máxima es de cerca de 70 huevos por hembra a los 25 °C y 70 % H.R.

La producción de los gorgojos adultos producidos en varias especies de *P. vulgaris* se muestra en el cuadro 1. En cada variedad el periodo anterior a la puesta de huevos es frecuente durante los primeros 4 días siguientes a la salida

de los adultos de los granos (Baur, 1983). En los frijoles amarillos a 75 % HR y varias temperaturas, la fecundidad del *A. obtectus* es máxima cerca de 55 huevos por hembra a temperatura de 20-29 °C. La mortalidad de las etapas inmaduras es alta, el mínimo que se presenta a los 25 °C es de cerca de 58 %.

En término medio el periodo de desarrollo de los insectos es más corto cerca de 32 días a los 29 °C, se incrementa a 92 días a 18 °C, y a 36 días a 32 °C. Ningún escarabajo completa su desarrollo a los 11 °C. El rango limitado de incremento es máximo de 1.30 hembras/hembras por día a los 29 °C y disminuye a 1.10 a los 18 °C y a 1.19 a los 32 °C (Baur, 1983).

CUADRO 1. Periodo de puesta de huevos y fecundidad de *Acanthoscelides obtectus* en variedades de *Phaseolus vulgaris* bajo condiciones de 29 °C y 75 % H.R.

Variedad	Término medio del periodo de puesta de huevos (días)	Término medio del total de fecundidad (huevos/hembra)
Yellow	13	57
Kidney	18	51
golden grain Snap	10	29

FUENTE: Baur, 1983. Efecto del tipo de dieta en la fecundidad y tabla de vida del *Acanthoscelides obtectus*.

Se han hecho numerosos estudios para determinar la susceptibilidad de diferentes variedades de frijol al ataque de los brúquidos. Los resultados son inconsistentes; variedades de una planta de diferentes partes del mundo parece diferir más en su susceptibilidad de los que difieren algunas especies (Baur, 1983). Especies individuales de plantas hospederas aparecen en la literatura bajo una serie de nombres comunes, muchas de los cuales son nombres locales y otras que representan distintas variedades. La inconsistencia en la asociación de los nombres comunes con los nombres en latín particulares se suma a la confusión.

La historia de vida de seis especies de insectos *A. obtectus*, *Z. subfasciatus*, *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis*, *C. anales*, y *C. rhodesianus* es muy

similar; con excepción de *A. obtectus*, los huevecillos de todas las especies son firmemente adheridos a los granos o vainas, y las larvas incubadas perforan directamente a través del la testa del grano, por otra parte los huevecillos de *A. obtectus* son depositados libremente a lo largo de los granos almacenados o son insertados dentro de rajaduras o grietas en las vainas en crecimiento, y las nuevas larvas incubadas vagan libremente por un tiempo antes de penetrar al grano. El desarrollo post-incubatorio ocurre completamente dentro del grano.

Las larvas excavan alimentándose del cotiledón y mudan cuatro veces antes de alcanzar la etapa de pupa. Mientras se alimenta y crece, la larva forma una cámara que se perfecciona durante el final del estado de larva. La larva reduce esta área a una delgada ventana comiendo la porción del tegumento. Luego se convierte en pupa con sus mandíbulas de frente a la ventana (Klein, 1986).

El nuevo adulto puede permanecer por muchos días antes de escapar empujando la ventana. Normalmente los adultos son sexualmente maduros cuando emergen de la semilla y se aparean poco después de emerger del grano. El periodo anterior a la puesta de huevos son cortos y muchos huevecillos son puestos durante la siguiente semana a la emergencia de los adultos. La puesta de huevos se reduce por la baja humedad para las seis especies, así que la mayor fecundidad se registra a los 70-100 % de HR. Los adultos tienen una corta vida y comen poco o nada de comida sólida, pero beberán agua y néctar. Los adultos son muy activos, pueden correr bien y volar sin dificultad, y son muy visibles corriendo en la superficie de los granos infestados infestadas (Subramanyam y Hagstrum, 1996).

3.3.3 *Zabrotes subfasciatus* (Boheman).

3.3.3.1 Ubicación taxonómica.

Plyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Familia: Bruchidae

Subfamilia: Amblycerinae

género: *Zabrotes*

Especie: *subfasciatus* (Boheman).

Nombre común: gorgojo pinto mexicano

Sinonimia: *Spermophagus pectoralis* (Sharp).

3.3.3.2 Origen y distribución.

El gorgojo de frijol mexicano es otra especie originada aparentemente en América Central y Sudamérica y ahora ampliamente distribuida a lo largo del mundo. Las especies de *Phaseolus vulgaris*, *P. lunatus*, *Vigna subterranea*, *V. Radiata*, y *V. Unguiculata* son sus hospedantes (Baur, 1983).

Z. subfasciatus se distribuye principalmente en las zonas tropicales y subtropicales de México y se considera como plaga primaria por el tipo de daño que ocasiona a la semilla y grano en el almacén (Sánchez et al., 1997; Aldana y Claves, 1985; Ramayo, 1980)

3.3.3.3 Descripción.

El adulto mide 2.4 mm de longitud, es de cuerpo oval, robusto y convexo, posee una cabeza muy pequeña. Es de color pardo a negro, a excepción de la base de las antenas y el ápice de los tarsos. La hembra de mayor tamaño que el macho es de color negro y presenta a simple vista cuatro manchas de color crema en los élitros los cuales son cortos y pubescentes y no cubren totalmente el abdomen,

mientras que el macho es de color pardo uniforme (Gutiérrez, 1992). De cuerpo robusto, tórax tan ancho en la base como longitudinalmente (SARH, 1980). Las antenas son filiformes y sobrepasan la mitad del cuerpo, con los segmentos basales algo rojizas y el resto de color negro. La tibia posterior del adulto presenta dos espinas móviles en el extremo distal. Las hembras adhieren los huevecillos a la superficie del grano. Al eclosionar el huevecillo, la larva inmediatamente penetra al grano perforando el cotiledón y completando su desarrollo dentro. Antes de pupar, la larva hace un agujero circular por donde emergerá el adulto (ver figura 1). Esta especie se caracteriza porque puede causar infestaciones en el campo antes de la cosecha (Klein, 1986).



FIGURA 1: Gorgojo emergiendo del grano de frijol, el cual se encuentra en abundancia en zonas cálido húmedas de los climas tropicales.

3.3.3.4 Biología.

El límite inferior de desarrollo para el *Z. subfasciatus* es probablemente un poco menos de 20 °C y el límite superior está entre los 53 °C y 37.5 °C (Baur, 1983). No obstante, pocos adultos emergen a los 35 °C cuando la humedad es baja. Las condiciones óptimas para el desarrollo de los gorgojos son cerca de 32.5 °C y 70 % HR; bajo estas condiciones el desarrollo requiere cerca de 21/22 días. La fecundidad es máxima cerca de 40 huevos por hembra a los 25 °C y 70 % de HR.

Z. subfasciatus es raro dentro de la familia de los brúquidos puesto que pega de 30-40 % de sus huevos en grupos de dos o más huevos, un hábito que puede ser una adaptación a la vida en los frijoles de bajo contenido de humedad (Subramanyam y Hagstrum, 1996). La mortalidad es más baja entre las larvas incubadas de huevos agrupados que entre aquellas incubadas de huevos diseminados, aun cuando el número total de huevos en un frijol sea el mismo. Este efecto es más pronunciado en los frijoles secos. Utida, S. (1967) sugirió que el agua producida por las larvas agregadas puede suavizar el frijol, con lo cual se reduce la mortalidad.

3.3.4 *Acanthoscelides obtectus* (Say).

3.3.4.1 Ubicación taxonómica.

Plyllum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Suborden: Polyphaga

Familia: Bruchidae

Subfamilia: Amblycerinae

género: *Acanthoscelides*

Especie: *obtectus* (Say).

Nombre común: gorgojo pardo del frijol.

3.3.4.2 Origen y distribución.

Las especie *Acanthoscelides obtectus* es originario de América Central y Sudamérica tropical y subtropical, al igual que *Zabrotes subfasciatus*. También se encuentra en otras regiones templadas del planeta, notablemente en África Central y del Este, Madagascar, países que bordean el Mediterráneo y la India. Principalmente ataca a los frijoles y las habas pero en Uganda y partes del oeste de África, también se han registrado ataques al caupí (especie de garbanzo).

Otras especies del género *Acanthoscelides* se encuentran también en América Central y Sudamérica. Sin embargo, la especie *A. obtectus* está actualmente distribuida en las regiones más templadas. De los brúquidos de mayor importancia por las pérdidas que ocasionan, es más probable que se encuentren en áreas templadas.

El *A. obtectus* es una plaga muy importante de las especies de frijol *P. vulgaris* y *P. lunatus*. También se ha registrado el ataque del *Vicia spp* (frijol de campo, haba cocinera). En el Continente Americano otras especies de *Acanthoscelides* se pueden presentar durante el almacenamiento.

3.3.4.3 Descripción.

El adulto mide aproximadamente de 2,5 a 3.5 mm de largo. El extremo anterior del cuerpo es aguzado y el posterior ancho, cubierto de pelos cortos, presenta un color gris olivo, con élitros que no cubren el extremo del abdomen y pubescentes, con pequeñas bandas transversales y cuerpos robustos como se muestra en la figura 2. El fémur posterior del adulto presenta tres estructuras parecidas a dientes en hilera, característica que los diferencia de otras especies (Subramanyam y Hagstrum, 1996). Las larvas emergen y perforan el grano de frijol más próximo a ella, son de color blanco, curvadas, arrugadas y carecen de patas. Esta especie ahora está ampliamente distribuida en la mayoría de las regiones templadas. Los huevecillos pueden ser puestos en masas o solos en orificios o hendiduras de los granos. Los huevecillos miden en promedio 0.8mm de largo por 0.3mm de ancho, son de color blanco, lisos, de forma cilíndrica-ovoide, con los extremos ligeramente curvos (SARH 1980). La cantidad de huevecillos que puede depositar la hembra es de 45; la madurez de la larva la alcanza a partir de los 27 a los 45 días y la longevidad del adulto puede ser de 10 a 12 días.

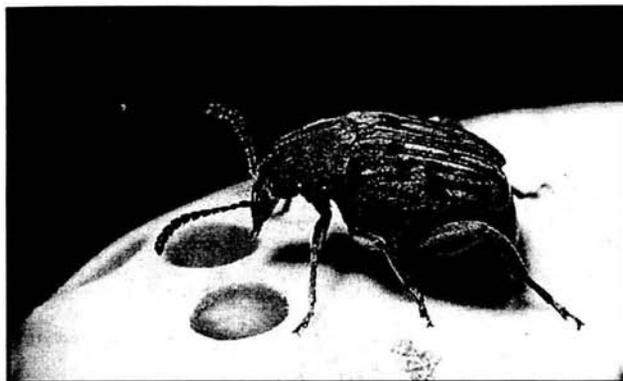


FIGURA 2: Gorgojo pardo *Acanthoscelides obtectus* infestando grano de frijol almacenado.

3.3.4.4 Biología.

Esta especie completa su ciclo de vida en granos secos de leguminosas como el frijol. El ciclo demora alrededor de un mes a 28 °C, pero en invierno puede prolongarse hasta 150 días. La temperatura óptima varía entre 27 y 30 °C y humedad relativa de 75 a 89 %. Las hembras no invernán y los ciclos se suceden ininterrumpidamente. Los adultos tienen gran capacidad de vuelo. En la primavera salen de las bodegas y aparecen en las plantas a medida que estas florecen. La hembra produce alrededor de 150 huevos, que ovipone sobre los granos secos, sin sujeción; en agujeros hechos en las vainas o directamente sobre ellas (Baur, 1983).

La duración del estado larvario varía entre 2 semanas y 6 meses o más, según la temperatura y el contenido de humedad de la semilla. Más de una larva puede desarrollarse por grano. La pupa se encuentra dentro de una celda hecha por la larva. Los adultos emergen por la "ventana" preparada por la larva. El ataque puede continuar en bodega (Klein, 1986). La semilla dañada queda inutilizable para el consumo humano y para ser usada como semilla. Además, esto favorece la proliferación de pudriciones e infestaciones por hongos.

3.4 Composición química del grano.

Las principales sustancias almacenadas por los granos son los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. El principal carbohidrato de reserva en los granos es el almidón. Cuando el almidón es la sustancia de reserva predominante, el grano es denominado amilácea; es llamado oleaginoso cuando los lípidos son las sustancias de reserva predominantes; y proteico cuando éstas son las proteínas.

En el cuadro 2, se presenta la composición química de algunos granos; en él se pueden apreciar marcadas diferencias en la predominancia del material acumulado.

CUADRO 2: Composición química de granos de algunas especies (100 g) (Arias 1993)

ESPECIE	AGUA %	PROTEÍNA (G)	LÍPIDOS (G)	CARBOHIDRATOS		CENIZA (G)
				Total (g)	Fibra (g)	
Frijol blanco	10,9	22,3	1,6	61,3	4,3	3,9
Frijol rojo	10,4	22,5	1,5	61,9	4,2	3,7
Frijol negro y castaño	11,2	22,3	1,5	61,2	4,4	3,8
Maíz	13,8	8,9	3,9	72,2	2,0	1,2
Cacahuete	5,6	26,0	47,5	18,6	2,4	2,3
Arroz (no procesado)	12,0	7,5	1,9	77,4	0,9	1,2
Centeno	11,0	12,1	1,7	73,4	2,0	1,8
Sorgo	11,0	11,0	3,3	73,3	1,7	1,7
Soja	10,0	34,1	17,7	33,5	4,9	4,7
Trigo	13,0	14,0	2,2	69,1	2,3	1,7
girasol	4,8	24,0	47,3	19,9	3,8	4,0

Al considerar el principal compuesto de reserva, los granos se pueden dividir en ricos en carbohidratos, como es el caso de la mayoría de los cereales. Los granos ricos en lípidos como el cacahuete y el girasol son cultivados para ser utilizados como alimento o como materia prima para las industrias. Los granos cuyo material de reserva predominante es la proteína son el frijol y la soja.

El conocimiento de la composición química de los granos es de interés práctico, porque tanto su vigor como su potencial de almacenamiento están influenciados por los compuestos presentes.

3.5 Proceso respiratorio de los granos.

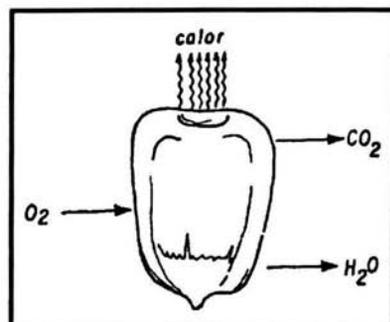
Después de cosechados los granos continúan viviendo y como todos los organismos vivos, respiran.

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 bióxido de carbono y agua como productos metabólicos de desecho.

3.5.1 Proceso respiratorio bajo condiciones aeróbicas.

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 (CO_2) y agua (H_2O) y liberando energía en forma de calor (figura 3).

FIGURA 3: Respiración aeróbica.



La siguiente ecuación representa este proceso:



3.6 Consecuencia del proceso respiratorio.

3.6.1 Pérdida de peso.

Mientras más alto es el contenido de humedad y la temperatura de la masa de granos, más intenso es el proceso respiratorio lo que implica mayor consumo de sustancias orgánicas, rápido deterioro del producto y mayor pérdida de materia seca y peso.

3.7 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.

3.7.1 Temperatura.

Al estudiar la influencia de la temperatura sobre el proceso respiratorio de los granos, diversos investigadores concluyeron que la respiración aumenta rápidamente cuando la temperatura se eleva de 30 °C a 40 °C, y a partir de este punto se produce un acentuado descenso del proceso. Por lo general, el aumento de la temperatura puede acelerar la respiración dos o tres veces hasta un cierto límite, arriba del cual disminuye como resultado de los efectos de desnaturalización por las altas temperaturas sobre las enzimas de los granos.

3.7.2 Contenido de humedad.

El contenido de humedad de los granos influye directamente sobre su velocidad de respiración. Los granos almacenados con contenido de humedad de entre 11 y 13 por ciento tienen un proceso respiratorio lento. Sin embargo, si se aumenta el contenido de humedad, se acelera considerablemente la respiración y, en consecuencia, ocurre un deterioro. El contenido de humedad del producto es un factor fundamental para su conservación.

3.7.3 Hongos.

Recientes investigaciones concluyeron que una parte significativa del gas carbónico (CO₂) que se produce durante la respiración, se debe al metabolismo de los insectos presentes en los granos secos y a los microorganismos, especialmente hongos presentes en los granos húmedos. Cuando los hongos son los principales agentes responsables del aumento del proceso respiratorio se puede llegar a un punto en que los granos húmedos dejan de ser organismos vivos y pasan a ser un substrato alimenticio de los hongos, que siguen respirando y transformando la materia seca de los granos en gas carbónico, agua y calor.

3.8 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 CO₂ y menor la de oxígeno menor será la intensidad respiratoria de los granos almacenados en una bodega o silo.

3.8.1 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. En el cuadro 3 aparece la composición porcentual, en volumen o número de moles, de 100 moles de aire seco.

CUADRO 3: Composición del aire seco.

SUBSTANCIA	FÓRMULA	MASA MOLECULAR (KG KG-MOL-1)	PORCENTAJES EN VOLUMEN (MOLES/100 MOLES)
Nitrógeno	N ₂	28,016	78,084
Oxígeno	O ₂	32,000	20,9496
Argón	Ar	39,948	0,934
Bióxido de carbono	CO ₂	44,010	0,0314
Neón	Ne	20,183	0,001818
Helio	He	4,0026	0,000524
Metano	CH ₄	16,03188	0,0002
Bióxido de azufre	SO ₂	64,064	0,0001
Hidrógeno	H ₂	2,01594	0,00005
Criptón	Kr	83,800	0,0002
Ozono	O ₃	48,000	0,0002
Xenón	Xe	131,300	0,0002

Fuente: Ashrae, 1977

La masa molecular aparente del aire seco es de 28,9645 kg-mol y la del vapor de agua es de 18,1535 kg-mol, ambas en la escala del carbono 12 (Ashrae, 1977). Normalmente, el aire seco tiene vapor de agua asociado, lo que da origen a lo que se denomina aire húmedo que es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor presente en la mezcla puede variar entre cero y un valor correspondiente al estado de saturación. Esto corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede retener a una temperatura determinada.

3.9 Factores que influyen en la calidad de los granos.

Bajo las mismas condiciones de almacenamiento, los granos y las semillas pueden tener calidades diferentes, que dependen de variables ocurridas en etapas anteriores. De este modo, no se puede esperar que un lote de granos de calidad mediana se comporte igual que un lote de granos de alta calidad. La calidad inicial de los granos y de las semillas depende de los siguientes factores:

- ñ Condiciones climáticas durante el período de maduración del grano
- ñ Grado de maduración en el momento de la cosecha
- ñ Daños mecánicos
- ñ Impurezas
- ñ Humedad
- ñ Temperatura
- ñ Microorganismos
- ñ Insectos
- ñ Roedores.

3.9.1 Condiciones climáticas durante el período de maduración del grano.

Las condiciones del clima pueden ejercer gran influencia en dos etapas de la maduración de los granos. La primera corresponde a la etapa en que el grano está acumulando rápidamente materia seca en el campo, antes de ser cosechada; en esta etapa es indispensable la presencia de humedad en el suelo en cantidades adecuadas. Un período de sequía traería como consecuencia una semilla más liviana, es decir, con menor contenido de materia seca y, por lo tanto, serían menos vigorosas y tendrían menor potencial para el almacenamiento. La segunda etapa, en que el grano se muestra particularmente sensible, se presenta cuando alcanza su máximo contenido de materia seca; en este caso el grano se deshidrata rápidamente para entrar en equilibrio con la humedad relativa del aire. Si durante esta etapa llueve mucho, la deshidratación será lenta y el contenido de humedad permanecerá elevado por un período mayor, lo que propicia que los granos se deterioren con rapidez.

3.9.2 Grado de maduración en el momento de la cosecha.

Los granos recolectados antes o después del punto de madurez fisiológica son granos con menor potencial de almacenamiento, ya sea porque no han alcanzado su máximo vigor o porque ya se inició el proceso de deterioración.

3.9.3 Daños mecánicos.

Desde la cosecha hasta el momento del almacenamiento, los granos pueden sufrir impactos que les ocasionan grietas o fragmentaciones. Los granos quebrados se pueden eliminar durante el beneficio, pero no se eliminan los que presentan grietas y que permanecen con la masa de granos que va a ser almacenada. Estos granos se deterioran con gran facilidad y se convierten en focos que afectan a los granos sanos.

Un grano se puede dañar mecánicamente bajo las siguientes circunstancias.

ñ **En la cosechadora.**

Se trata de una de las más importantes fuentes de daño y ocurre en el momento del desgranado, es decir, cuando se separan los granos de la estructura que los contiene (vaina, mazorca, etc.).

ñ **Durante el beneficio.**

El daño ocurre durante las sucesivas caídas de los granos desde diversas alturas. Los granos y las semillas pasan por una serie de equipos desde que llegan del campo hasta que se almacenan, presentándose rozamientos y caídas.

ñ **Durante el almacenamiento.**

El daño ocurre tanto en el almacenamiento a granel como en sacos. Los granos que quedan debajo de una pila de sacos o de un montón a granel tienden a quebrarse por el peso de los que están arriba.

ñ **Durante el transporte.**

Este daño se produce como consecuencia de la falta de una buena supervisión durante la carga y descarga, sobre todo de camiones o vagones. Los obreros que realizan esta labor debieran estar conscientes de la importancia que tiene el no dañar los granos y tratar los granos envasados o a granel con el debido cuidado.

3.9.4 Impurezas.

Los granos que contienen impurezas (fragmentos del mismo producto) y materias extrañas (residuos vegetales y cuerpos extraños, como tierra, etc.) son portadores de una mayor cantidad de microorganismos y presentan condiciones que facilitan su deterioro. Las materias extrañas impurezas, bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura del aire, presentan contenidos de humedad más altos que el producto.

La acumulación de impurezas y materias extrañas en determinadas zonas de un silo vertical o de un granero forma una masa compacta y húmeda que dificulta las operaciones de secado, aireación y fumigación. En general, los granos almacenados presentan un espacio vacío del 40 al 50 % del volumen que ocupan. Si la masa de los granos contiene un alto porcentaje de polvo, fragmentos del producto y cuerpos extraños, éstos ocuparán los espacios vacíos, lo que dificultará las diversas operaciones. El espacio intergranular deberá estar exento de impurezas y materias extrañas, con la finalidad de que presente condiciones óptimas para el paso del aire caliente (secado), del aire frío (aireación) y de los fumigantes. El contenido de impurezas y materia extrañas también es de gran importancia desde el punto de vista comercial. Cuando el producto está sucio es clasificado como de menor calidad y sufre una considerable reducción de precio.

3.9.5 Humedad.

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.

3.9.5.1 Contenido de humedad de los granos.

Los granos están constituidos 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. El agua existente en la estructura orgánica de los granos se presenta bajo distintas formas, pero para fines prácticos se consideran dos tipos de agua: el agua libre que se retira fácilmente por medio de calor, y el agua que retiene la materia sólida y que sólo se libera por la acción de altas temperaturas, lo que puede originar la volatilización y descomposición de las sustancias orgánicas y, por lo tanto, la destrucción del producto.

El contenido de humedad de los granos se expresa, por lo general, como porcentaje del peso total del grano (base húmeda):

$$\% \text{ en base húmeda} = \frac{PA}{PT} \times 100$$

PA = peso del agua

PT = peso del agua + peso de la materia seca (peso total del grano)

3.9.6 Temperatura.

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.

3.9.7 Microorganismos.

Los hongos son los principales microorganismos presentes en los granos almacenados y constituyen la más importante causa de pérdidas y deterioro durante el almacenamiento. Prefieren ambientes o sustratos 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: hongos de campo y hongos del almacenamiento.

3.9.7.1 Hongos de campo.

Así son llamadas las especies que invaden 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 %. 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 %.

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.

3.9.7.2 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 %. 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:

- ñ Disminución del poder germinativo
- ñ Decoloración del grano
- ñ Calentamientos
- ñ Cambios bioquímicos
- ñ Posible producción de toxinas
- ñ Pérdida de la materia seca.

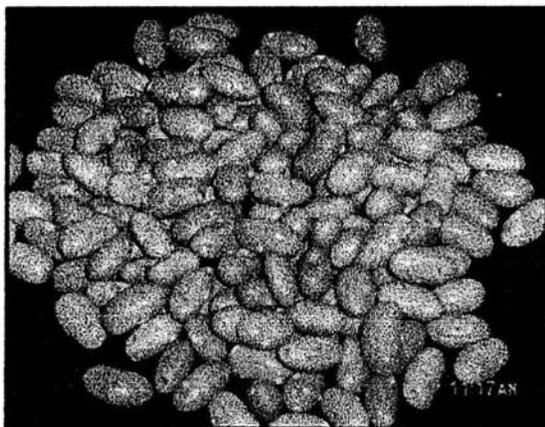
En silos y bodegas, los daños causados por los hongos del almacenamiento son mayores que los producidos por los hongos de campo.

3.9.8 Insectos.

Los insectos son importantes agentes que pueden causar 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 bióxido de carbono y una reducción del contenido de oxígeno del medio ambiente.

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 oviposición. Si el embrión sobrevive, las reservas del endospermo pueden ser insuficientes para el desarrollo normal de la plántula (figura 4).

FIGURA 4: Granos dañados por insectos.



Los insectos son portadores de hongos que pueden debilitar o consumir las semillas o atacar la plántula 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 del grano 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 plántula débil o incapaz de sobrevivir.

La infestación se origina tanto en el campo como en el almacén. Los insectos del almacenamiento comúnmente se encuentran presentes en almacenes, silos, trojes, depósitos en general e inclusive en casas-habitación, por lo que el grano puede infestarse fácilmente al ser almacenado 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.

3.9.8.1 Temperatura.

La mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados son de origen subtropical y tropical. En la 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.

3.9.8.2 Humedad.

El contenido de humedad de los granos es un factor crítico para la sobrevivencia 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 inhibe el de los insectos. Los granos de cereales con humedad inferior al 10 % inhiben la actividad de los insectos.

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.

3.9.9 Roedores.

En muchos países, los roedores ocasionan grandes daños a los cultivos y a los productos almacenados. Los cereales son muy vulnerables al ataque de los

roedores, por lo que probablemente son los que ocasionan mayores daños a los productos almacenados, principalmente por parte de los pequeños agricultores.

Las pérdidas que ocasionan los roedores a los productos almacenados pueden ser de tres tipos: en primer lugar, los roedores consumen una cierta cantidad del producto; en segundo lugar contaminan una cantidad mucho más grande de productos y, por último, causan graves daños a los envases. Además de los daños directos que ocasionan a los productos almacenados, los roedores también son portadores de enfermedades transmisibles a los seres humanos. Los productos almacenados, contaminados por deposiciones, orina y parásitos de los roedores son focos de contaminación para quienes los manejan o consuman.

El tiempo de almacenamiento y la conservación de su calidad están estrechamente correlacionados con el contenido de humedad y la temperatura de la masa de granos, como se muestra en el cuadro 4. Cada producto debe tener un contenido de humedad adecuado para que pueda ser almacenado con seguridad, como aparece en el cuadro 5.

CUADRO 4: Tiempo seguro de almacenamiento en función de las diferentes temperaturas y el contenido de humedad de los granos.

TEMPERATURA DEL GRANO	CONTENIDO DE HUMEDAD (% BASE HÚMEDA)						
	14	15,5	17	18,5	20	21,5	23
(°C)	Días						
10,0	256	128	64	32	16	8	4
15,5	128	64	32	16	8	4	2
21,1	64	32	16	8	4	2	1
26,6	32	16	8	4	2	1	0
32,2	16	8	4	2	1	0	0
37,8	8	4	2	1	0	0	0

Fuente: Christensen, 1974.

CUADRO 5: Contenido de humedad para el almacenamiento adecuado de algunos productos.

PRODUCTOS	CONTENIDO DE HUMEDAD
Cacahuete	8 %
Arroz en cáscara	12 %
Avena	12 %
Cebada	13 %
Frijol	11 %
Maíz	13 %
Soja	11 %
Sorgo	12 %
Trigo	13 %
Café beneficiado	9 a 13 %

Fuente: Puzzi, 1977.

3.10 Higroscopicidad de los granos.

Los granos de las diversas especies de cereales, oleaginosas y otros son de naturaleza higroscópica; es decir su contenido de humedad varía de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire ambiente donde se encuentran. El grano puede ganar humedad (absorción) o perder humedad (desorción). Para cada combinación de temperatura y humedad relativa del aire, existe un contenido de humedad del grano que se mantiene en equilibrio con esa temperatura y humedad relativa (ver cuadro 6); ese contenido de humedad es denominado "humedad de equilibrio del grano".

La afinidad entre los granos y el agua es comúnmente denominada higroscopicidad. El potencial de absorción de agua de las sustancias que constituyen el grano puede ser representado gráficamente o en la forma de tablas. Una isoterma describe la cantidad de agua absorbida por un material biológico (contenido de humedad) a una cierta temperatura y humedad relativa que se mantienen constantes.

3.10.1 Actividad acuosa del agua.

El concepto de actividad acuosa del agua (A_w) está relacionado con su potencial químico; la actividad del agua es, en la práctica, igual a la humedad relativa de equilibrio expresada en decimal:

$$A_w = \frac{\text{H.R. de E (\%)}}{100}$$

La actividad del agua es un indicador de la disponibilidad de este elemento para la actividad biológica del grano y de los microorganismos que lo atacan. Para considerar la estabilidad de un producto almacenado y sus riesgos de deterioro, se debe analizar la actividad del agua en conjunto con la temperatura.

En una masa de granos almacenados con determinado contenido de humedad ("H") y temperatura ("T"), la temperatura y humedad relativa del aire del espacio intergranular, están en equilibrio con las condiciones del grano. Esto quiere decir que la temperatura del aire y del grano entrarán en equilibrio, y que la humedad relativa del aire estará determinada por el contenido de humedad y por la temperatura de equilibrio aire-grano.

3.10.2 Disponibilidad de agua y estabilidad del grano en almacenamiento.

Las reacciones químicas y bioquímicas requieren un mínimo de "agua solvente" para poder comenzar, así su velocidad aumenta en función de la cantidad de "agua solvente" disponible. Como ejemplo se pueden citar las reacciones enzimáticas, las reacciones de maduración, hidrólisis de proteínas y la gelatinización de carbohidratos. La actividad del agua de los granos por debajo de 0,65, prácticamente elimina el riesgo de crecimiento de hongos; en consecuencia se evita su deterioro. Los granos con contenido de humedad y temperatura que corresponden a la actividad del agua entre 0,65 a 0,70 pueden ser almacenados por un período de tiempo corto (algunos meses) (Arias, 1993). La actividad de los

hongos, con esa disponibilidad de agua, es lenta; por ejemplo, si hubiese un foco de insectos, la elevación de la temperatura debida a la respiración de los mismos podría ocasionar un aumento de la velocidad de crecimiento de los hongos y el deterioro del producto. Los granos con contenido de humedad y temperatura que corresponde a la actividad del agua superior a 0,70 no están en condiciones aptas para el almacenamiento, puesto que la disponibilidad de agua es elevada. En efecto, la actividad biológica de los granos y de los microorganismos será más rápida (Arias, 1993).

CUADRO 6: Contenido de humedad de equilibrio del frijol (%)

HUMEDAD RELATIVA (%)													
Temperatura (°C)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
10	8,8	9,5	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,9	14,7	15,7	16,8	18,2	19,
12	8,8	9,5	10,2	10,8	11,5	12,3	13,0	13,8	14,7	15,7	16,8	18,1	19,
14	8,7	9,4	10,1	10,8	11,5	12,2	13,0	13,8	14,6	15,6	16,7	18,1	19,
16	8,6	9,3	10,0	10,7	11,4	12,2	12,9	13,7	14,6	15,5	16,7	18,0	19,
18	8,6	9,3	10,0	10,7	11,4	12,1	12,9	13,7	14,5	15,5	16,6	18,0	19,
20	8,5	9,2	9,9	10,6	11,3	12,0	12,8	13,6	14,5	15,4	16,6	17,9	19,
22	8,5	9,2	9,9	10,6	11,3	12,0	12,7	13,6	14,4	15,4	16,5	17,9	19,
24	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,7	13,5	14,4	15,3	16,5	17,8	19,
26	8,3	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,5	14,3	15,3	16,4	17,8	19,
28	8,3	9,0	9,7	10,4	11,1	11,8	12,6	13,4	14,3	15,3	16,4	17,7	19,
30	8,2	9,0	9,7	10,3	11,1	11,8	12,5	13,4	14,2	15,2	16,3	17,7	19,
32	8,2	8,9	9,6	10,3	11,0	11,7	12,5	13,3	14,2	15,2	16,3	17,7	19,

Fuente (Arias, 1993)

3.11 Almacenamiento hermético de granos.

El sistema de almacenamiento hermético, ha sido utilizado desde épocas remotas para la preservación de granos (Sigout, 1980); siendo este sistema una alternativa promisoría para el almacenamiento de las cosechas en el medio rural de los países subdesarrollados. Su principio básico radica en la eliminación del oxígeno y

en el incremento del bióxido 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 et al., 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. Los hongos pueden crecer a una muy baja concentración de oxígeno, a bajo de casi 0.2 % (Peterson et al., 1965).

En el medio rural este sistema de almacenamiento puede resolver el problema de almacenamiento de granos básicos para el autoconsumo y para mantener la calidad de los granos que posteriormente podrán venderse a precios más justos para el productor.

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.

3.11.1 Principio de almacenamiento hermético.

Si se pudiera sellar un ecosistema en almacenaje para prevenir la entrada o salida del aire, el metabolismo respiratorio de los insectos, el contenedor y el mismo grano disminuirían el contenido de oxígeno aumentando el de bióxido de carbono de la atmósfera intergranular hasta un nivel donde la respiración aeróbica no fuera más posible. Este es el principio detrás del almacenaje hermético. Sin embargo, a pesar de que suena simple en teoría, en la práctica es mucho más complejo.

El importante rol de las bajas concentraciones de oxígeno preferible a las altas concentraciones de bióxido de carbono dentro de la causa de mortalidad de los insectos de productos almacenados bajo el almacenaje hermético fue demostrado

por Bailey (1980). Solo después fue la importancia del efecto sinérgico en la circunstancia de disminución demostrada del oxígeno y acumulación de bióxido de carbono para el control de los insectos (Calderón y Navarro, 1979; 1980). Estos efectos sinérgicos son esenciales para el control exitoso de insectos, como fue demostrado por estudios en los efectos del hermetismo incompleto sobre las poblaciones de insectos (Oxley y Wickenden, 1963; Burrel, 1968). Además, entre más bajo es el contenido de humedad en el grano y la correspondiente humedad intergranular, más alta es la mortalidad, gracias al efecto deshidratante que causa en los estados inmaduros de los insectos aunado por el bajo contenido de oxígeno (Navarro, 1978), o por las elevadas concentraciones de bióxido de carbono (Navarro, 1973). La influencia de la temperatura en la respiración de los insectos implica que en climas cálidos el oxígeno respirado por los insectos está más concentrado. Por el contrario, en climas templados el metabolismo de los insectos es mucho más lento, la disminución del oxígeno puede ser menor a su consumo, y no se puede registrar un control de insectos. Lo anterior condujo a Burrel, 1980 a postular que para una infestación ligera de grano fresco, la población residual realizara una inoculación para reinfestar el grano después de que fuera sacado del almacenaje hermético.

Existen también efectos subletales de las atmósferas modificadas sobre los insectos, los cuales son principalmente: retraso en el desarrollo, metamorfosis perturbada, decremento de la fecundidad y longevidad y en algunos casos parálisis parcial (Bailey y Banks, 1980).

3.11.2 Historia del almacenamiento hermético.

3.11.2.1 Silos subterráneos.

La literatura más destacada sobre el almacenaje sellado de grano llamado "Almacenaje Hermético" ha sido bien resumido por Hyde et al., 1973 y De Lima, 1990. A partir de eso emerge una clara imagen del almacenaje subterráneo en

pozos desde los tiempos prehistóricos hasta el presente, como un método tradicional que es frecuentemente lo suficientemente hermético para permitir a los insectos y demás organismos aeróbicos en el grano reducir las concentraciones de oxígeno por debajo del nivel que permita el desarrollo de los insectos. Estos pozos, fueron excavados en tierra o roca y algunas veces están revestidos con paredes de apoyo de ladrillo o cemento. Sin embargo, la situación ideal de reducción de oxígeno y acumulación de bióxido de carbono como fue demostrada en los experimentos de laboratorio de (Oxley y Wickenden, 1963) se registra raramente. Esto es generalmente causado por el intercambio de gases entre las paredes del pozo y el techo y por la absorción de bióxido de carbono por el mismo grano y algunas veces por las paredes del pozo (Hyde y Daubney, 1960).

3.11.2.2 Estructuras semi-subterráneas.

La construcción a gran escala para el almacenaje prolongado del excedente de grano en Argentina durante la segunda guerra mundial consistió en zanjas debajo y sobre el suelo revestido de concreto y cubiertas de techos flexibles (Anon, 1949). Los intentos posteriores de realizar un almacenaje hermético fueron los cajones Cyprus construidos en los 50's (Hyde et al., 1973). Estos consistían en pozos cónicos revestidos de concreto coronados por domos con armazón de concreto. Estos fueron exitosamente usados bajo condiciones herméticas por algunos años. Las versiones mejoradas de estas estructuras fueron construidas después en Kenya para el almacenaje hermético de la reserva nacional de grano (De Lima, 1990).

3.11.2.3 Estructuras sobre el piso a pequeña escala.

Otro método tradicional usado para la subsistencia y por pequeños productores ha sido el almacenaje de grano en calabaceas selladas, que se cree que proveen de un sello hermético incompleto a menos que sean tratados con un material sellador

(Mc Farlane, 1970). Un método relacionado adoptado por algunos países tropicales ha sido la adaptación de tambos de petróleo vacíos y otros cilindros de metal para almacenaje (Pattinson, 1970; Sakho, 1971). Para prevenir el desarrollo de fuertes infestaciones antes de que se realice el control, estos cilindros metálicos deben estar completamente llenos, esto porque cuando solo se llenan parcialmente el volumen de espacio superior puede seguir siendo mucho (en relación con el del grano) y el desarrollo de las poblaciones puede causar daños perceptibles antes de que las concentraciones de oxígeno se reduzcan lo suficiente para interrumpir el desarrollo.

3.11.3 Almacenaje hermético moderno.

3.11.3.1 Estructuras rígidas sobre el suelo.

La información documental sobre la aplicación exitosa del almacenaje hermético en construcciones sobre el suelo son muy deficientes. Muchos silos existentes y depósitos han sido modificados para proveer un alto grado de sellado hermético especialmente en Australia (Delmenico, 1993). Sin embargo los objetivos han sido convertir estos almacenajes en un tratamiento de atmósfera modificada o mejorar las fumigaciones y no el almacenaje hermético como tal.

En contraste, el sellado de costales apilados y bultos de grano en almacenes en China usando un revestimiento plástico es parte de un régimen de preservación de grano denominado "Triple-Low". Esto, es un acercamiento integrado al control de insectos consistente en la obtención de una reducción en las concentraciones de oxígeno por la actividad metabólica dentro de los bultos de grano en combinación con la fosfina y los tratamientos de baja temperatura (Wang et al., 1993; Xu Y Wang, 1993). Este procedimiento es exigido para una efectiva protección.

3.11.3.2 Estructuras flexibles sobre el suelo.

A principios de los 70's, las estructuras a nivel del suelo fueron diseñadas en Inglaterra para almacenaje de emergencia usando revestimientos flexibles de plástico apoyados en un armazón de malla. Estos revestimientos fueron hechos de plástico butilo, algunas veces laminado con EPDM blanco, y consistían ya fuera en una sección de piso y paredes, más una sección de techo unida después de cargarse, o de ambas secciones unidas en una sola unidad. Estos silos fueron recomendados tanto para el almacenaje convencional y hermético de grano seco (Kenneford y O'Dowd, 1981). Sin embargo, bajo climas tropicales y subtropicales se encontró que los revestimientos se deterioraban, y la permeabilidad del gas se incrementaba a un nivel donde los revestimientos no podían ser usados más para el almacenaje hermético (Navarro y Donahaye, 1976; O'Dowd y Kenneford, 1982).

3.11.3.3 Estructuras flexibles subterráneas.

El mayor acercamiento a los registros de los menores niveles de O_2 y las mayores acumulaciones de CO_2 se ha encontrado en los pozos forrados con revestimientos plásticos con el fin de mejorar el sello hermético (Donahaye et al., 1967, Dunkel et al., 1987). Con un intento similar se han desarrollado almacenajes subterráneos a pequeña escala para el almacenaje de los granjeros de maíz y frijoles secos en Brasil (Sartori y Costa, 1975; Sartori, 1987). Claramente esta tecnología no se ha permitido a sí misma múltiples usos.

3.11.4 Problemática del almacenamiento hermético.

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. Esta es una ventaja considerable en estos días de conciencia ecológica. 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.

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 bajos costos para una capacidad de 1 tonelada o menos (ver figura 5). Las altas áreas de superficie para las porciones de volumen necesitan de un revestimiento con una alta permeabilidad a los gases.

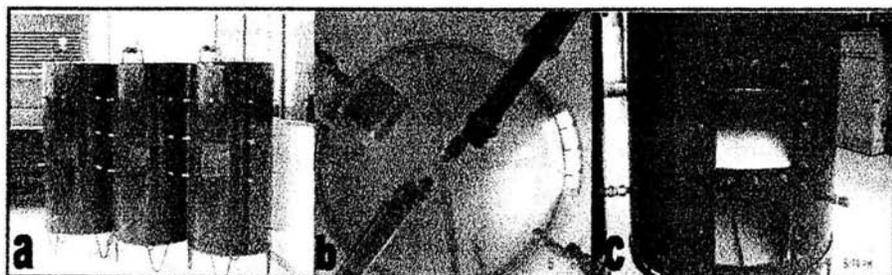


FIGURA 5: a) Silos metálico hermético experimental (cap. 500 kg) para almacenamiento de granos y semillas (UNIGRAS); b) Interior del silo donde se muestran las conexiones para cajas de muestreo de insectos y para toma de muestras de oxígeno y bióxido de carbono; c) Tapa de descarga del grano y plenum con lamina perforada.

4. Materiales y métodos.

4.1 Ubicación del experimento.

El proyecto de investigación se llevo a cabo en la unidad de investigación de granos y semillas (UNIGRAS), ubicada en el centro de asimilación tecnológica y vinculación (CAT), de La Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán.

La UNIGRAS se estableció en la FES-Cuautitlán en el año de 1996. El objetivo principal de la UNIGRAS es el de realizar investigación y desarrollo tecnológico útil y de alta calidad, enfocadas a reducir las pérdidas, cuantitativas y cualitativas, de los granos y semillas en su etapa de poscosecha.

4.2 Material de experimentación.

Gorgojos de *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say. obtenidos del laboratorio de entomología del colegio de postgraduados de chapingo y del INIFAP de Zacatepec, Morelos.

Grano de frijol variedad Mayocoba (peruano), producido en la entidad de Culiacán, Sinaloa adquirido en la central de abastos de la Ciudad de México.

4.3 Manejo del experimento.

4.3.1 Grano de frijol.

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.

A el grano adquirido se le realizaron pruebas físicas y biológicas (describiéndose mas adelante) para conocer el estado que guarda el material a utilizar, del lote se tomaron muestras y se homogenizaron para que sean razonablemente uniformes en sus diferentes componentes (Moreno, 1996) siendo esto para todas las pruebas realizadas:

4.3.2 Contenido de Humedad.

La medición de humedad debe ser exacta, ya que el contenido de humedad (C.H.) 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; este 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 (C.H.) 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).

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

Pi = peso de la muestra antes del secado

Pf = 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 $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un período de 72 horas. (Arias, 1993 y Moreno, 1996)

Para determinar el C.H. 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 5 y 8 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 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 72 hrs, 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.

4.3.3 Germinación.

Se determinó el porcentaje de germinación para saber la relación que guarda con respecto al consumo de oxígeno en el sistema de almacenamiento hermético.

Se tomó una muestra de grano de frijol del lote previamente homogenizado para obtener una representatividad del total del lote a trabajar. Se realizó la prueba de germinación por medio de rollos de germinación. En papel absorbente húmedo se colocaron 50 granos de frijol y se distribuyeron alternadamente para evitar amontonamiento y contaminación, posteriormente se cubrieron con otro papel enrollándolos haciendo 4 repeticiones por duplicado, se metieron en bolsas plásticas con perforaciones para evitar el exceso de humedad y se colocaron en paneras en incubadoras a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, se hizo una primera evaluación a los cuatro días y después a los siete días, haciendo conteo de las semillas germinadas, duras y

mueras sacando promedios y obteniendo el porcentaje de germinación como se muestra en el cuadro 7, según la Association of Official Seed Analysts (AOSA).

Se utilizó grano de frijol Mayocoba (peruano) ya que esta variedad presenta mayor grado de susceptibilidad al ataque de *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say. Con un contenido de humedad inicial de 10.75 % y un porcentaje de germinación de 96 %.

REPETICIÓN	# GRANOS GERMINADOS	# GRANOS MUERTOS	PROM	%	% GERMINACION
R1	49	1			
R2	49	1	X= 48.5	97	
R3	48	2			
R4	48	2			X = 96.5
R1	47	3			
R2	48	2	X= 48	96	
R3	50	0			
R4	47	3			

CUADRO 7: Prueba de germinación de grano de frijol variedad Mayocoba, por el método de rollos de germinación en papel absorbente, incubados a 25 °C

Aun que la respiración del grano es muy baja ya que reduce su metabolismo al mínimo manteniéndose latente; la respiración de estos influye en el consumo de oxígeno en un sistema de almacenamiento hermético, haciendo efecto con el consumo de oxígeno que realizan los insectos y microorganismos agotando el oxígeno en menor tiempo con un porcentaje de germinación alto.

4.3.4 Eliminación de huevecillos y larvas de insectos.

El grano de frijol variedad Mayocoba, se colocó durante 72 horas en un congelador a -4 °C para eliminar posibles huevecillos y larvas de insectos.

4.3.5 Micobiota.

La micobiota de los granos almacenados está constituida por una gran variedad de microorganismos, siendo los hongos los principales. La disponibilidad de agua y la temperatura son los principales factores que influyen en el crecimiento de los microorganismos en granos almacenados.

Se llevó a cabo micobiota para tener un registro de los hongos de campo y almacén presentes en el lote de frijol que se utilizó para el experimento, y así poder comparar al final del experimento que relación se presenta en los sistemas de almacenamiento hermético y abierto, si se modifica el porcentaje de infestación de los hongos. Se utilizaron dos medios de cultivo para determinar la micobiota, malta sal agar (MSA) para hongos de almacenamiento que se desarrollan en el almacenamiento y papa dextrosa agar (PDA) para hongos de campo (Moreno, 1996).

Se tomaron 100 granos de la muestra, se colocaron en un frasco con hipoclorito al 3 %, agitándolas durante un minuto, se les quito el exceso de la solución y se procedió a sembrar en las cajas de petri; lo anterior para cada medio de cultivo MSA y PDA; posteriormente se colocaron en una panera y se metieron en incubadora a 25 °C, haciendo revisiones a los cuatro y seis días tomando como porcentaje cada grano invadido por colonia e identificando los hongos desarrollados en medio de montaje de alcohol polivinílico.

La prueba de micobiota resulto ser muy favorable ya que el lote de grano de frijol Mayocoba presentó un bajo porcentaje de invasión por hongos, (ver tabla No. 8) tomándose en cuenta que los hongos son saprofitos y viven en el suelo agrícola e infestan el grano desde que se forma y otros que se adquieren en el almacén por condiciones favorables para su desarrollo. En las revisiones se encontraron hongos de campo como lo son *Alternaria spp.* y *Cladosporium spp.*, siendo para el medio de cultivo MSA 4 % de invasión de *Alternaria spp.* y para PDA 2 % de invasión de *Alternaria spp.* y para *Cladosporium spp.* 3 % de invasión. Este bajo

porcentaje de invasión por hongos nos determina primeramente un buen manejo en el sistema de producción donde se controlaron bien las enfermedades y por otro lado buenas condiciones de almacenamiento o un corto tiempo de almacenamiento ya que aun el grano no era invadido por los hongos de almacén.

MUESTRA	# CAJA	NO INVASION	Alternaria spp	Cladosporium spp	%
MSA	1	0			
	2	0			
	3		3		
	4	0			4 %
	5	0			
	6	0			
	7		1		
PDA	1	0			
	2		1	1	
	3	0			
	4	0			5 %
	5	0			
	6			2	
	7		1		

CUADRO 8: Prueba de micobiota en grano de frijol variedad Mayocoba para hongos de almacén y de campo con malta sal agar y papa dextrosa agar respectivamente.

4.3.6 Ajuste de humedad.

Para ajustar los diferentes contenidos de humedad en el grano para su evaluación, así como para mantener constante la humedad del grano en el sistema de almacenamiento abierto se prepararon tres soluciones sobresaturadas con diferentes sales (grado técnico) para obtener humedades relativas (H.R.) que se equilibren con el contenido de humedad del grano a 10 %, 12 % y 15 %. (Arias, 1993)

Se ajustó el contenido de humedad (C.H.) del grano a 10 % exponiéndolo en solución sobresaturada de 1.0 l de agua destilada y 1.1 kg de carbonato de potasio (K_2CO_3), dándonos una H.R. de 46 % colocado en paneras de plástico; para 12 % de C.H., 900 ml de agua y 1.0 kg de bromuro de sodio (Na Br),

dándonos una H.R. de 59 % y para 15 % de C.H., 1.5 l de agua y 1.6 kg de cloruro de sodio (Na Cl), dándonos una H.R. de 75 %; las paneras se colocaron en incubadora a 25 °C. Para la medición de la humedad relativa (H.R.) en las paneras con las soluciones se utilizaron termo higrómetros digitales; el C.H. del grano se estuvo determinando hasta contenido de humedad del grano constante, siendo así para los tres contenidos de humedad del grano llegando al equilibrio entre los 18 a 20 días de exposición con las sales.

4.3.7 Insectos *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say.

Con la finalidad de disponer de individuos suficientes para llevar a cabo el experimento se propagó la población de ambos brúquidos *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* en el laboratorio siguiendo las recomendaciones del CIAT (1979).

La variedad de frijol Mayocoba se infestó con las especies en estudio, colocando dos frascos grandes con 1.5 kg de frijol y aproximadamente 500 insectos por especie, estos frascos se colocaron en la cámara de cría a $28\text{ °C} \pm 2$ con 75 % de humedad relativa y un fotoperíodo de 18 horas luz y 6 horas oscuridad. En esta etapa de la investigación se realizaron varias pruebas preliminares, entre ellas cuantificar el ciclo de vida de las especies, para sincronizar los días de emergencia de los insectos y determinar la longevidad de los insectos para establecer el tiempo de experimentación.

4.3.8 Longevidad.

En frascos de 250 ml se colocaron 150 g de frijol y 30 insectos* haciendo cinco repeticiones por especie, colocándolos en la cámara de cría a $28\text{ °C} \pm 2$ con 75 % de H.R. y fotoperíodo de 18 hrs luz por 6 hrs oscuridad, muestreando cada tres días, haciendo conteo de insectos vivos y muertos hasta mortalidad total de los insectos.

La prueba de longevidad, que es el tiempo que vive un gorgojo adulto nos permite establecer con mayor confiabilidad el diseño del experimento en cuanto a los muestreos, dándonos esto el tiempo que tendrá la investigación. Como se puede observar en el cuadro 9, la longevidad de *Zabrotes subfasciatus* fue de 12 días y para *Acanthoscelides obtectus* de 14 días.

<i>A. obtectus</i>							<i>Z. subfasciatus</i>					
repeticiones	3	6	9	12	14	15		3	6	9	12	13
R1	28	14		0	0	0		28	13	8	1	0
R2	27	13		3	1	0		25	7	4	0	0
R3	30	16		2	1	0		25	3	1	0	0
R4	29	11		0	0	0		26	8	5	2	0
R5	29	11		1	0	0		22	7	5	0	0

CUADRO 9: Prueba de longevidad de los insectos que atacan al frijol *Z. subfasciatus* Boh. y *A. obtectus* Say.

*Se utilizaron insectos adultos con un tiempo no mayor de 24 horas de emergidos.

4.3.9 Identificación de características de diferenciación entre especies.

Después de que nos fueron facilitados los gorgojos por el Colegio de Postgraduados y el INIFAP de Zacatepec, Morelos se procedió a identificarlos y reconocer la característica que identifica una especie de otra. Por una parte *Z. subfasciatus*, las hembras son de color negro con manchas blancas amarillentas en el dorso y el macho es de color café pardo, la hembra adhiere sus huevecillos en el grano y en cuanto a su morfología el fémur posterior es liso y en el extremo de la tibia tiene dos espolones largos rojizos, *A. obtectus*, son de color gris pardo, con pequeñas bandas negras transversales en los élitros, pone sus huevecillos libremente en el grano, y a diferencia de *Zabrotes obtectus* en el fémur posterior tiene una púa grande y dos pequeños en línea.

4.4 Desarrollo del experimento.

- a) Para el almacenamiento hermético y abierto del grano de frijol, con tres contenidos de humedad 10, 12 y 15 % se utilizaron frascos de vidrio de 250 ml, tapas con malla para el almacenamiento abierto; tapas con tapón de hule para toma de muestras en el caso de almacenamiento hermético, y papel aluminio, parafilm y cera para sellar los frascos.
- b) En cada unidad experimental (U.E.) se utilizaron 150 g de grano y 20 insectos con un tiempo no mayor de 24 hrs de emergidos para estandarizar las edades. Las unidades experimentales se establecieron como destructivas.
- c) En el sistema de almacenamiento abierto, los frascos se colocaron en las mismas soluciones sobresaturadas para mantener las diferentes humedades (10, 12 y 15 %) durante el tiempo de experimentación y tanto los frascos del sistema hermético como el abierto se colocaron en la cámara de cría con una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, una humedad relativa de 75 % y un fotoperíodo de 18 horas luz.
- d) En el almacenamiento hermético se determinó el porcentaje de oxígeno y de bióxido de carbono usando un equipo analizador digital de gases marca Illinois, el cual nos cuantifica los gases hasta partes por millón. Se calibra automáticamente, tomando como patrón el contenido de oxígeno 20.9 % y bióxido de carbono 0.03 % en el medio ambiente .
- e) Después de determinar el contenido de oxígeno y bióxido de carbono en el sistema 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; se tomaron entre 5 y 8 g del grano por duplicado, para la determinación del contenido de humedad por el método de estufa; posteriormente a todas las U.E. de sistema hermético y abierto (a las U.E. de sistema 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 les colocó en la cámara de cría (sin insectos) con el grano ovipositado. La determinación de la

emergencia de la F1 se cuantificó diariamente desde su inicio hasta el final (se dio un tiempo de dos semanas más para asegurar que había terminado la emergencia en todos los tratamientos) de esta para obtener las curvas de emergencia en los dos sistemas de almacenamiento.

- f) Las determinaciones se llevaron a cabo cada tres días (72 hrs.) durante 21 días (siete muestreos), contenido de humedad, mortalidad, emergencia de la F1 y porcentaje de grano dañado, excepto para la microbiota la cual se realizó inicial y final. Para la determinación de la microbiota se dividió la muestra sólo en el séptimo muestreo, la mitad para las determinaciones de contenido de humedad y microbiota (100 granos por U.E.) y la otra mitad para la emergencia y porcentaje de grano dañado.
- g) El porcentaje de grano dañado se realizó cuantificando el total del grano contenido en las U.E. para obtener el porcentaje lo más real posible; tomando como grano dañado a los que presentaban ventanas abiertas y/o presencia de cavidad pupal.
- h) Se realizó el experimento de longevidad de *Z. subfasciatus* Boh. y *A. obtectus* Say. en las condiciones que se menciona en los cuadros y gráficas 16 y 17, ya que en los experimentos preliminares se llevó acabo en condiciones normales (con grano) obteniendo como resultados una longevidad de 12 y 14 días respectivamente; pero en el primer muestreo (3 días de almacenamiento) al retirar los insectos (vivos) de la determinación de mortalidad, se colocaron en un frasco sin grano de frijol y se observó que para el cuarto muestreo en las U.E. del sistema abierto (12 días de almacenamiento) ya no había insectos vivos, y si en el frasco donde se colocaron los insectos que se retiraron del primer muestreo; así se montó el experimento de longevidad con y sin grano para determinar está en diferentes condiciones.

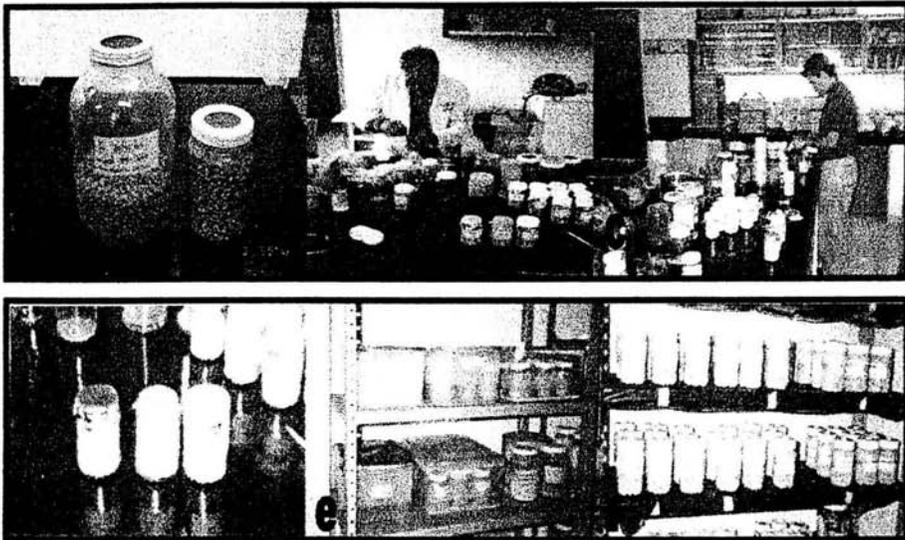


FIGURA 6: a) Cría de insectos en frascos con grano de frijol var. Mayocoba para experimento; b) Montaje de experimento, colocando los insectos en las U.E.; c) Preparación de los frascos para almacenamiento hermético, colocando los insectos en las U.E.; d) Frascos donde se muestran las diferentes capas de materiales, parafilm, papel aluminio y tapa de plástico con tapón de hule para toma de muestras, en el sistema hermético; e) Colocación de las U.E. de sistema abierto en las paneras con las soluciones saturadas para cada contenido de humedad, en la cámara de cría; y f) Las U.E. de sistema hermético se colocaron en los gabinetes de la cámara de cría.

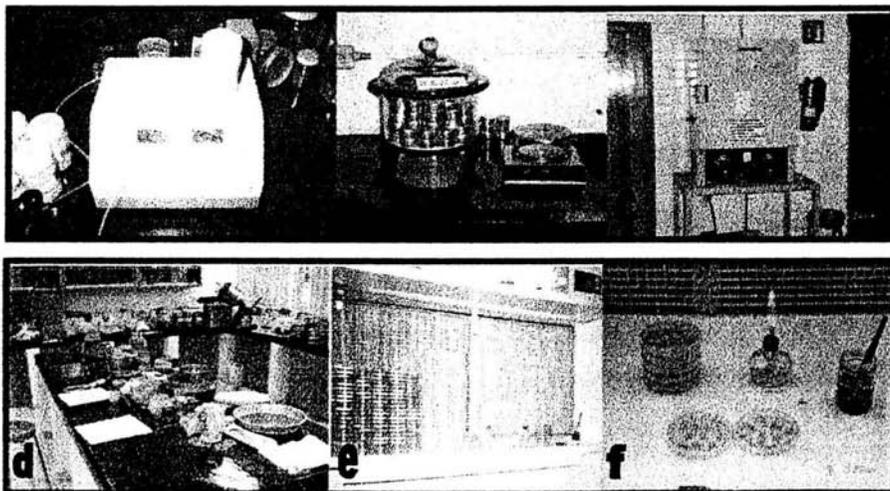


FIGURA 7: a) Análisis de los contenidos de oxígeno y bióxido de carbono, en equipo digital; b) Equipo para determinación del contenido de humedad; c) Estufa de corriente de aire caliente para eliminar la humedad de los granos; d) Mesa de trabajo en el laboratorio de entomología; e) campana de flujo laminar, con cajas de petri con medio de cultivo para micobiota; f) Siembra del grano en MSA para registro de hongos en los granos.

4.5 Diseño experimental.

En los experimentos con las dos especies de insectos, se evaluaron dos sistemas de almacenamiento; abierto y hermético, con tres contenidos de humedad del grano 10, 12 y 15 % a siete diferentes tiempos cada 72 horas.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $3 \times 7 \times 2$ con tres repeticiones, donde el primer factor corresponde al contenido de humedad, el segundo a los tiempos de muestreo y el tercero a los tratamientos (sistema abierto y hermético) teniendo un total de 126 unidades experimentales por especie de insectos. De existir diferencias significativas se usará la prueba de Tukey 0.05, para la comparación de medias.

Para la comparación entre especies, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $3 \times 7 \times 2 \times 2$ con tres repeticiones, donde el primer factor corresponde al contenido de humedad, el segundo a los tiempos de muestreo, el tercero a los tratamientos (sistema abierto y hermético) y el cuarto a las dos especies de insectos *Zabrotes subfasciatus* Boh. y *Acanthoscelides obtectus* Say, teniendo un total de 252 unidades experimentales.

4.5.1 Variables de estudio.

ñ Contenido de Oxígeno y Bióxido de Carbono.

Porcentaje de Oxígeno y Bióxido de Carbono en las U.E. del sistema hermético y tomando las cantidades de estos gases en el aire para el sistema abierto.

ñ Mortalidad de los Insectos.

Número de insectos muertos en cada U.E.

ñ Emergencia de la F1.

Número de insectos emergidos a través del tiempo de almacenamiento hasta 40

días después de su inicio de emergencia por tratamiento, tomando las lecturas diariamente.

ñ Grano Dañado.

Porcentaje de grano dañado a través del tiempo de almacenaje, tomando como base el total del grano por U.E.

ñ Micobiota.

Al grano que se adquirió se le realizó la prueba de micobiota, tomándola como inicial y se determinó al séptimo muestreo (21 días de almacenamiento) para comparar el registro de hongos después de la actividad de los insectos en el grano.

CUADRO 10: Calendario de actividades de experimento final para cada especie de insecto y cada sistema de almacenamiento. (0 días, montaje de experimento)

DETERMINACIONES	DÍAS																
	0	3	6	9	12	15	18	21	28	29	30	31	32	33	34	35.....	60
O ₂	X	X	X	X	X	X	X	X									
CO ₂	X	X	X	X	X	X	X	X									
MORTALIDAD	X	X	X	X	X	X	X	X									
C. H.	X	X	X	X	X	X	X	X									
EMERgENCIA F ₁									X	X	X	X	X	X	X	X	X
GRANO DANADO																	X X
MICOBOTA	X							X									

5. Resultados y discusión.

Los resultados que se obtuvieron de los experimentos realizados en esta investigación se muestran en los cuadros y en las gráficas que a continuación se presentan. Tanto en los cuadros como en las gráficas se muestran las medias correspondientes de las tres repeticiones que en cada tratamiento se establecieron como unidades experimentales.

Contenido de humedad del grano.

En cuanto al ajuste del contenido de humedad (C.H.) utilizando humedades relativas de 46 %, 59 % y 75 % con las diferentes soluciones sobresaturadas con las sales mencionadas en materiales y métodos se logró la obtención de los contenidos de humedad deseados para estos experimentos tanto en almacenamiento hermético como en almacenamiento abierto; ya que al mantener una humedad relativa (H.R.) constante sobre el grano, está se equilibró con el C.H. del grano como lo menciona Moreno en 1996.

En general el contenido de humedad deseado en los diferentes tratamientos se mantuvo constante a través del periodo de almacenamiento como se muestra en el cuadro 11. Sin embargo, hubo ligeras modificaciones en mayor o menor porcentaje del contenido de humedad inicial, presentándose una marcada diferencia en el grano almacenado con el contenido de humedad de 15 %, al aumentar hasta en 16 y 17 % (ver cuadro 11 y anexo gráficas 10 y 11).

CUADRO 11: Contenidos de humedad en grano de frijol variedad Mayocoba, infestado con el insecto *Zabrotes subfasciatus* y *Acanthoscelides obtectus*.

ESPECIE	SIST. DE ALMACENAJE	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
			0	3	6	9	12	15	18	21
<i>Z. subfasciatus</i>	Hermético	10	10.2	10.5	9.8	10.3	10.4	9.7	9.9	9.8
		12	11.8	12.1	11.6	12.4	11.6	11.5	11.7	11.6
		15	15.1	15.3	14.6	15.0	15.0	14.5	14.8	14.4
	Abierto	10	10.2	10.3	9.9	10.6	10.6	10.0	10.7	10.9
		12	11.8	11.9	11.6	12.1	12.2	11.7	12.4	12.8
		15	15.1	15.1	14.8	15.4	16.1	15.5	15.9	16.5
<i>A. obtectus</i>	Hermético	10	10.2	10.3	10.4	10.3	10.5	10.4	10.4	10.4
		12	12.2	12.2	12.2	12.5	12.3	12.5	12.3	12.4
		15	15.9	16.3	16.1	16.2	16.4	16.4	16.4	16.8
	Abierto	10	10.2	10.4	10.4	10.4	10.6	10.7	10.8	11.0
		12	12.2	12.3	12.3	12.3	11.9	12.4	12.5	13.0
		15	15.9	16.3	16.3	16.4	16.5	16.3	16.7	17.1

Las mismas soluciones sobresaturadas con las que se ajustaron los diferentes contenidos de humedad, se utilizaron para mantener las U.E. durante el periodo de almacenamiento abierto con el contenido de humedad inicial con el cual se montó el experimento; las U.E. del sistema de almacenamiento hermético, mantuvieron el C.H. inicial debido al hermetismo del sistema, no permitiendo el intercambio de humedad con el ambiente exterior. Las variaciones que se presentaron en los C.H. son atribuidas a que la actividad de los insectos con el grano aceleró el proceso de respiración de los granos generando agua y energía en forma de calor, aumentando así el C.H. de los granos; siendo más marcada la variación a partir de los nueve días de almacenamiento como se puede ver en el cuadro 11 y en las gráficas 10 y 11 del anexo.

Consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono.

El consumo de oxígeno y la producción de bióxido de carbono son los principales parámetros que definen la efectividad del almacenamiento hermético sobre la calidad de la conservación de los granos almacenados, ya que de estos factores depende la actividad de los insectos y el daño que le pueden causar a los granos.

El consumo de oxígeno y la generación de bióxido de carbono ocurrió con las dos especies de insectos aquí estudiadas. En el caso del insecto *Z. subfasciatus* en el grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 10 % a los nueve días de almacenamiento el nivel de oxígeno fue de 9.8 % y fue decreciendo hasta llegar al final del periodo de almacenamiento de 21 días con un nivel de 5.8 %, en el caso del grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 12 % a los nueve días de almacenamiento fue de 7.5 % para ir decreciendo hasta 3.6 % a los 21 días de almacenamiento, en el grano con 15 % de humedad a los nueve días fue de 6.7 % para ir decreciendo hasta 1.8 % como se muestra en la gráfica 2. En el grano almacenado con una atmósfera normal de oxígeno (almacenamiento abierto) como era de esperarse no hubo alteraciones en este parámetro.

En cuanto al bióxido de carbono en caso del grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 10 % a los nueve días de almacenamiento fue de 5.73 % para ir incrementando hasta 7.3 % a los 21 días de almacenamiento, en el grano con 12 % de humedad a los nueve días de almacenamiento fue de 6.77 %, para ir incrementándose hasta 10.5 %, en el grano ajustado con 15 % de contenido de humedad a los nueve días de almacenamiento el nivel de bióxido de carbono fue de 7.37 % y se incremento al final del almacenamiento 11.5 %; estos datos se muestran en la gráfica 2.

En el caso del almacenamiento abierto al igual que en el oxígeno no hubo alteraciones en el grano almacenado con una atmósfera normal de bióxido de carbono (almacenamiento abierto) como era de esperarse no hubo alteraciones en este parámetro.

En el caso del insecto *A. obtectus* en el grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 10 % a los nueve días de almacenamiento el nivel de oxígeno fue de 3.4 % y fue decreciendo hasta llegar al final del periodo de almacenamiento de 21 días con un nivel de 2.1 %, en el caso del grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 12 % a los nueve días de almacenamiento fue de 2.0 % para ir decreciendo hasta 1.8 % a los 21 días de almacenamiento, en el grano con 15 % de humedad a los nueve días fue de 3.6 % para ir decreciendo hasta 0.5 %, ver gráfica 3. En el grano almacenado con una atmósfera normal de oxígeno (almacenamiento abierto) como era de esperarse no hubo alteraciones en este parámetro.

En cuanto al bióxido de carbono en caso del grano almacenado con un contenido de humedad inicial de 10 % a los nueve días de almacenamiento fue de 9.5 % para ir incrementando hasta 9.13 % a los 21 de almacenamiento, en el grano con 12 % de humedad a los nueve días de almacenamiento fue de 9.7 %, para ir incrementándose hasta 9.4 %. En el grano ajustado con 15 % de contenido de humedad a los nueve días de almacenamiento el nivel de bióxido de carbono fue de 9.43 % y se incrementó al final del almacenamiento a 9.6 %. (gráfica 3)

En el caso del almacenamiento abierto al igual que en el oxígeno no hubo alteraciones en el grano almacenado con una atmósfera normal de bióxido de carbono (almacenamiento abierto) como era de esperarse no hubo alteraciones en este parámetro.

En el consumo de oxígeno y producción del bióxido de carbono *A. obtectus* consumió el oxígeno más rápidamente que *Z. subfasciatus*. En cuanto al bióxido de carbono se observó un fenómeno similar en *A. obtectus* generando bióxido de carbono más rápido que el *Z. subfasciatus*.

Estos patrones de comportamiento del consumo de oxígeno y generación de bióxido de carbono, en ambas especies, se manifestó bajo los tres contenidos de humedad (10, 12 y 15 %), en que se almacenaron herméticamente los granos de frijol. A los 9 días de almacenamiento en los tres tratamientos con humedades de 10, 12 y 15 % se observaron los niveles de oxígeno letales para ambas especies (gráficas 2,3 y 4,5); sin embargo, los niveles de oxígeno y bióxido de carbono no son similares para ambas especies aun cuando la mortalidad fue del 100 %. Lo cual se discutirá más adelante en la sección de mortalidad de los insectos aquí estudiados.

CUADRO 12: Consumo de oxígeno por el insecto *Zabrotes subfasciatus*, en frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	20.9 a ¹	14.8 b ²	11.5 c ²	9.8 d ²	6.9 e ²	6.5 e ²	6.6 e ²	5.8 e ²
	12	20.9 a ¹	14.3 b ^{2,3}	10.4 c ³	7.5 d ³	5.5 e ³	4.8 e ³	3.6 f ³	3.6 f ³
	15	20.9 a ¹	15.0 b ²	10.3 c ³	6.7 d ³	3.9 e ⁴	2.7 e ⁴	2.3 ef ⁴	1.8 f ⁴
Abierto	10	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹
	12	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹
	15	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las comparaciones de medias para *Z. subfasciatus* entre los diferentes contenidos de humedad, en los diferentes tiempos de almacenamiento para el consumo de oxígeno, existen diferencias significativas a partir de los seis días de almacenamiento entre el C.H. de 10 % y los de 12 y 15 % de C.H. siendo estos últimos estadísticamente iguales en los 6 y 9 días; pero a partir del día 12 hasta el día 21 en todos los C.H. existe significancia (cuadro 12). Las diferencias ocurridas en estas diferencias de contenido de oxígeno, coinciden con el tiempo de la mortalidad de los insectos, los cuales consumieron en mayor cantidad el oxígeno y después de los doce días el consumo disminuyó, ya que el consumo de oxígeno en este periodo es ocasionado principalmente por el grano; y las diferencias se dan por los diferentes contenidos de humedad, siendo que a mayor contenido de humedad mayor respiración del grano.

La generación de bióxido de carbono en la atmósfera del almacenamiento hermético, solo presentó diferencia significativa en los tres contenidos de humedad al día 21 de almacenamiento (cuadro 13). Entre muestreos como se mencionó anteriormente para el O₂ y el CO₂, a medida que avanzaban los muestreos el O₂ disminuía y el CO₂ aumentaba presentándose con esto diferencias significativas en las comparaciones de medias con Tukey, $\alpha=0.05$.

CUADRO 13: Producción de bióxido de carbono por el insecto *Zabrotes subfasciatus*, en frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.

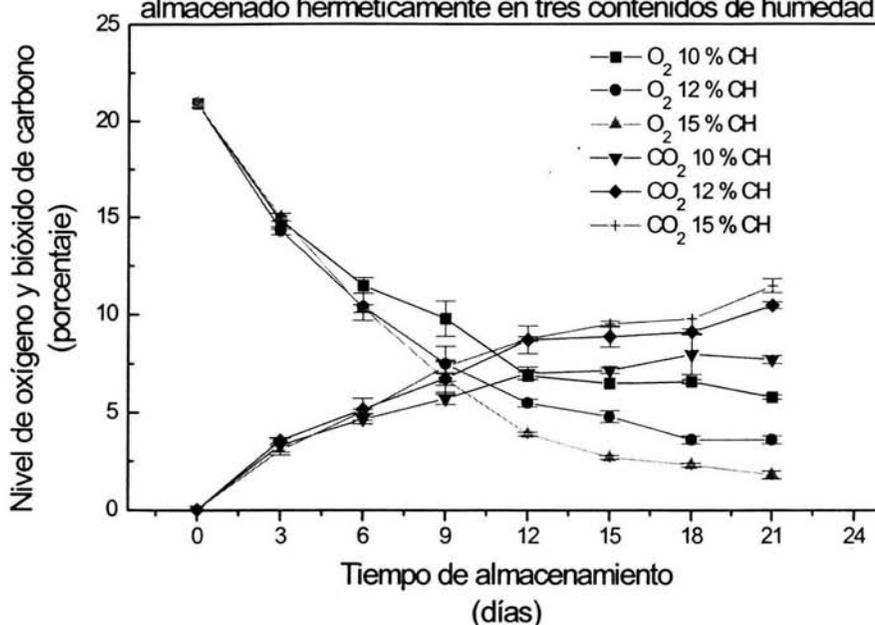
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0.03 d ¹	3.33 d ¹	4.67 b ¹	5.73 b ¹	7.03 a ²	7.17 a ²	8.00 a ^{1 2}	7.73 a ³
	12	0.03 f ¹	3.57 f ¹	5.17 d ¹	6.77 c ¹	8.73 b ¹	8.90 b ¹	9.13 b ^{1 2}	10.50 a ²
	15	0.03 g ¹	3.07 g ¹	5.07 e ¹	7.37 d ¹	8.77 c ¹	9.53 b ¹	9.80 b ¹	11.50 a ¹
Abierto	10	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ⁴
	12	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ⁴
	15	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ³	0.03 a ⁴

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

Gráfica 2: Consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono, por el insecto *Zabrotes subfasciatus* en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.



CUADRO 14: Consumo de oxígeno por el insecto *Acanthoscelides obtectus*, en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	20.9 a ¹	10.8 b ³	3.5 c ³	3.4 c ²	2.4 c ²	2.3 c ²	2.3 c ²	2.1 cd ²
	12	20.9 a ¹	10.6 b ³	5.4c ²	2.0 d ³	2.3 d ²	1.6 d ³	1.9 d ³	1.8 d ³
	15	20.9 a ¹	11.1 b ^{2,3}	3.6 c ³	1.8 d ³	1.0 e ³	0.8 e ³	0.8 e ⁴	0.5 e ⁴
Abierto	10	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹
	12	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹
	15	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹	20.9 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

La diferencia entre *A. obtectus* y *Z. subfasciatus* en el consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono radica principalmente en que *A. obtectus* consumió y generó más rápido los gases analizados ya que para los 9 días en donde también se produjo la totalidad de la mortalidad, para los tres contenidos de humedad 10, 12 y 15 %, siendo de 3.4 % O₂, 9.5 % CO₂; 2.0 % O₂, 9.7 % CO₂ y 1.8 % O₂, 9.43 % CO₂ respectivamente son mucho más bajos (cuadro 14, gráfica 3). Estos datos concuerdan con lo mencionado por Moreno *et al.*, 1992; Moreno *et al.*, 2000, donde se menciona que los insectos mueren cuando el aire en el almacén contiene 3 % o menos de oxígeno y también con Bailey y Banks, 1980; mencionando que la mayoría de los insectos de productos almacenados, mueren cuando la concentración de oxígeno es alrededor de 2 % por volumen de aire intergranular.

Al igual que con el insecto *Z. subfasciatus*, *A. obtectus* no consumió la totalidad del oxígeno en la atmósfera del almacenamiento hermético en los diferentes tiempos de almacenamiento, debido a que murieron antes de consumir el total del oxígeno, con una combinación de bajos contenidos de oxígeno y bióxido de carbono elevado; obteniendo porcentajes para los contenidos de humedad de 10, 12 y 15 %, de 2.1, 1.8 y 0.5 % de oxígeno respectivamente finales a los 21 días; esta rapidez del consumo y los bajos contenidos del oxígeno se atribuyen a que *A. obtectus* (mide 3.5 mm) es de mayor tamaño que *Z. subfasciatus*, (que mide 2.4 mm), debido a esta diferencia de tamaños presentan diferentes tasas de respiración; además que *A. obtectus* es más activo.

En las comparaciones de medias entre los diferentes contenidos de humedad (cuadro 14), para el caso de *A. obtectus* en los diferentes tiempos de almacenamiento para el consumo de oxígeno, existen diferencias significativas a partir de los seis días de almacenamiento entre el C.H. de 10 % y los de 12 y 15 % de C.H. siendo estos últimos estadísticamente iguales en los 6, 9, 12 y 15 días; y en los días 18 y 21 en todos los C.H. existe diferencia significativa.

CUADRO 15: Producción de bióxido de carbono por el insecto *Acanthoscelides obtectus* en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0.03 c ¹	5.13 b ¹	9.20 a ¹	9.50 a ¹	9.13 a ²	9.23 a ¹	8.93 a ³	9.13 a ²
	12	0.03 d ¹	5.16 c ¹	8.10 b ²	9.70 a ¹	9.27 a ¹	9.47 a ¹	9.33 a ²	9.40 a ²
	15	0.03 d ¹	4.77 c ¹	8.53 b ^{1,2}	9.43 a ¹	9.73 a ¹	9.47 a ¹	9.57 a ¹	9.60 a ¹
Abierto	10	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ⁴	0.03 a ³
	12	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ⁴	0.03 a ³
	15	0.03 a ¹	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ³	0.03 a ²	0.03 a ⁴	0.03 a ³

CH= contenido de humedad del grano de frijol

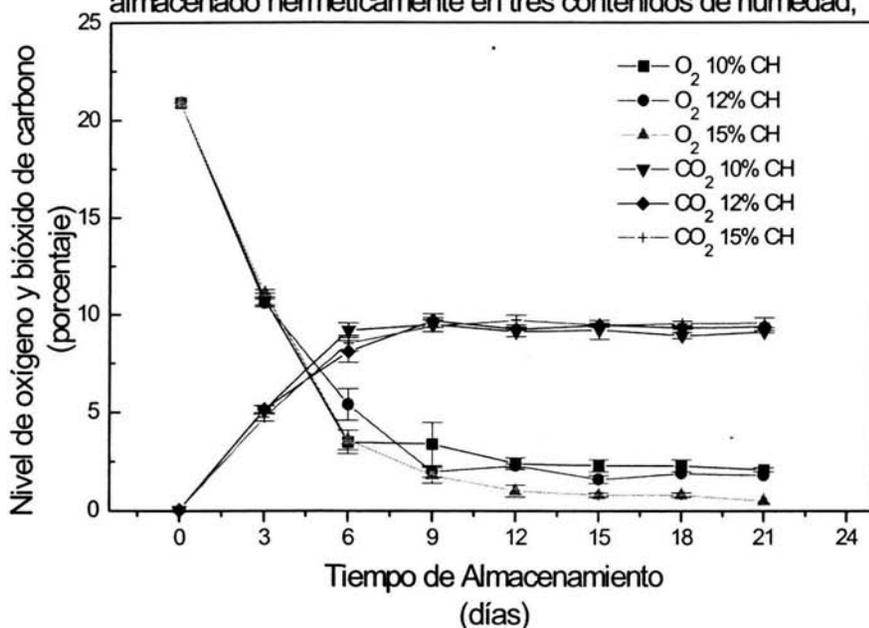
En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

La generación de bióxido de carbono en la atmósfera del almacenamiento hermético, sólo presentó diferencia significativa entre muestreos en los tres contenidos de humedad al día 18 de almacenamiento y para el día 21 al 15 % de C.H. fue estadísticamente diferente al los C.H. de 10 y 12 %; esta situación se atribuye a que el bióxido de carbono proviene del metabolismo respiratorio, coincidiendo los valores más altos (ver cuadro 15) al periodo en que se contaba con insectos vivos que son los que cuentan con mayor tasa de respiración como lo menciona Moreno *et al.*, 2000.

Entre muestreos se obtuvo diferencia significativa hasta el día 9 de almacenamiento ya que a partir de este estadísticamente las medias con Tukey, $\alpha=0.05$ fueron iguales no habiendo diferencia significativa.

Gráfica 3: Consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono, por el insecto *Acanthoscelides obtectus* en grano de frijol almacenado herméticamente en tres contenidos de humedad,



Mortalidad.

Como ya se mencionó en resultados la mortalidad total de ambas especies ocurrió entre los 6 y 9 días de almacenamiento para el caso de almacenamiento hermético (ver gráficas 4 y 5). Se señala lo anterior, considerando que el diseño del experimento no permitió saber exactamente en que día ocurrió el 100 % de mortalidad.

Como ya se señaló a los 9 días de almacenamiento los insectos de ambas especies se presentó el total de la mortalidad (cuadros 18 y 19 del anexo); sin embargo la especie de *Z. subfasciatus*. presentó dicha mortalidad cuando los niveles de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento fue del 11.5 % al 6.7 % (cuadro 12); correspondiendo el 11.5 % al frijol almacenado a los 6 días con un

contenido de humedad del 10 % y el 6.7 % en el frijol almacenando 9 días con un contenido de humedad del 15 %.

En cuanto al bióxido de carbono el nivel que se generó al 100 % de la mortalidad para *Z. subfasciatus* fue para el grano de 10 % de contenido de humedad a los 6 días 4.67 y de 7.37 a los 9 días de almacenamiento con un contenido de humedad de 15 %. (cuadro 13)

Para *Z. subfasciatus* nos indican que bajo los contenidos de 10, 12 y 15 % (cuadro 11) y niveles de oxígeno de 11.5 a 6.7 % (cuadro 12) así como, niveles de bióxido de carbono (cuadro 13) de 4.67 a 7.37 % causan la muerte total de la población de insectos.

Para *A. obtectus* presentó dicha mortalidad (cuadro 19 del anexo) cuando los niveles de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento fue del 3.5 % al 1.8 %; correspondiendo el 3.5 % al frijol almacenado a los 6 días con un contenido de humedad del 10 % y el 1.8 % en el frijol almacenando 9 días con un contenido de humedad del 15 %. (cuadro 14)

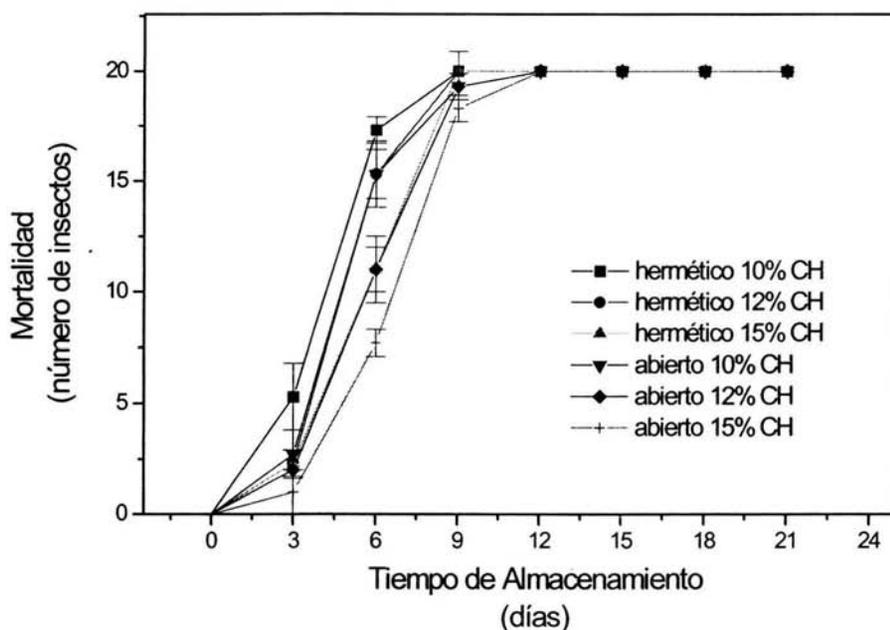
En cuanto al bióxido de carbono el nivel que se generó al 100 % de la mortalidad como se muestra en el cuadro 15 para *A. obtectus* fue para el grano de 10 % de contenido de humedad a los 6 días 9.2 % y de 9.43 % a los 9 días de almacenamiento con un contenido de humedad de 15 %.

Para *A. obtectus* nos indican que bajo los contenidos de 10, 12 y 15 % (cuadro 11) y niveles de oxígeno de 3.4 a 1.8 % (cuadro 14) así como, niveles de bióxido de carbono (cuadro 15) de 8.1 a 9.7 % causan la muerte total de la población de insectos.

La mortalidad como se mencionó en la presentación de resultados del consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono se presentó en su totalidad para las dos especies de insectos en el noveno día de almacenamiento para el sistema

hermético, considerando que el diseño del experimento no permitió saber exactamente en que día mueren, entre el sexto y noveno día, tomando en consideración que para el sexto día ya había pocos insectos vivos para las dos especies.

Gráfica 4: Mortalidad del insecto *Zabrotes subfasciatus* a través del tiempo de almacenamiento en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, con tres contenidos de humedad.



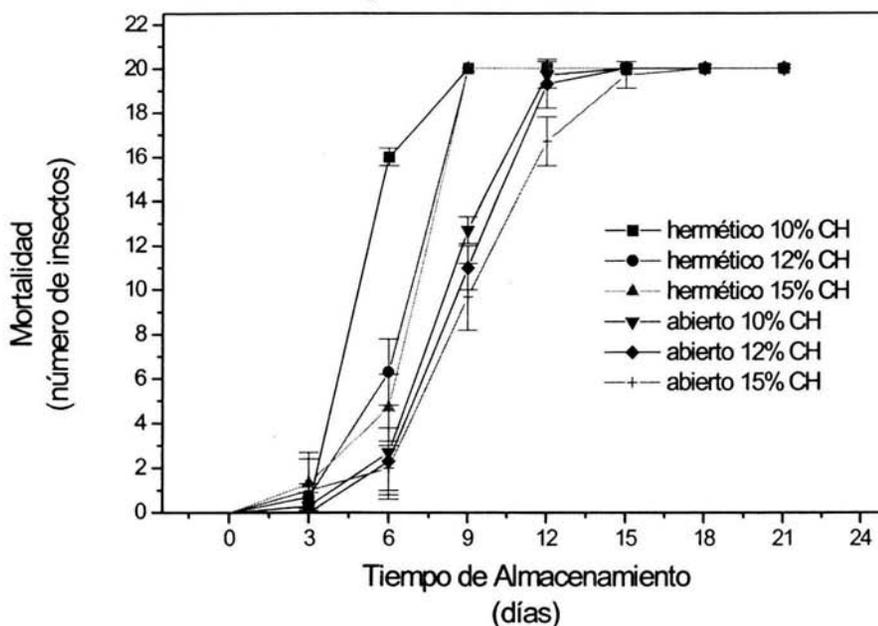
Para el sistema de almacenamiento abierto en el caso de *Z. subfasciatus* la mortalidad total fue a los 12 días y para *A. obtectus* fue a los 14 días concordando estas fechas con las reportadas en los experimentos preliminares (para longevidad de los insectos) y por Golob *et al.*, en 1982.

Tomando en cuenta la diferencia en el consumo de oxígeno entre las dos especies de insectos, se tiene que *Z. subfasciatus* resultó ser más susceptible a las bajas concentraciones de oxígeno que *A. obtectus* ya que si bien murieron en el mismo tiempo, *Z. subfasciatus* contó con mayor contenido de oxígeno a los nueve días en la atmósfera del almacenamiento hermético.

La humedad jugó un papel muy importante en la mortalidad de los insectos ya que se obtuvieron diferencias significativas en los contenidos de oxígeno y bióxido de carbono para las dos especies, y que al combinarse potencian el efecto de atmósfera desfavorable para su desarrollo y que al agregar este otro factor, actúan en conjunto para favorecer la mortalidad.

El efecto sinérgico que ocurre con la disminución del oxígeno y acumulación de bióxido de carbono para el control de los insectos como lo menciona Calderón y Navarro, en 1980, siendo estos efectos sinérgicos esenciales para el control exitoso de insectos, como fue demostrado por estudios en los efectos del hermetismo sobre las poblaciones de insectos de Oxley y Wickenden, 1963; Burrel, 1968.

Gráfica 5: Mortalidad del insecto *Acanthoscelides obtectus* a través del tiempo de almacenamiento en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, con tres contenidos de humedad.



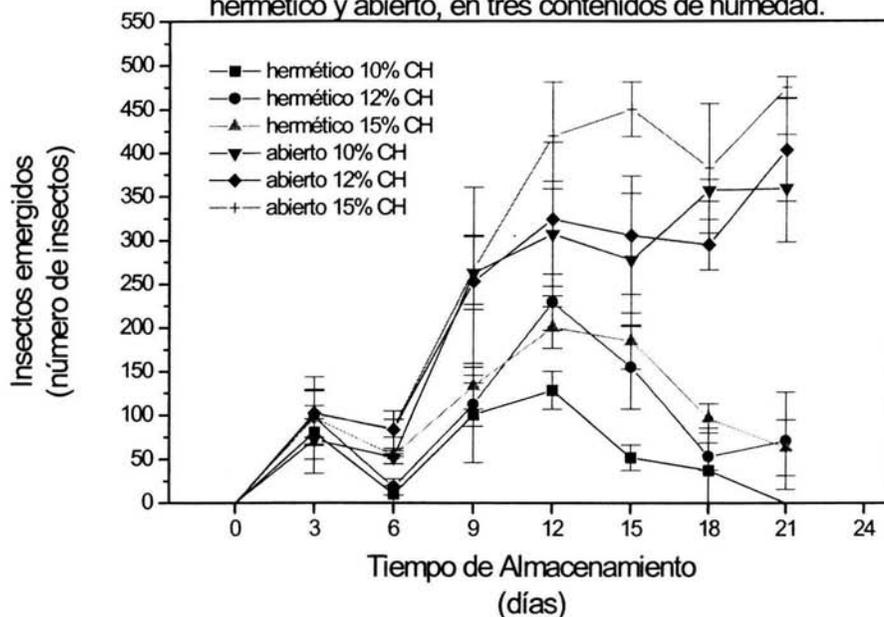
Lo anterior se constata en el comportamiento de la mortalidad de los insectos de las dos especies estudiadas, siendo esto más ilustrativo en el sexto día de almacenamiento, tomando en cuenta los extremos de los contenidos de humedad para 10 % se obtuvo una mortalidad de 17 insectos muertos de 20 que se colocaron en las unidades experimentales y 11 para el C.H. de 15 %, esto con el insecto *Z. subfasciatus* y para *A. obtectus* 16 y 5 muertos respectivamente. Estos resultados se supusieran que fueran al revés ya que para los C.H. de 10 % se cuenta con mayor cantidad de oxígeno y menos de bióxido de carbono en comparación de los C.H. de 15 % que son más desfavorables para el desarrollo de los insectos; haciendo diferencia el contenido de humedad de el grano.

Emergencia.

Como se estableció en materiales y métodos, después de registrar la mortalidad de los insectos y tomar las muestras para medir el contenido de humedad en cada periodo de almacenamiento; el resto del grano infestado de las unidades experimentales fue incubado por 28 días a 75 % +/- 2 % de H.R. y 26 °C +/- 2 °C, para permitir a los huevecillos eclosionar y a las larvas desarrollarse; que son las que causan el daño. Como se esperaba, en el sistema de almacenamiento abierto el número de insectos de ambas especies se incremento a través del periodo de almacenamiento (gráficas 5 y 6). Para *Z. subfasciatus*, en el sistema abierto en el contenido de humedad de 10 %, a los tres días de almacenamiento fue donde se obtuvo la menor emergencia, con 72 insectos. Se observó un aumento gradual en los muestreos subsecuentes, con 360 insectos a los 21 días. En el caso de *A. obtectus* la emergencia fue de 158 insectos a los tres días y de 284 a los 21 días.

En todos los tratamientos el número más bajo de emergencia de los insectos fue en el de menor C.H. reforzando con esto el efecto deshidratador del C.H., esto considerando el hecho de que la humedad que requieren los insectos para sus procesos vitales la toman de los granos que se alimentan y estos al contener baja humedad no permiten su proliferación. (Calderón y Navarro, 1980)

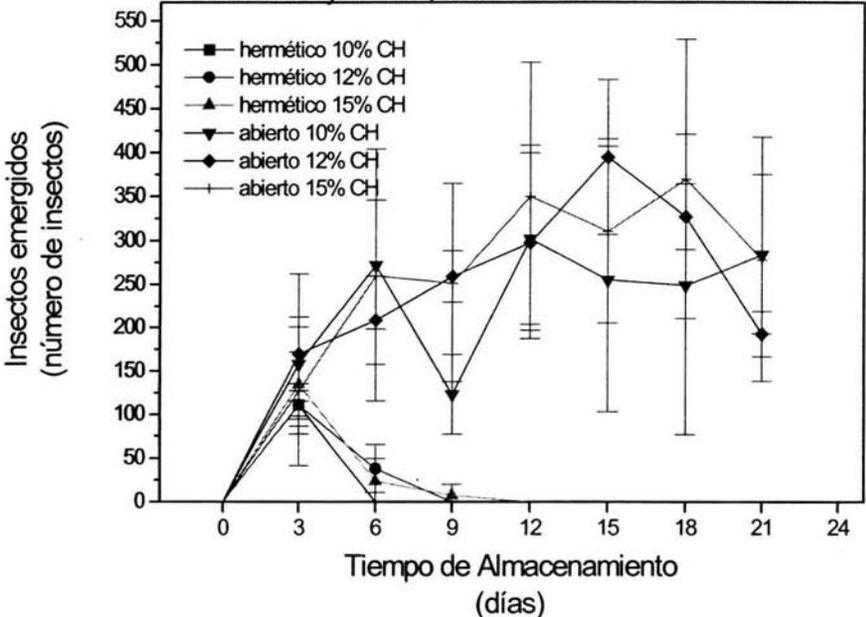
Gráfica 6: Número de insectos de *Zabrotes subfasciatus* que emergieron a través del tiempo en almacenamiento hermético y abierto, en tres contenidos de humedad.



Los análisis de variación para la emergencia entre sistemas de almacenamiento, muestreos y contenidos de humedad mostraron todos diferencia significativa al $\alpha=0.05$. Se muestra en las gráficas 5 y 6 de emergencia de la F1 la gran diferencia entre los sistemas de almacenamiento, se puede apreciar claramente que en el sistema abierto la curva va en ascendencia ya que los insectos tuvieron mayor tiempo de oviposición y en condiciones óptimas para su desarrollo, para el caso del sistema hermético los muestreos intermedios fueron los que tuvieron mayor número de insectos emergidos dado esto por que los primeros muestreos los insectos tuvieron menos tiempo de oviposición y los últimos muestreos estuvieron más expuestos a bajos niveles de oxígeno y altos de bióxido de carbono formando con esta mezcla una atmósfera desfavorable para el desarrollo de los insectos, principalmente para *Z. subfasciatus*.

Por otro lado *Z. subfasciatus* sólo en el contenido de humedad de 10 % en el séptimo muestreo a los 21 días no presentó emergencia de insectos, atribuyendo esto a la combinación de la mezcla de los gases aunado al bajo contenido de humedad no permitió la proliferación de los insectos.

Gráfica 7: Número de insectos de *Acanthoscelides obtectus* que emergieron a través del tiempo en almacenamiento hermético y abierto, en tres contenidos de humedad.



A. obtectus en el sistema hermético al sexto día en el C.H. de 10 % no hubo emergencia; al noveno día no hubo emergencia para 10 y 12 % de C.H.; para los siguientes muestreos del día doce hasta el día 21 de almacenamiento para los tres contenidos de humedad, ya no hubo emergencia del insecto.

La baja tasa de emergencia de los insectos en los tratamientos bajo almacenaje hermético fue el resultado de la oviposición de huevecillos realizada durante los primeros días de almacenaje por los adultos hembras de las dos especies

estudiadas por separado, que sobrevivieron a los primeros días (mas de 6 días) a bajos niveles de oxígeno del inicial de 20.9 % a 1.8 y 0.5 % respectivamente

Otra observación sobre el sistema de almacenamiento hermético es que además de que en los últimos muestreos hubo muy baja emergencia para estos también existe un desfase de la emergencia comparado con el sistema abierto, visto esto en las curvas de emergencia de las dos especies (gráficas anexo 11, 12, 13 y 14) y para los dos sistemas de almacenamiento, atribuido a que al realizar las determinaciones a las unidades experimentales se rompe el hermetismo pudiendo encontrar los huevecillos de los primeros muestreos, las condiciones para su desarrollo.

Lo descrito en el párrafo anterior concuerda con lo comprobado por Bailey y Banks en 1980, donde se describen efectos subletales de las atmósferas modificadas sobre los insectos, los cuales son principalmente: retraso en el desarrollo, metamorfosis perturbada y decremento de la fecundidad.

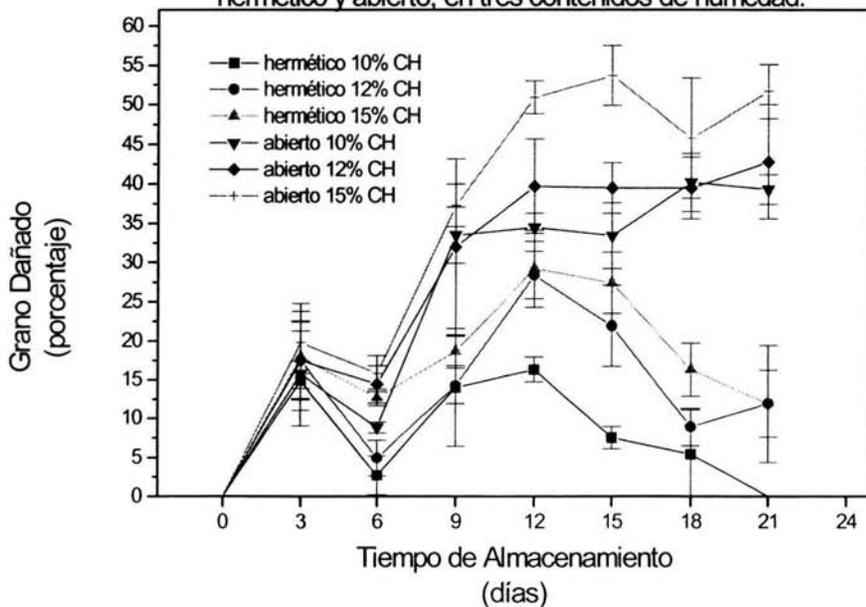
Porcentaje de grano dañado.

El análisis estadístico del porcentaje de grano dañado al igual que en los de emergencia entre sistemas de almacenamiento, muestreos y contenidos de humedad mostraron todas diferencias significativas al $\alpha=0.05$. Los resultados se muestran en las gráficas (8 y 9).

Los resultados del porcentaje de grano dañado se comportaron de la misma manera que en la emergencia en las dos especies, ya que al realizar la cuantificación del total del grano de frijol dañado y sano, el porcentaje fue el resultado de la emergencia de los insectos al perforar el grano y por la presencia de cavernas pupales donde el adulto no llegó a emerger.

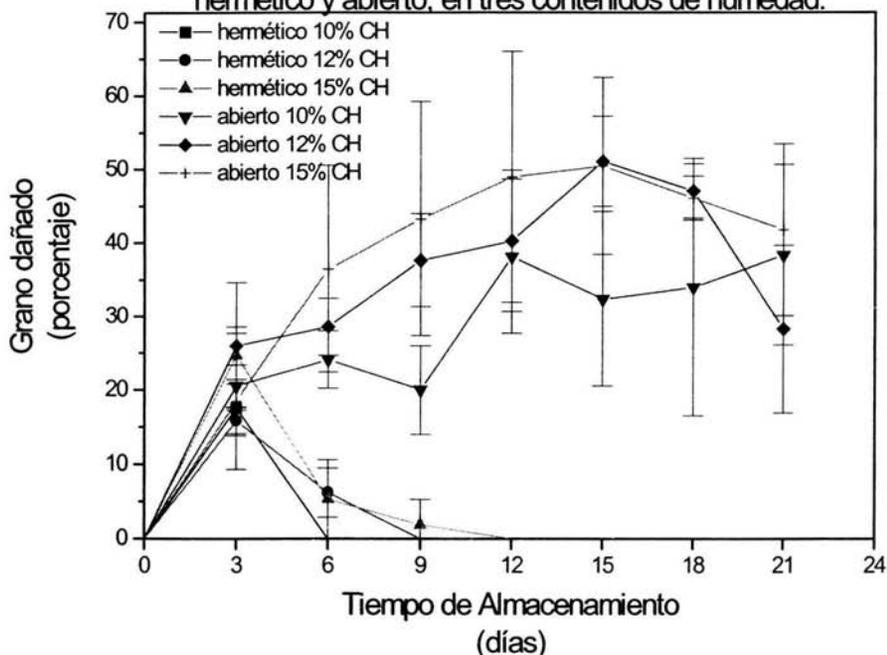
Como ya se señalo el porcentaje de grano dañado se comporta igual que la emergencia de los insectos ya que el daño esta relacionado a la emergencia ya que por cada insecto que emerge o que pupa (en esta etapa forma la larva construye la ventana por donde saldrá el adulto) se daña el grano, pudiendo existir de 10 a 15 ventanas por grano dependiendo de la infestación. Para *Z. subfasciatus* a los 21 días en las tres repeticiones de contenido de humedad de 10 % en sistema hermético se obtuvo 0 % de grano dañado (gráfica 8) y para *A. obtectus* a partir de los seis días en el contenido de humedad de 10 % no hubo daño, para el contenido de humedad de 12 % a partir de los 9 días ya no hubo daño y para el contenido de humedad de 15 % desde los 12 días en adelante no hubo daño (gráfica 9).

Gráfica 8: Porcentaje de grano dañado realizado por el insecto de *Zabrotes subfasciatus* en almacenamiento hermético y abierto, en tres contenidos de humedad.



ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Gráfica 9: Porcentaje de grano dañado realizado por el insecto de *Acanthoscelides obtectus* en almacenamiento hermético y abierto, en tres contenidos de humedad.



De acuerdo a estos resultados, para el caso de *Z. subfasciatus* la obtención de un grano almacenado con insectos adultos donde no se causa daño por el efecto de no intercambio de gases con la atmósfera exterior en el almacenamiento hermético, se obtiene almacenando el grano de frijol infestado con insecto adultos, éstos no causaran daño si el grano de frijol se almacena con un contenido de humedad de 10 % de C.H. por un periodo no menor de 21 días y si es mayor este periodo se asegurara un mejor control de la población de insectos.

Para *A. obtectus* se puede tener obtener un buen control del insecto, si se almacena herméticamente el grano de frijol con contenido de humedad de 10 % por un periodo no menor de 6 días, con grano con contenido de humedad de 12 % almacenarlo por un periodo no menor de 9 días y para un contenido e humedad del grano de 15 % se puede almacenar por un periodo no menor de 12 días.

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 concuerda bien con los resultados de esta investigación ya que en este trabajo murieron los insectos adultos antes de su muerte natural y los huevecillos 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 bióxido de carbono ocasionaron a lo largo del periodo de almacenamiento la muerte de las larvas que permanecieron en los granos que fueron almacenados durante 6 días para *A. obtectus* y 21 días para *Z. subfasciatus*.

Las altas poblaciones de insectos y el mayor daño que se presentó en el frijol almacenado en el sistema abierto son un claro señalamiento del efecto de la atmósfera con oxígeno normal (20.9 %), aunado a los contenidos de humedad, temperatura y periodo de almacenamiento que favorecen el desarrollo de los insectos.

Micobiota.

En la micobiota se registraron hongos de los géneros: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* y *Fusarium* con un porcentaje en promedio de 1.33 % para *Z. subfasciatus* y de 1.5 % para *A. obtectus*, no presentando diferencia significativa en la comparación de la determinación de granos infestados inicial (cuadro 8) y a los 21 días de almacenamiento (cuadros 24 y 25), siendo similar para los dos sistemas de almacenamiento con los tres contenidos de humedad.

Lo anterior es completamente entendible debido al bajo contenido de humedad en el grano de frijol en el almacenamiento abierto y hermético, aunque en éste último, aun cuando los contenidos de humedad fueran mayores la ausencia de oxígeno no permitiría el desarrollo de los hongos como ha sido reportado por Moreno *et al.*, 2000.

Los análisis de variación para la determinación de la Micobiota no resultaron con diferencia significativa para los dos sistemas de almacenamiento, los tres contenidos de humedad y las dos especies de insectos en estudio. Esto debido a que los hongos que atacan a los granos infestan con mayor facilidad a granos y semillas perforadas o dañadas originando pudriciones según Cartin, 1979; y Sifuentes, 1985; y como se menciona en materiales y métodos la determinación de la micobiota se realizó inicial y al final de los muestreos; esto es a los 21 días de almacenamiento en los dos sistemas; para esta fecha el grano no había sido dañado todavía por el desarrollo de los insectos y no se había favorecido el desarrollo de los hongos por condiciones de temperatura y humedad elevadas; mismas que se generan dentro del grano como resultado de la respiración y metabolismo tanto de los insectos como del mismo grano.

Prueba de longevidad de los insectos utilizados en el almacenamiento abierto.

Durante el desarrollo de la prueba de almacenamiento abierto en el primer muestreo a los tres días, insectos que estaban vivos se colocaron en frascos de vidrio sin grano de frijol ni otro sustrato, los cuales se colocaron en la cámara de cría con condiciones descritas en materiales y métodos, a los 12 días de almacenamiento abierto los insectos estaban muertos y sin embargo los insectos que habían estado vivos a los tres días y que eran de la misma edad que los del muestreo a los 12 días aun estaban con vida y por esa razón se procedió a realizar el experimento de longevidad.

La mortalidad en sistema abierto se comportaron igual que en los experimentos preliminares 12 días para *Z. subfasciatus* y 14 para *A. obtectus* (cuadro 9); en el caso de los insectos con sustrato, pero para los insectos que se mantuvieron sin sustrato desde su emergencia su tiempo de vida se alargó considerablemente si se toma en cuenta el corto tiempo de vida como adulto que tienen estas especies, aumentando aproximadamente en un 57 % su longevidad al encontrarse sin

sustrato, con un tiempo de sobrevivencia de 22 días para *Z. subfasciatus* y de 23 días para *A. obtectus* como se muestra en los cuadros 16 y 17, otra observación que se tuvo fue de que las hembras eran las más longevas; esto se atribuye a que las hembras pudieran tomar reservas de sus huevecillos que están en espera de sustrato para ser ovipositados y así vivir más tiempo ya que estas especies no se alimentan en su fase adulta.

CUADRO 16: Longevidad de *Zabrotes subfasciatus* con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7 %, en almacenamiento abierto a 27 °C, 75 % H.R. y en condiciones del laboratorio (medio ambiente normal).

	CAM. DE CRÍA		LAB.	
	c/grano	s/grano	c/grano	s/grano
0 DÍAS	25.00	25.00	25.00	25.0
11 DÍAS	0.33	19.00	6.33	22.3
13 DÍAS	0.00	7.00	0.00	16.3
16 DÍAS		1.00		5.0
18 DÍAS		0.67		1.0
19 DÍAS		0.33		0.6
21 DÍAS		0.00		0.6
22 DÍAS				0.0

CUADRO 17: Longevidad de *Acanthoscelides obtectus* con y sin grano de frijol, con un contenido de humedad de 10.7 %, en almacenamiento abierto a 27 °C, 75 % H.R. y en condiciones del laboratorio (medio ambiente normal).

	CAM. DE CRÍA		LAB.	
	c/grano	s/grano	c/grano	s/grano
0 DÍAS	25.00	25.00	25.00	25.0
11 DÍAS	1.33	19.00	6.33	23.0
13 DÍAS	0.33	9.00	0.67	18.0
16 DÍAS	0.00	3.00	0.00	5.3
18 DÍAS		1.00		2.0
19 DÍAS		0.67		1.0
21 DÍAS		0.33		0.6
22 DÍAS		0.00		0.3
23 DÍAS				0.0

6. Conclusiones.

1. En el almacenamiento hermético, el contenido de humedad del grano y el tiempo de almacenamiento, influyen directamente en el agotamiento del oxígeno y en la generación de bióxido de carbono, por la respiración de los insectos y del propio grano.

2. El rápido agotamiento del oxígeno correspondió al efecto de la humedad en el grano almacenado herméticamente, al aumentar la actividad de los insectos y del grano, indicándonos esto un incremento en la respiración y esto a su vez aumentó la producción de bióxido de carbono, debido al metabolismo de los insectos presentes en los granos.

3. El menor daño de los insectos *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* se dio en el contenido de humedad más bajo de 10 % dado por el efecto sinérgico entre el bajo porcentaje de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento hermético y el contenido de bióxido de carbono generado; aunado a el bajo contenido de humedad, que deseca a los estados inmaduros de los insectos, generando con estos factores una atmósfera y un sustrato desfavorable para la proliferación de los insectos estudiados.

4. Además de controlar insectos, se evita en gran medida el desarrollo de microorganismos al crear una atmósfera desfavorable; y por otro lado el sistema de almacenamiento hermético excluye al grano de agentes causantes de daño como los mismos insectos, roedores y pájaros.

5. El almacenamiento hermético causó efecto sobre el desarrollo de los insectos *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* no permitiendo su proliferación en atmósferas bajas en oxígeno combinado con niveles altos de bióxido de carbono.

6. Para mantener libre de insectos de la especie de *Z. subfasciatus* se recomienda almacenar el grano herméticamente con una humedad de 11 % durante al menos 30 días para evitar el desarrollo de insectos.

7. Para el caso de *A. obtectus* se recomienda almacenar el grano durante al menos 25 días para dar seguridad con un contenido de humedad de hasta 13 % para evitar la proliferación de insectos.

8. La importancia de los resultados obtenidos en esta investigación radica en el hecho que el almacenamiento hermético representa un método altamente viable para el almacenamiento de frijol en el medio rural ya que después de la cosecha se puede almacenar con humedades de 11 a 13 % sin problemas de subsecuentes infestaciones de insectos siempre y cuando se observen las dos indicaciones que anteceden a esta conclusión.

9. El sistema de almacenamiento hermético causó efectos subletales sobre los insectos, los cuales fueron: retraso en el desarrollo y decremento de la fecundidad.

10. El almacenamiento hermético resultó ser un excelente método alternativo de control de insectos de almacén para la no utilización de insecticidas, siendo este un método que es económicamente viable y ecológicamente orientado.

11. Los insectos de *Z. subfasciatus* y *A. obtectus* alargan considerablemente su tiempo de vida como adultos en un 57 % al encontrarse sin sustrato (grano de frijol).

12. Por lo tanto estos resultados aceptan la hipótesis de que en el almacenamiento hermético, el contenido de humedad del grano y el tiempo de almacenamiento, influyen directamente en el agotamiento del oxígeno y en la generación de bióxido de carbono, por la respiración de los insectos y del propio grano. Por lo tanto, los insectos *Z. subfasciatus* Boh. y *A. obtectus* Say., no se desarrollaron en atmósferas con baja concentración de oxígeno.

7. Bibliografía.

- ñ 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. Pp: 93-94
- ñ AgroRed, Revista. Julio del (2003). año IV No. 37. La importancia del frijol. Edo. de México, Pág. 16
- ñ 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, pp. 128-142.
- ñ Anon (1949). Conservación de granos y almacenamiento en silos subterráneos. Ministerio. de Agricultura y Ganaderia, Buenos Aires, Argentina. 222 p.
- ñ 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.
- ñ Arias, C. y H. Dell'Orto. (1983). Distribución e Importancia de los Insectos que Dañan Granos y Productos Almacenados en Chile. FAO/INIA, 67 pp.
- ñ Artigas, J.N. (1994). Entomología Económica. Ediciones Universidad de Concepción, Concepción, Chile, Vol.I y II 1126 pp.
- ñ Ashrae. (1977). Handbook of fundamentals. Chapter 5: Psychrometries. New York, U.S.A., Ameritan Society Heating Refrigerating Air Conditioning Engineers.
- ñ 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.
- ñ Banks, H.J. (1981), Effects of controlled atmosphere storage on grain quality: a review. Food Technology in Australia. 33: 355-340.
- ñ Baur F. J. (1983). Insect Management for Food Storage and Processing. American Association of Cereal.Chemist. St. Paul, Minn. USA. 348 pp.
- ñ 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, 8p.
- ñ Burrell, N.J. (1980). Effect of airtight storage on insect pests of stored products. In: Shejbal, J. Ed., *Controlled Atmosphere Storage of grains*, Amsterdam, Elsevier, 55-62.
 - ñ Calderon, 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. pp. 79-84
 - ñ Calderon, M., and Navarro, S. (1979). Increased toxicity of low oxygen atmospheres supplemented with carbon dioxide on *Tribolium castaneum* adults. *Entomologia experimentalis et applicata*, 25, 39-44.
 - ñ Calderon, M., Donahaye, E., Navarro, S. and Davis, R. (1989). Wheat storage in a semi-desert region. *Tropical Science*, 29, 91-110.
 - ñ Calderon, M. 1972. Aerations of grain-benefits and limitations. *EPPD BULL.* 6: 8394p.
 - ñ Camargo L. M., Vera G. y Dominguez. R. B. (1997) Preferencia, Mortalidad y Fertilidad de *Acanthoscelides obtectus* Say. en seis Líneas de Frijol y la variedad Jamapa. *Agrociencia Colegio de Posgraduados*. Vol. 31, No. 2
 - ñ Cartin, L. V. A. (1979). Influencia del cultivar y del tiempo de almacenamiento de *Phaseolus vulgaris* L., sobre el ataque de *Acanthoscelides obtectus* Say. (Coleóptera, Bruchidae).
 - ñ Champ B. R. And Dyte, C. E. (1976). Report of the FAO global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored grain Pests. FAO Plant Products/proteccion. Service No. 5. FAO, Rome.
 - ñ Christensen C.M y Kaufmann. H.H (1969) grain storage. The role of fungi in quality loss. University of Minnesota Press, Minneapolis.
 - ñ Christensen, C.M. 1974. Storage of cereal grains and their producis. *Ameritan Association of Cereal Chemist*. St. Paul, Minnesota, U.S.A. 540 p.
 - ñ CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), (1979). principales Insectos que Atacan al Frijol Almacenado. guia de Estudio. CIAT, Serie 04-SB-05, 03. 32 pp.
 - ñ CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), (1988). Insectos de Frijol Almacenado y su Control. Cali, Colombia. s/p.

- ñ Claridades (2003). Revista claridades agropecuarias, ACERCA, SAGARPA, México D.F. Pág. 6-13
- ñ De Lima, C.P.F. (1990). Airtight storage: Principle and Practice. In: Calderon, M. and Barkai-golan, Rivka Ed., Food preservation by modified atmospheres, Chapter 2, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 9-19.
- ñ Delmenico, R.J. (1993). Controlled atmosphere and fumigation in Western Australia - a decade of progress. In: Navarro, S. and Donahaye, E. ed., Proceedings International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages, Winnipeg, Canada, June 1992 , Caspit Press Ltd., Jerusalem, 3-12.
- ñ Donahaye, E., Navarro, S., Ziv, A., Blauschild Yehudit, and Weerasinghe, D. (1991). Storage of paddy in hermetically sealed plastic liners in Sri Lanka. *Tropical Science*, 31, 109-121.
- ñ Donahaye, E., Navarro, S., and Calderon, M. (1967). Storage of barley in an underground pit sealed with a PVC liner. *Journal of Stored Products Research*, 2, 359-364.
- ñ Dyte C. E. (1970) Insecticide resistance in storage-product insects with special reference to *Tribolium castaneum*. *Tropical stored products Information* 20, 13-18pp.
- ñ Dunkel, F., Sterling, R., and Meixel, G. (1987). Underground bulk storage of shelled corn in Minnesota. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2(4): 367-371.
- ñ Flores V. M. (1977). Distribución de los insectos de Almacén en México. Memorias del V Simposio Nacional de Parasitología. México, D.F. pp: 141-168.
- ñ Gutiérrez D. L. J. y Sánchez R. J. (1989). Distribución de los insectos que dañan los productos almacenados en algunas localidades de la Republica mexicana. 1er Simposio Nacional sobre problemas Entomológicos de granos Almacenados. XXIV Congreso Nacional de Entomología. pp 57-90.
- ñ Gutiérrez D. L. J. (1992). Aspectos sobre Taxonomía de las plagas de los granos almacenados en México. IV Simposio Nacional sobre problemas Entomológicos de granos Almacenados. pp. 90-103
- ñ Golob P. y Kilminster A. (1982). The biology and control of *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Bruchidae) infesting red Kidney beans. *J. Stored Prod. Res.* 8 (3): 95-101
- ñ González, R. (1989). Insectos y Acaros de Importancia Agrícola y Cuarentenaria en Chile. Impresora y Editora Ograma S.A., Santiago, 310 p.

- ñ Hall C. W. (1980) Drying and storage of agricultural crops. AVI publishing, Westport, CT.
- ñ Hall D. W. (1980) Manipulación y Almacenamiento de granos alimenticios en las Zonas Tropicales y Subtropicales. Organización de la Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 207-209, 272-273pp.
- ñ Harein P. K. and Davis R. (1992) Control of storage-grain insects. In Storage of Cereals and their products (Edited by D. B. Sauer) 4ª ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN pp 491-534
- ñ Hyde, M. B. (1965). Principles of wet grain coservation. Journal and Proceedings of the Institute of Agricultural Engineering 21, 75-82.
- ñ Hyde, Mary B., and Daubney C.G. (1960). A study of grain storage fossae in Malta. *Tropical Science*, 2, 115-129.
- ñ ISTA; Internacional Rules For Seed Testing. (1999). Vol.27. Suplement .
- ñ Kawasugi, S., Hawashima K. and Siracha P. (1994) Prevention of aflatoxin contamination in Thai maize. 2. Distribution of maize with high moisture conten and methods of control of *Aspergillus flavus* infection. JIRCAS-Journal pp. 1, 9-17.
- ñ Kenneford, S. and O'Dowd, T. (1981). Guidelines for the use of flexible silos for grain storage in tropical countries. *Tropical Stored Products Information*, 42, 11-20.
- ñ Klein R. K. (1986). Pictorial guide for Rapid Identification of Common Adult Storage Insects. International Association of Milk, Food, and Environmental Sanitarians. Pag. 154-160.
- ñ Lepiz I. (1982). Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del frijol. SARH. México. Publicación especial No. 83
- ñ Loya R., J. g. (1977). Efecto de los Rayos gamma sobre *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Bruchidae) y algunas observaciones sobre su comportamiento biológico. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- ñ Luna L. C. y Evangelista C. F. (1992). Infestación del frijol *Phaseolus vulgaris* L. en el campo por plagas de granos almacenados en Iguala, Gro. Escuela Superior de agricultura de la Universidad Autónoma de guerrero. Pp. 249

- ñ McFarlane, J.A. (1970). Insect control by airtight storage in small containers. *Tropical Stored Products Information*, 19, 10-14.
- ñ McGuire J. U. and Cradall B. S. (1967) Survey of insects and plant diseases of selected food crops of México, Central America and Panama. Int. Agric. Dev. Service (IDAS). Agric. Res. Service. U. S. Dept Of Agric. For Int. Dev. (AID). pag 157.
- ñ Menéndez A. E. (1977). El uso de variedades resistentes de frijol como una alternativa para evitar el daño causado por los gorgojos en el frijol almacenado. Memoria del V Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. México, D.F. pp: 25-29
- ñ Moreno M. E. (2003). Almacenamiento de Granos y Semillas y La Humedad: Su Importancia y Medición. Memorias del curso de Almacenamiento y Conservación de Granos y Semillas. UNAM, FESC.
- ñ Moreno M. E. (1996) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. UNAM. Tercera edición. México D.F. 393 pp.
- ñ Moreno M. E., A. Menéndez y J. Ramírez (1987). Comportamiento de la semilla de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes sistemas de almacenamiento. Turrialba Vol. 37. no 3, 1987 267-274 pp.
- ñ Moreno M. E., Jiménez A. S., 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.
- ñ Moreno, M. E., Benavides, C., Ramirez, J. (1988).the influence of hermetic storage on the behavior of maize seed germination. *Seed Science and Technology* 16, 427-434
- ñ Munro, J. W. (1966) pest of stored products. Hutchinson and Co. Publ. London.
- ñ Navarro, S. and Donahaye, E. (1976). Conservation of wheat grain in Butyl rubber/EPDM containers during three storage seasons. *Trop. stored Prod. Inf.* 32: 13-23.
- ñ Navarro, S., and Donahaye, E. (1993). Preservation of grain by airtight storage. 5th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 11-14 Oct. 1993, Kusadasi, Turkey, 425-434.
- ñ Navarro, S., Donahaye, E., Kashanchi, Y., Pisarev, V. and Bulbul, O. (1984). Airtight storage of wheat in a PVC covered bunker. Proc. Int. Symp. Pract. Aspect. Cont. Atm. Fum. Grain Storages Perth Western Australia. Published in Controlled Atmosphere and

- ñ Navarro, S. (1978). The effect of low oxygen tensions on three stored-product insect pests. *Phytoparasitica*, 6, 51-58.
- ñ Navarro, S., and Calderon, M. (1973). Carbon dioxide and relative humidity: interrelated factors affecting the loss of water and mortality of *Ephesia cautella* (Wlk.) (Lepidoptera, Phycitidae). *Israel Journal of Entomology*, 8, 143-152.
- ñ O'Dowd, E.T. and Kenneford, S.M. (1982). Field performance of flexible silos in the tropics. TDR Report No. G179
- ñ Oxley, T.A., and Wickenden, G. (1963). The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. *Annals of Applied Biology*, 51, 313-324.
- ñ Pattinson, I. (1970). Grain storage at village level. FFHC Action Programme Report TAN/11., FFHC/FAO, Rome
- ñ Parkin S. W. (1965). The onset of insecticide resistance among field populations of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research* 1, 1-38.
- ñ Peterson, Anne, Vera Schlegel, B. Hummel, L.S. Cuendet, W.F. Geddes, and C.M. Christensen (1965). grain Storage studies. XXII. Influence of oxygen and carbon dioxide concentrations on mold growth and grain deterioration. *Cereal Chem.* 33: 53-66
- ñ Pierre, D. and M. Pimbert. (1981) Some data on the reproductive activity of *Zabrotes subfasciatus* in the laboratory. In: V. Laberie (ed). International Symposium on the Ecology of Bruquids attacking legumes (pulses), Tours, France. 1980. proceedings. The Hague, Junk. Series entomology. 9: pp 113-123.
- ñ Píxtón, S.W. (1982). The importance of moisture and equilibrium relative humidity in stored products. *Tropical stored Products research* 1, 1-38.
- ñ Prado, E. (1991). Artrópodos y sus Enemigos Naturales Asociados a Plantas Cultivadas en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Bol. Técn. N° 169, 203 pp.
- ñ Puzzi, D. 1977. Manual de armazenamento de graos. Sao Paulo, Brasil, Editora Agronômica CERES. 405 p.
- ñ Ramayo R., L. F. (1980). Tecnología de granos y semillas. Departamento de industrias agrícolas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 180pp

- ñ Ramírez G. M. (1981). Almacenamiento y Conservación de granos y Semillas. C.E.C.S.A. México. Octava Impresión. 300 pp.
- ñ Rentería L. L., Vera g. y Domínguez. R. B. (1997) Preferencias y tasas de fertilidad de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) en seis Líneas de Frijol. Colegio de Posgraduados Agrociencia. México. Vol. 31, No. 3.
- ñ Sánchez R. A., Domínguez R. B. y Vera g. J. (1997) Resistencia de tres Líneas de Frijol al Ataque de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman). Colegio de Posgraduados Agrociencia. México. Vol. 31, No. 2.
- ñ SARH (1980). Principales Plagas de los granos Almacenados. Dirección general de Sanidad vegetal. México, Pág. 15-17, 27-28.
- ñ Sakho, C.Y. (1971). Rapport sur l'opération "Canagrenier" de conservation des grains par fûts hermetiques. Institut de technologie alimentaire, Dakar, Senegal.
- ñ Sartori, Maria Regina. 1987. Underground storage of corn and dry beans in Brazil. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2, 373-380.
- ñ Sartori, Maria Regina, and Costa S.I. (1975). Armazenamento de milho a granel em silo subterraneo revestido com polietileno. Boletim do ITAL, 42, 55-69.
- ñ Sartori M. R., and Vitti P. (1991) influencia do armazenamento hermético do mihlo contenedor de humidade moderadamente elevada sobre sus características de moagem por via umida. Instituto Tecnología de Alimentos de Brazil 21, 100-106.
- ñ Saucedo L. R. (1993) Susceptibilidad a insecticidas en dos poblaciones del gorgojo pinto del frijol *Zabrotes subfasciatus*. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Tesis, Carrera Ingeniería Agrícola. UNAM.
- ñ Sauer D. B., Meronuck R. A. and Christensen C. M. (1992) Microflora. In Storage of cereal grains and their products. (edited by D. B. Sauer) 4th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN pp 313-340
- ñ Schnaider, K. (1991). El problema de las pérdidas poscosecha de granos en América Latina y El Caribe. 1991. Seminario Internacional sobre micotoxinas. Santa Fé de Bogotá, D. C., Colombia, pp. 47-53.
- ñ Sifuentes, J. A. (1985). Plagas del frijol en México. SARH-INIA. México, D.F. Folleto técnico num. 78 28pp
- ñ Sifuentes, S. A. (1979). Pérdidas causadas por insectos en los granos almacenados. Panagfa Vol. 7 No.68 :44-45.

- ñ 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. 3-13.
- ñ Subramanyam, B. and Hagstrum D. W. (1996). Integrated Management of Insects in Stored Products. Marcel Dekker, Inc. New York. 426 pp.
- ñ United Status Department of Agricultura. Inspecting grain. Practical Procedures for grain Handlers. Federal grain Inspection Service. October (1999).
- ñ USDA. (1979). Stored Grain Insects. Agricultural Handbook N° 500, Washington D.C., 56 pp.
- ñ Utida, S. (1967). Collective oviposition and aggregation in *Zabrotes subfasciatus* Boh (Coleoptera, Bruchidae). J. Stored Prod. Res 2: 315-322
- ñ Varnava, A., Navarro S. and Donahaye E. (1995) Long-term hermetic storage of barley in PVC-covered concrete platform under Mediterranean conditions. Postharvest Biology and Technology pp. 6, 177-186.
- ñ Wang Nanyan, Zhang Quo-Qiang, Zhang Yan-yan, and Xu Hunai. (1993). The combined action of low-temperature, low-oxygen and low-phosphine concentrations in the "Triple-Low" grain storage technique. In: Navarro, S. and Donahaye, E. ed., Proceedings International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages, Winnipeg, Canada, June 1992 , Jerusalem, Caspit Press Ltd., 271-280.
- ñ Xu Huinai and Wang Nanyan (1993). Present and prospective state of the "Triple-Low" grain storage technique. In: Navarro, S. and Donahaye, E. ed., Proceedings International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages, Winnipeg, Canada, June 1992, Jerusalem, Caspit Press Ltd., 29-37.

ANEXOS



a) Analizador de gases. b-c) Unidades experimentales en cámara de cría.



a-b) Manejo del experimento en mesas de trabajo. c) Insectos utilizados.



a) Cuantificación de grano dañado. b-c) Siembra de granos para micobiota.

CUADRO 18: Mortalidad de *Zabrotes subfasciatus* en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 d ¹	5 c ¹	17 b ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	12	0 d ¹	2 c ²	15 b ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	15	0 d ¹	2 c ²	11 b ²	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
Abierto	10	0 d ¹	3 c ²	15 b ¹	19 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	12	0 d ¹	2 c ²	11 b ²	19 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	15	0 d ¹	1 d ²	8 c ³	18 b ^{1,2}	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 19: Mortalidad de *Acanthoscelides obtectus* en grano de frijol almacenado herméticamente y abierto, en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 b ¹	0 b ¹	16 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	12	0 c ¹	1 c ¹	6.3 b ²	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	15	0 c ¹	1 c ¹	5 b ²	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
Abierto	10	0 d ¹	0 d ¹	3 c ²	13 b ²	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	12	0 d ¹	0 d ¹	2 c ²	11 b ²	19 a ¹	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹
	15	0 d ¹	0 d ¹	2 d ²	10 c ^{2,3}	17 b ²	20 a ¹	20 a ¹	20 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 20: Número de insectos de *Zabrotes subfasciatus* que emergieron a través del tiempo de almacenamiento, hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 b ¹	81 a ¹	10 b ²	101 a ²	129 a ³	52 ab ³	37 b ²	0 b ⁴
	12	0 c ¹	98 b ¹	18 c ²	112 b ²	230 ab ³	155 ab ³	53 c ²	71 c ²
	15	0 c ¹	96 b ¹	54 bc ¹	133 a ²	201 a ^{2,3}	185 a ^{2,3}	97 b ²	63 b ³
Abierto	10	0 b ¹	72 b ¹	52 b ^{1,2}	263 a ¹	308 a ^{1,2}	278 a ²	357 a ¹	360 a ¹
	12	0 c ¹	102 bc ¹	84 bc ¹	253 ab ^{1,2}	325 a ^{1,2}	306 a ²	295 a ¹	403 a ¹
	15	0 c ¹	101 c ¹	85 c ¹	267 b ¹	420 a ¹	450 a ¹	383 ab ¹	475 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 21: Número de insectos de *Acanthoscelides obtectus* que emergieron a través del tiempo de almacenamiento, hermético y abierto, en grano de frijol, en tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 b ¹	111 a ¹	0 b ²					
	12	0 c ¹	111 a ¹	38 b ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²
	15	0 b ¹	135 a ¹	24 b ²	7 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²
Abierto	10	0 b ¹	158 ab ¹	272 ab ¹	123 ab ¹	302 a ¹	255 ab ¹	249 ab ¹	284 a ¹
	12	0 c ¹	170 bc ¹	209 ab ¹	259 ab ¹	298 ab ¹	395 a ¹	327 ab ¹	193 b ¹
	15	0 b ¹	127 ab ¹	260 ab ¹	251 ab ¹	350 a ¹	310 ab ¹	370 a ¹	278 ab ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 22: Porcentaje de grano dañado por el insecto *Zabrotes subfasciatus* en almacenamiento hermético y abierto con tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 c ¹	15 ab ¹	3 c ³	14 ab ³	16 a ⁴	8 abc ⁵	5 bc ²	0 c ²
	12	0 d ¹	18 ab ¹	5 cd ^{2,3}	14 bc ³	28 a ³	22 ab ⁴	9 c ²	12 bc ²
	15	0 d ¹	18 bc ¹	13 c ^{1,2}	19 abc ^{2,3}	29 a ³	27 ab ^{3,4}	16 c ²	12 c ²
Abierto	10	0 c ¹	16 b ¹	9 bc ²	34 a ^{1,2}	35 a ^{2,3}	33 a ³	40 a ¹	40 a ¹
	12	0 d ¹	18 bc ¹	14 cd ¹	32 ab ^{1,2}	40 a ²	40 a ²	40 a ¹	43 a ¹
	15	0 d ¹	20 c ¹	16 c ¹	37 b ¹	51 a ¹	54 a ¹	46 ab ¹	52 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 23: Porcentaje de grano dañado por el insecto *Acanthoscelides obtectus* en almacenamiento hermético y abierto con tres contenidos de humedad.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)							
		0	3	6	9	12	15	18	21
Hermético	10	0 b ¹	18 a ¹	0 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²
	12	0 c ¹	16 a ¹	6 b ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²	0 c ²
	15	0 b ¹	25 a ¹	5 b ²	2 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²	0 b ²
Abierto	10	0 b ¹	21 ab ¹	24 ab ¹	20 ab ²	38 a ¹	32 a ¹	34 a ¹	38 a ¹
	12	0 d ¹	26 c ¹	29 bc ¹	38 bc ²	40 abc ¹	51 a ¹	47 ab ¹	28 bc ¹
	15	0 b ¹	19 ab ¹	37 a ¹	43 a ¹	49 a ¹	51 a ¹	46 a ¹	42 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

En las filas las letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 24. *Zabrotes subfasciatus* Micobiota (porcentaje de invasión de hongos)

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)
		21
Hermético	10	1.66±1.53 a ¹
	12	1.0±1.0 a ¹
	15	1.33±1.53 a ¹
Abierto	10	1.66±1.15 a ¹
	12	1.0±1.0 a ¹
	15	1.33±0.57 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

Medias ± desviación estandar de las tres repeticiones

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

CUADRO 25. *Acanthoscelides obtectus* Micobiota (porcentaje de invasión de hongos)

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	C.H. (%)	PERIODO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)
		21
Hermético	10	3.0±2.0 a ¹
	12	0.66±1.15 a ¹
	15	2.66±2.08 a ¹
Abierto	10	1.33±0.57 a ¹
	12	0.33±0.57 a ¹
	15	1.0±0.0 a ¹

CH= contenido de humedad del grano de frijol

Medias ± desviación estandar de las tres repeticiones

En las columnas los números diferentes en superíndice indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$)

GRÁFICA 10. CONTENIDOS DE HUMEDAD DE GRANO DE FRIJOL ALMACENADO HERMETICAMENTE Y ABIERTO, INFESTADO CON EL INSECTO *Zabrotes subfasciatus*

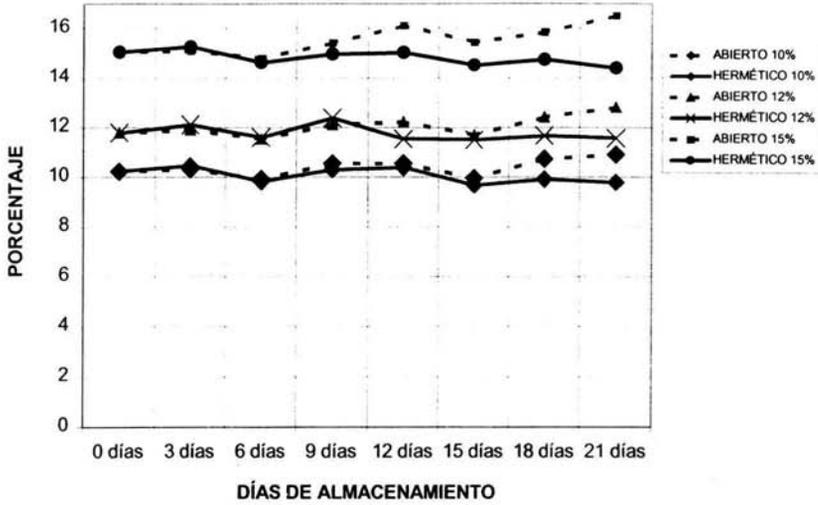
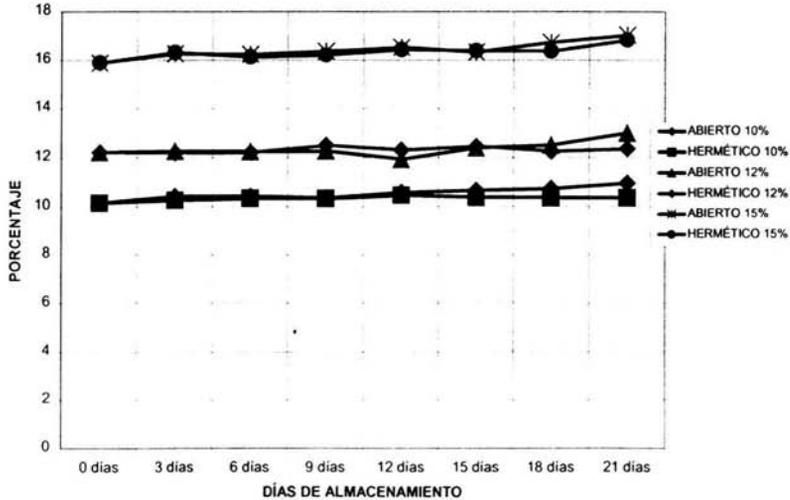
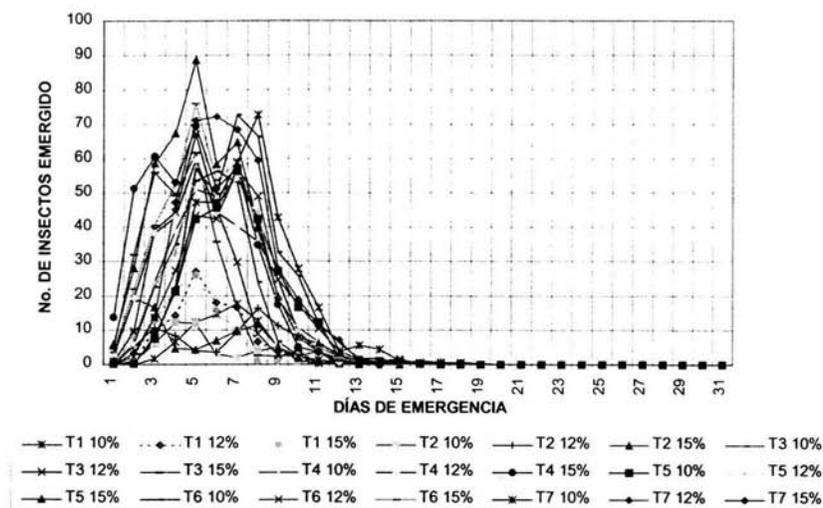


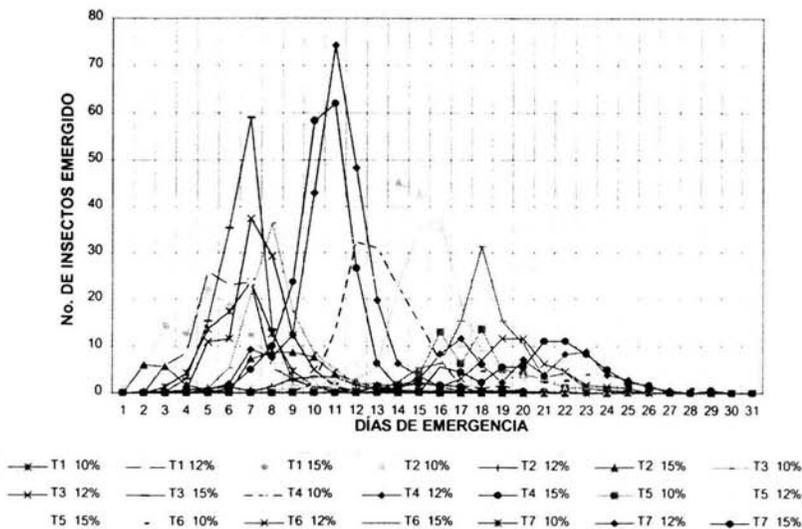
GRÁFICO 11: CONTENIDOS DE HUMEDAD DE GRANO DE FRIJOL, ALMACENADO HERMETICAMENTE Y ABIERTO, INFESTADO CON EL INSECTO *Acanthoscelides obtectus*



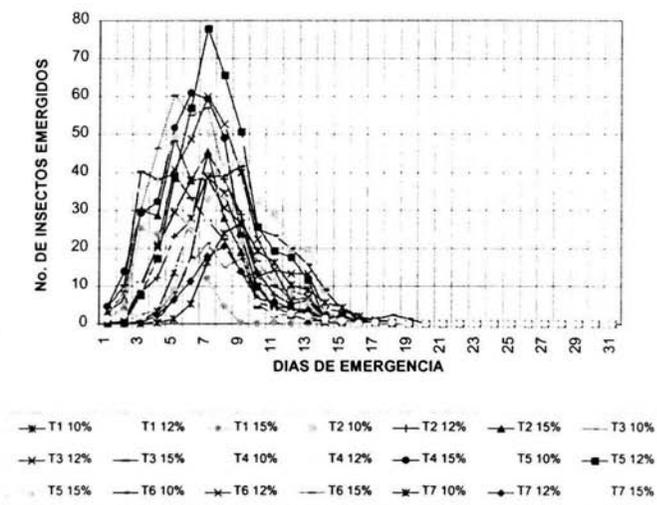
GRÁFICA 12: NUMERO DE INSECTOS EMERGIDOS DE *Zabrotes subfasciatus* EN CADA MUESTREO DEL ALMACENAMIENTO ABIERTO, CON TRES CONTENIDOS DE HUMEDAD QUE A PARTIR DEL PRIMER DÍA DE EMERGENCIA SE CUANTIFICARON DIARIAMENTE HASTA EL TERMINO DE ESTA.



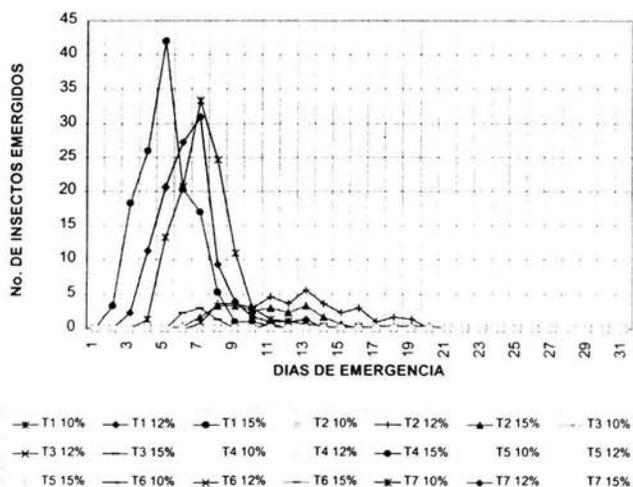
GRÁFICA 13: NUMERO DE INSECTOS EMERGIDOS DE *Zabrotes subfasciatus* EN CADA MUESTREO DEL ALMACENAMIENTO HERMÉTICO, CON TRES CONTENIDOS DE HUMEDAD QUE A PARTIR DEL PRIMER DÍA DE EMERGENCIA SE CUANTIFICARON DIARIAMENTE HASTA EL TERMINO DE ESTA.



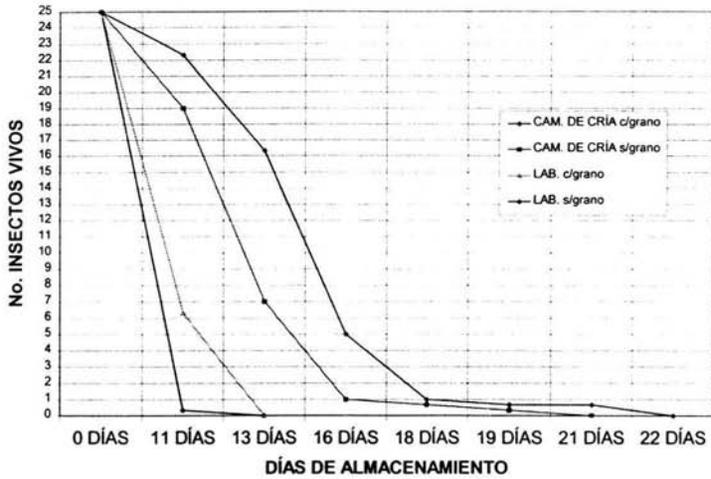
GRÁFICA 14: NUMERO DE INSECTOS EMERGIDOS DE *Acanthoscelides obtectus* EN CADA MUESTREO DEL ALMACENAMIENTO ABIERTO, CON TRES CONTENIDOS DE HUMEDAD QUE A PARTIR DEL PRIMER DIA DE EMERGENCIA SE CUANTIFICARON DIARIAMENTE HASTA EL TERMINO DE ESTA.



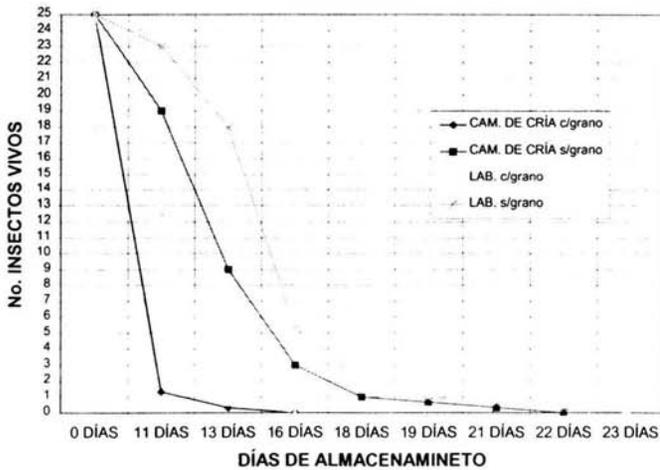
GRÁFICA 15: NUMERO DE INSECTOS EMERGIDOS DE *Acanthoscelides obtectus* EN CADA MUESTREO DEL ALMACENAMIENTO HERMETICO CON TRES CONTENIDOS DE HUMEDAD QUE A PARTIR DEL PRIMER DIA DE EMERGENCIA SE CUANTIFICARON DIARIAMENTE HASTA EL TERMINO DE ESTA.



GRÁFICA 16: LONGEVIDAD DE *Zabrotes subfasciatus* CON Y SIN GRANO DE FRIJOL, CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD DE 10.7%, A 27°C, 75% H.R. Y A CONDICIONES NORMALES DE MEDIO AMBIENTE (LAB.).



GRÁFICA 17: LONGEVIDAD DE *Acanthoscelides obtectus* CON Y SIN GRANO DE FRIJOL, CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD DE 10.7%, A 27°C, 75% H.R. Y A CONDICIONES NORMALES DE MEDIO AMBIENTE (LAB.).



ANOVA OXIGENO <i>Zabrotes subfasciatus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	1172.775	167.539	880.5691	0.0000
4	FACTOR B	2	35.516	17.758	93.3350	0.0000
6	AB	14	18.198	1.300	6.8317	0.0000
8	FACTOR C	1	5057.461	5057.461	26581.4941	0.0000
10	AC	7	1172.775	167.539	880.5691	0.0000
12	BC	2	35.516	17.758	93.3350	0.0000
14	ABC	14	18.198	1.300	6.8317	0.0000
- 15	ERROR	96	18.265	0.190		
TOTAL		143	7528.704			
COEFICIENTE DE VARIACION: 2.91 %						

ANOVA OXIGENO <i>Acanthoscelides obtectus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	1517.513	216.788	1051.8419	0.0000
4	FACTOR B	2	5.130	2.565	12.4463	0.0000
6	AB	14	8.735	0.624	3.0273	0.0007
8	FACTOR C	1	8393.003	8393.003	40722.4116	0.0000
10	AC	7	1516.902	216.700	1051.4185	0.0000
12	BC	2	5.117	2.559	12.4139	0.0000
14	ABC	14	8.748	0.625	3.0319	0.0007
- 15	ERROR	96	19.786	0.206		
TOTAL		143	11474.934			
COEFICIENTE DE VARIACION: 3.42 %						

ANOVA BIÓXIDO <i>Acanthoscelides obtectus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	364.988	52.141	1560.9842	0.0000
4	FACTOR B	2	0.069	0.034	1.0312	0.3605
6	AB	14	1.942	0.139	4.1533	0.0000
8	FACTOR C	1	2052.165	2052.165	61436.9806	0.0000
10	AC	7	364.988	52.141	1560.9842	0.0000
12	BC	2	0.069	0.034	1.0312	0.3605
14	ABC	14	1.942	0.139	4.1533	0.0000
- 15	ERROR	96	3.207	6.033		
TOTAL		143	2789.371			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 4.80 %						

ANOVA BIÓXIDO <i>Zabrotes subfasciatus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	354.526	50.647	667.2565	0.0000
4	FACTOR B	2	13.686	6.843	90.1546	0.0000
6	AB	14	10.116	0.723	9.5199	0.0000
8	FACTOR C	1	1423.238	1423.238	18750.8126	0.0000
10	AC	7	354.526	50.647	667.2565	0.0000
12	BC	2	13.686	6.843	90.1546	0.0000
14	ABC	14	10.116	0.723	9.5199	0.0000
- 15	ERROR	96	7.287	0.076		
TOTAL		143	2187.182			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 8.68 %						

ANOVA MORTALIDAD <i>Acanthoscelides obtectus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	10212.215	1458.888	1603.6630	0.0000
4	FACTOR B	2	27.722	13.861	15.2366	0.0000
6	AB	14	114.056	8.147	8.9553	0.0000
8	FACTOR C	1	171.174	171.174	188.1603	0.0000
10	AC	7	394.326	56.332	61.9226	0.0000
12	BC	2	4.222	2.111	2.3206	0.1037
14	ABC	14	112.444	8.032	8.8288	0.0000
- 15	ERROR	96	87.333	0.910		
TOTAL		143	11123.493			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 7.55 %						

ANOVA MORTALIDAD <i>Zabrotes subfasciatus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	8970.493	1281.499	4291.5316	0.0000
4	FACTOR B	2	38.847	19.424	65.0465	0.0000
6	AB	14	129.486	9.249	30.9734	0.0000
8	FACTOR C	1	18.063	18.063	60.4884	0.0000
10	AC	7	36.549	5.221	17.4850	0.0000
12	BC	2	0.542	0.271	0.9070	
14	ABC	14	7.347	0.525	1.7575	0.0566
- 15	ERROR	96	28.667	0.299		
TOTAL		143	9229.993			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 3.80 %						

ANOVA EMERGENCIA <i>Acanthoscelides obtectus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	350323.160	50046.166	10.0106	0.0000
4	FACTOR B	2	12548.931	6274.465	1.2551	0.2897
6	AB	14	43543.069	3110.219	0.6221	
8	FACTOR C	1	1570217.840	1570217.840	314.0859	0.0000
10	AC	7	504034.104	72004.872	14.4029	0.0000
12	BC	2	6011.681	3005.840	0.6012	
14	ABC	14	58678.542	4191.324	0.8384	
- 15	ERROR	96	479935.333	4999.326		
TOTAL		143	3025292.660			
COEFICIENTE DE VARIACION: 57.87 %						

ANOVA EMERGENCIA <i>Zabrotes subfasciatus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	1207165.333	172452.190	104.0928	0.0000
4	FACTOR B	2	75077.542	37538.771	22.6586	0.0000
6	AB	14	63190.458	4513.604	2.7244	0.0020
8	FACTOR C	1	830528.444	830528.444	501.3103	0.0000
10	AC	7	551650.667	78807.238	47.5684	0.0000
12	BC	2	9796.847	4898.424	2.9567	0.0567
14	ABC	14	21662.042	1547.289	0.9339	
- 15	ERROR	96	159044.667	1656.715		
TOTAL		143	2918116.000			
COEFICIENTE DE VARIACION: 25.71 %						

ANOVA DAÑO <i>Acanthoscelides obtectus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	6605.512	943.645	19.1114	0.0000
4	FACTOR B	2	810.316	405.158	8.2056	0.0005
6	AB	14	696.619	49.758	1.0077	0.4523
8	FACTOR C	1	28991.305	28991.305	587.1533	0.0000
10	AC	7	10050.764	1435.823	29.0794	0.0000
12	BC	2	408.257	204.128	4.1342	0.0190
14	ABC	14	989.216	70.658	1.4310	0.1538
- 15	ERROR	96	4740.100	49.376		
TOTAL		143	53292.088			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 40.91 %						

ANOVA DAÑO <i>Zabrotes subfasciatus</i> Hermético vs Abierto						
	Variables	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P
2	FACTOR A	7	16228.322	2318.332	92.6737	0.0000
4	FACTOR B	2	1666.745	833.372	33.3135	0.0000
6	AB	14	1248.070	89.148	3.5636	0.0001
8	FACTOR C	1	10663.832	10663.832	426.2794	0.0000
10	AC	7	5980.562	854.366	34.1527	0.0000
12	BC	2	129.737	64.868	2.5931	0.0800
14	ABC	14	286.437	20.460	0.8179	
- 15	ERROR	96	2401.542	25.016		
TOTAL		143	38605.248			
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: 23.57 %						