

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Agrícola

Control de insectos para conservación de grano mediante
Atmosfera Modificada con Nitrógeno Industrial en Arroz
(*Oryza sativa*) y Maíz Blanco (*Zea mays*)

Trabajo Final de Graduación presentado a la Facultad de Ingeniería
como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Agrícola.

Juan Gabriel Benavides Valverde

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.

Marzo 2012

Sometido a la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de Costa Rica como requisito para optar por el grado de:
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

Aprobado por el Tribunal:

M.Sc. Carlos Manuel Benavides León.
Representante del Director, Escuela de Ingeniería Agrícola

Lic. José Gabriel Solís Rodríguez
Director del Comité Asesor

Lic. Jimmy Gerardo Ruiz Blanco
Miembro, Comité Asesor

Lic. Geovanni Carmona Villalobos
Miembro, Comité Asesor

MBA. Alberto Miranda Chavarría
Miembro del Tribunal

Dedicatoria

A mis padres Efraín Benavides y Virginia Valverde por su apoyo incondicional.

A mis Hermanos Victoria, Efraín y David.

Agradecimiento

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria y a su representante Ing. Jimmy Ruiz por permitir que esta tesis de grado se desarrollara en el marco de un acuerdo de cooperación entre tan distinguido organismo y este servidor, proporcionando un importante financiamiento, que sin su apoyo no sería posible la realización de esta investigación. Su disponibilidad, confianza y amabilidad que reposaron sobre mi persona todo su grupo de trabajo.

La empresa PRAXAIR Costa Rica S.A, a su gerente de ventas Luis Hernández y en especial al Ing. Juan Pablo Leñero por su asistencia y oportuna colaboración que dispusieron para la elaboración de esta tesis.

A la compañía Derivados de Maíz S.A (DEMASA) y a su jefe de abastecimiento agrícola Sr. Federico Ramírez por su valiosa cooperación con los granos utilizados para este trabajo.

El apoyo brindado por los personeros de Planta La China del Consejo Nacional de Producción, en especial al Sr. William Quirós por ser quien inspiró este trabajo y por su convicción de mejorar la calidad de vida de los y las costarricenses, también al Ing. Luis Fernando Meléndez y a los personeros del Área de control de calidad.

Del mismo modo alago la gentileza de la Dra. Marta Montero por guiarme en la realización de pruebas preliminares, brindando soluciones inteligentes al desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Ricardo Radulovich Ramírez por sus sabias y honestas palabras durante mi carrera universitaria. Debo recalcar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que hizo que nuestras discusiones redundaran beneficiosamente tanto a nivel académico como personal.

Al licenciado José Gabriel Solís quien siempre brindó su apoyo y anuencia en cada momento que se solicitó consejo, ofreciendo ideas fundamentales que dieron forma a este trabajo. Agradezco haber contado con su persona por su tenacidad.

Al ingeniero Manuel Araya por brindar su apoyo en el momento más oportuno para la realización de este proyecto.

A mis amigos y compañeros que, de una u otra forma, me ofrecieron su tiempo y esfuerzo en el planteo, montaje y composición de este trabajo.

Y, por supuesto, a mi familia que entregan las mejores palabras de aliento en cada peldaño de mi vida. También a aquellos amigos que siempre estuvieron conmigo descubriendo una base sólida de buenos valores para confrontar el futuro, Andrés (Ness) Chaves, Adriana Gómez, Nancy Quesada y Néstor Corrales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS.....	IX
RESUMEN	1
Capítulo 1. Introducción.....	3
1.1 Tema de Investigación.....	3
1.2 Delimitación del Problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivo de la Investigación.....	4
1.4.1 Objetivos Específicos.....	5
Capítulo 2. Marco teórico.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Interacción Grano – Insecto.....	8
2.2.1 Interacción grano - Sitophilus zeamais.....	9
2.2.2 Interacción Rhyzopertha dominica.....	11
2.2.3 Interacción Tribolium confusum.....	12
2.3 Sistema de Respiratorio en Insectos.....	13
2.4 Flujo de Gas a través de una Capa de Grano.....	15
2.4.1 Resistencia al Flujo de Aire.....	16
2.4.2 Aplicación de Nitrógeno Industrial para Atmosfera Controlada.....	18
Capítulo 3. Metodología.....	21
3.1 Pruebas Preliminares.....	21
3.1.1 Pie de cría.....	21
3.1.2 Respuesta de insectos al contacto directo con Nitrógeno Industrial (99.5%) PRAXAIR.....	23
3.1.3 Inserción de gas en los recipientes.....	25
3.2 Metodología.....	25
3.2.1 Obtención de datos.....	27
3.2.2 Análisis Estadístico.....	28
Capítulo 4. Resultados y Discusión.....	29
4.1 Resultados en la condición de clima Mesotermal.....	30
4.1.1 Sitophilus zeamaiz Adultos.....	30
4.1.2 Rhyzopertha y Tribolium Adultos.....	32
4.1.3 Trogium pulsatorium.....	34
4.1.4 Larvas Rhyzopertha y Tribolium.....	36

4.2	<i>Resultados en condición de clima Megatermal</i>	38
4.2.1	<i>Sitophilus zeamais</i> adultos.....	38
4.2.2	<i>Rhyzopertha dominica</i> y <i>Tribolium castaneum</i> adultos.....	40
4.2.2	Larvas <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i>	41
4.3	<i>Comparación de resultados para 2 condiciones climáticas distintas.</i>	43
4.4	<i>Comparación entre tratamientos de control de plagas.</i>	44
4.5	<i>Potenciales de la investigación.</i>	45
Capítulo 5.	Conclusiones y Recomendaciones	47
5.1	<i>Conclusiones.</i>	47
5.1.1	Fuentes de Error en los datos obtenidos.	48
5.2	<i>Recomendaciones.</i>	49
Capítulo 6.	Bibliografía	50
6.1	<i>Artículos de revistas</i>	50
6.2	<i>Libros</i>	51
6.3	<i>Páginas web</i>	52
6.4	<i>Otros</i>	53
Capítulo 7.	Anexos.....	54
7.1	<i>Anexos de Tablas Generadas</i>	54
7.2	<i>Anexo 3. Tablas de Análisis InfoStat</i>	65
7.3	<i>Anexo 4. Valores de X1, X2 y X3 para la ecuación (2.1)</i>	68
7.4	<i>Membrana generadora de nitrógeno</i>	68
7.5	<i>Anexo 5. Leyes y Reglamentos</i>	69
	LEY DE IMPUESTO GENERAL SOBRE LAS VENTAS	69
	LEY SOBRE EL TRÁMITE DE LAS SOLICITUDES DE REGISTRO DE AGROQUÍMICOS	70
Capítulo 8.	Consideraciones finales.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 2.1 Estructura del grano de maíz: corte longitudinal (X30) a, zona de corte para la obtención del pedicelo o región micropilar.	8
Figura 2.2 Huevecillo de <i>S. zeamais</i> dentro de grano de maíz.	10
Figura 2.3 Grano infectado con huevecillos de <i>Rhyzopertha dominica</i>	11
Figura 2.4 <i>Tribolium confusum</i>	12
Figura 2.5 Sistema Traqueal de los Insectos.	14
Figura 2.6 Sensibilidad de <i>Sitophilus oryzae</i> a baja concentración de O ₂ y alta concentración de CO ₂	20
Figura 3.1. Frascos de pie de cría.	21
Figura 3.2. Pie de cría de <i>Sitophilus</i>	22
Figura 3.3. Pie de Cría de <i>Tribolium</i> y <i>Rhyzopertha</i>	22
Figura 3.4. Estañones con insectos	23
Figura 3.5. Insectos expuestos a nitrógeno por 20 minutos.	24
Figura 3.6. Bloques completos al azar.	27
Gráfico 4.1. Porcentaje promedio de oxígeno en el interior de los recipientes.	29
Gráfico 4.2. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Sitophilus</i> Adultos en Arroz. Mesotermal.	31
Gráfico 4.3. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Sitophilus</i> Adultos en Maíz. Mesotermal.	32
Gráfico 4.4. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Adultos en Arroz. Mesotermal.	33
Gráfico 4.5. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Adultos en Maíz. Mesotermal.	34
Gráfico 4.6. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Trogium pulsatorium</i> Adultos en Arroz. Mesotermal.	35
Gráfico 4.7. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Trogium pulsatorium</i> Adultos en Maíz. Mesotermal.	35
Gráfico 4.8. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> larvas en Arroz. Mesotermal.	36
Gráfico 4.9. Comparación de tratamientos de Mortalidad en <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> larvas en Maíz. Mesotermal.	37
Gráfico 4.10. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Sitophilus</i> Adultos en Arroz. Megatermal.	39
Gráfico 4.11. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Sitophilus</i> Adultos en Maíz. Megatermal.	39
Gráfico 4.12. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Adultos en Arroz. Megatermal.	40
Gráfico 4.13. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Adultos en Maíz. Megatermal.	41
Gráfico 4.14. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Larvas en Arroz. Megatermal.	42
Gráfico 4.15. Comparación de tratamientos de Mortalidad <i>Rhyzopertha</i> y <i>Tribolium</i> Larvas en Maíz. Megatermal.	42
Figura 7.4 Membrana generadora de Nitrógeno.	68

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 2.1. Tiempos de exposición para la desinfección completa de granos con menos de 12% de humedad, con Atmosferas de 0 a 1.2 % de oxígeno.	19
Cuadro 4.3 Días que tarda el tratamiento de Control de plagas con Nitrógeno en llegar al 100% mortalidad.	43
Cuadro 4.4 Cuadro comparativo de costos de distintos tratamientos.	44
Tabla 7.1 Valores para constantes en ecuación 2.1 (SI).	54
Tabla 7.2 Valores para constantes en ecuación 2.2 (Sistema Inglés).	54
Tabla 7.3 Datos de mortalidad insectos adultos en Barranca	54
Tabla 7.4 Datos de mortalidad insectos larvas en Barranca en fracción y promedio porcentual.	57
Tabla 7.5 Datos de mortalidad insectos adultos en Heredia en fracción y promedio porcentual.	58
Tabla 7.6 Datos de mortalidad insectos larvas en Heredia en fracción y promedio porcentual.	61
Tabla 7.7 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Heredia. Arroz	65
Tabla 7.8 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Heredia. Arroz	65
Tabla 7.9 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Heredia. Maíz	65
Tabla 7.10 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Heredia. Maíz	65
Tabla 7.11 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Heredia. Arroz	66
Tabla 7.12 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Heredia. Maíz	66
Tabla 7.13 Datos de Análisis estadístico InfoStat <i>Trogium pulsarium</i> Larvas en Heredia. Maíz	66
Tabla 7.7 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Barranca. Arroz	66
Tabla 7.8 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Barranca. Arroz	67
Tabla 7.9 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Barranca. Maíz	67
Tabla 7.10 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Barranca. Maíz	67
Tabla 7.11 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Barranca. Arroz	67
Tabla 7.12 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Barranca. Maíz	68

RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis comparativo de la mortalidad de insectos bajo las siguientes condiciones:

- Se evaluaron dos tipos de grano, a saber arroz en granza y maíz blanco
- El grano fue colocado en recipientes plásticos de 2.5 galones
- Se estableció un proceso de crianza de insectos saber, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium castaneum*
- En los recipientes con arroz granza y en los de Maíz se colocaron los insectos antes citados.
- Todos los recipientes fueron sometidos a una atmosfera modificada con Nitrógeno Industrial
- Se mantuvo un Testigo para cada grano en la misma proporción grano-insecto
- Las evaluaciones se realizaron en dos repeticiones una en la zona Mesotermal (San Joaquín, Heredia, Costa Rica) y la otra en la zona Megatermal (Barranca, Puntarenas, Costa Rica).

Se procedió a realizar la obtención de datos de forma diaria por un periodo de 2 semanas en cada zona mencionada comparando la cantidad de individuos muertos en la atmosfera modificada contra los individuos muertos de los testigos.

La especie *S. zeamais* resulto ser la más susceptible al tratamiento con Nitrógeno Industrial ya que al ser una especie sumamente agresiva esta derrocha su oxígeno y energía en menor tiempo.

Además, el proceso de control de plagas en la zona metropolitana ronda las 2 semanas para lograr un 100% de eliminación de dichos hexápodos, hallando en la zona cálida de Barranca un proceso más eficiente reduciéndose a una semana para obtener ese resultado

Como parte de este estudio, se incluye una comparación económica que permite contabilizar el costo por metro cúbico entre el tratamiento con nitrógeno, la aplicación de Fosfina y el tratamiento con Bromuro de Metilo.

Capítulo 1. Introducción

La investigación se basa en la evaluación de la mortalidad de insectos bajo dos concentraciones de nitrógeno en atmósferas modificadas (testigo y aprox. 99%) en recipientes plásticos para trazar la curva de pérdida de nitrógeno, en donde se medirá la velocidad de eliminación de insectos previamente introducidos en los recipientes para realizar la curva de mortalidad con respecto a la concentración de nitrógeno y tiempo de exposición.

1.1 Tema de Investigación

Control de Insectos mediante la aplicación de Atmósfera Modificada con Nitrógeno Industrial en Arroz (*Oryza sativa*) y Maíz Blanco (*Zea mays*), durante su almacenamiento

1.2 Delimitación del Problema

El ataque de insectos en silos de granos ha acarreado en Costa Rica como en muchos países pérdidas considerablemente cuantiosas, que llegan inclusive al 10% en grano ensilado, que afectan permanentemente las labores de almacenaje y por ende el precio final al consumidor. (FAO. 2003)

En países en vías de desarrollo como Costa Rica que se encuentran en la región tropical los cereales constituyen una de las principales fuentes de alimentación; estos son sometidos a procesos de clasificación, secado y posteriormente almacenado, en esta última etapa la aplicación de Fosfina (PH₃) es el método más utilizada para el control químico en silos, lo que en muchos casos crea una resistencia en las plagas que conlleva a la utilización cada vez mayor de esta sustancia (Quirós. 2010), la exposición prolongada a bajos niveles de fosfina puede producir anemia, bronquitis, efectos gastrointestinales, y problemas motores, de la vista y del habla en el consumidor. (ATSDR. 2002)

Aunado a esto cabe destacar que en los últimos años, el riesgo de introducción de plagas exóticas y más resistentes a nuestro país, ha manifestado un incrementado como consecuencia de los procesos de globalización y la apertura comercial, con lo cual se ha

1.3 Justificación

La necesidad de utilizar alternativas confiables en el control de las plagas en alimentos almacenados ha impulsado la búsqueda de tecnologías limpias y amigables con el ambiente como lo es la utilización de nitrógeno como técnica de fumigación.

El programa para la adopción de alternativas al bromuro de metilo de las Naciones Unidas menciona el impacto que ha tenido nuestro país con la utilización del bromuro de metilo...

Además existe un amplio interés en instituciones públicas y privadas en Costa Rica e incluso en organismos internacionales como el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), por este tipo de temas, con la intención de mitigar los daños ocasionados por insectos en granos y el tiempo requerido para su control cuarentenario En el caso de instituciones públicas como La Universidad de Costa Rica y el Consejo Nacional de Producción, su interés se enfoca en promover nuevas prácticas de control de plagas que contribuyan al mejoramiento de la salud pública, además de cultivar un espíritu de investigación científico por el bien común de los costarricenses.

1.4 Objetivo de la Investigación

Cuantificar la tasa de mortalidad de Gorgojo de Maíz (*Sitophilus zeamais*), Pequeño barrenador del grano (*Rhizopertha dominica*) y Gorgojo falso (*Tribolium castaneum*) en Arroz (*Oryza sativa*) y Maíz Blanco (*Zea mays*) aplicando diferentes concentraciones de Nitrógeno, para 2 condiciones climáticas de almacenamiento distintas de Costa Rica, con el fin de minimizar el daño de dichos granos en su almacenamiento.

1.4.1 Objetivos Específicos

1. Cuantificar en un periodo definido el tiempo requerido para eliminar las plagas de Gorgojo de Maíz (*Sitophilus zeamais*), Pequeño barrenador de los Granos (*Rhizopertha dominica*) y Gorgojo falso (*Tribolium castaneum*) en Maíz Blanco y Arroz granza en sus etapas de desarrollo.
2. Determinar las diferencias existentes, mediante un análisis comparativo, entre la aplicación de Nitrógeno para control de plagas en 2 regiones climáticamente distintas de Costa Rica.
3. Realizar un análisis comparativo del costo económico por tonelada de grano tratado entre la aplicación de nitrógeno y otras alternativas cuarentenarias.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Antecedentes

La temática de control de plagas en granos ha sido desplegada ampliamente en las últimas décadas en países desarrollados en donde la producción granelera ha sido considerablemente tecnificada, caso contrario a lo sucedido en los países en vías de desarrollo en su mayoría de la zona tropical como Costa Rica. (Quirós. 2011).

Según Bond(1984) el almacenamiento de granos en una atmósfera controlada puede ser visto en dos fases 1) la "fase de purga", donde se sustituye la atmósfera normal con la atmósfera requerida y 2) la "fase de mantenimiento", donde se mantiene la atmósfera durante el periodo de tiempo deseado. En la fase de Purga Bond detalla como reemplazar el oxígeno existente en la atmósfera original por Nitrógeno, la cual es dependiente del tipo de grano y la cantidad de volumen a desplazar, hasta alcanzar el contenido de oxígeno deseado. En la fase de mantenimiento da las pautas que se deben seguir para evitar la pérdida de Nitrógeno debida a fugas.

Banks y Annis (1990) realizaron ensayos para determinar como la temperatura juega un papel clave en el control de plagas mediante atmósferas modificadas, mostrando que conforme aumenta la temperatura decrece el periodo de tiempo requerido para alcanzar un 100% de mortalidad de los insectos que atacan los granos básicos.

Weinberg. et al (2007) muestran como el contenido de nitrógeno en un silo sellado decrece en el tiempo conforme se aumenta el contenido de humedad en el grano. El análisis se realizó a distintos contenidos de humedad (14, 16, 18, 20 y 22%) a una temperatura de 30°C Dicho efecto se ve reflejado cuando el contenido de humedad del grano es superior a 18% después de 250 horas de expuesto el nitrógeno decrece alrededor de 15% partiendo de un 80% de concentración.

Newman y Yong (2010) exponen sobre el desarrollo de fumigantes alternativos y la creación de ambientes con poco oxígeno durante un período sostenido en Australia. Los autores señalan que los insectos bajo tales condiciones, independientemente de la etapa de la vida, no pueden respirar y finalmente mueren. La incidencia de resistencia a la fosfina y

la pretensión de los mercados crecientes de los granos no tratados con productos químicos han impulsado el desarrollo de la aplicación de nitrógeno en el almacenamiento a granel controlado de forma rentable.

Según Newman y Yong (2010) el nitrógeno puede ser usado sobre todo tipo de grano sin abandonar residuos, no tiene ningún período de retención y enormemente reduce los problemas de salud ocupacional y preocupaciones de seguridad. Está demostrada su eficacia en el control de los escarabajos rojos de harina (*Triboleum castaneum*) y los ensayos continúan en su uso para controlar una variedad de plagas de otros granos. Aunque el gas del nitrógeno se utilice en almacenajes en atmósfera controlada, producir bastante gas puro del nitrógeno ha sido un factor de limitación.

Gómez et. al. (2000) utilizaron una cámara de óxido de etileno para control de plagas adaptándola con nitrógeno con el fin de realizar un tratamiento cuarentenario a bienes culturales en cuba. Los resultados después de 4 semanas de aplicación fueron de un 100% de efectividad en mortalidad de los coleópteros usados en este estudio.

Bond (1984) menciona que el uso y manipulación de los componentes naturales de la atmósfera, por ejemplo, oxígeno, nitrógeno y carbono, para conservar los alimentos se conoce como almacenamiento en atmósfera "controlada" o "modificada". Técnicas de atmósfera controlada son ampliamente utilizadas en el almacenamiento de productos perecederos como frutas, vegetales, flores, etc., para retardar la maduración y reducir el deterioro por microorganismos. Este mismo autor menciona que para el control de insectos el nivel de oxígeno debe mantenerse por debajo del 1,2 % durante una semana, a temperaturas superiores a 35°C o más de 24 semanas a 15°C.

En cuanto a la problemática de utilizar Bromuro de Metilo Agrícola el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) señala que el Protocolo de Montreal reconoce esta sustancia como una de las sustancias que más daña la capa de ozono. Es por esta razón que se incluye como una de las sustancias a eliminar. Costa Rica, por ser uno de los 10 países con mayor consumo de Bromuro de Metilo (y el país con mayor consumo per-cápita) del planeta, fue elegible para un fondo de asistencia para eliminar el Bromuro de Metilo de forma acelerada.

El proyecto del PNUD para el desarrollo de alternativas al Bromuro de Metilo tiene como objetivo lograr la eliminación del Bromuro de Metilo en Costa Rica para el año 2013, exceptuando cuarentena, preembarque y usos esenciales autorizados por el Protocolo de Montreal.

2.2 Interacción Grano - Insecto

La estructura del grano de maíz maduro o cariopsis comprende: 1) la cubierta que incluye el pericarpio y la testa (5-6%), 2) el endospermo (80-85%) que incluye la capa de aleurona (2-3%) y 3) el embrión o esporofito (10-12%) y el pedicelo o piloriza (0.8-1.1%) que es tejido inerte en que se unen el grano y el carozo (FAO, 1993) (Figura 2.1).

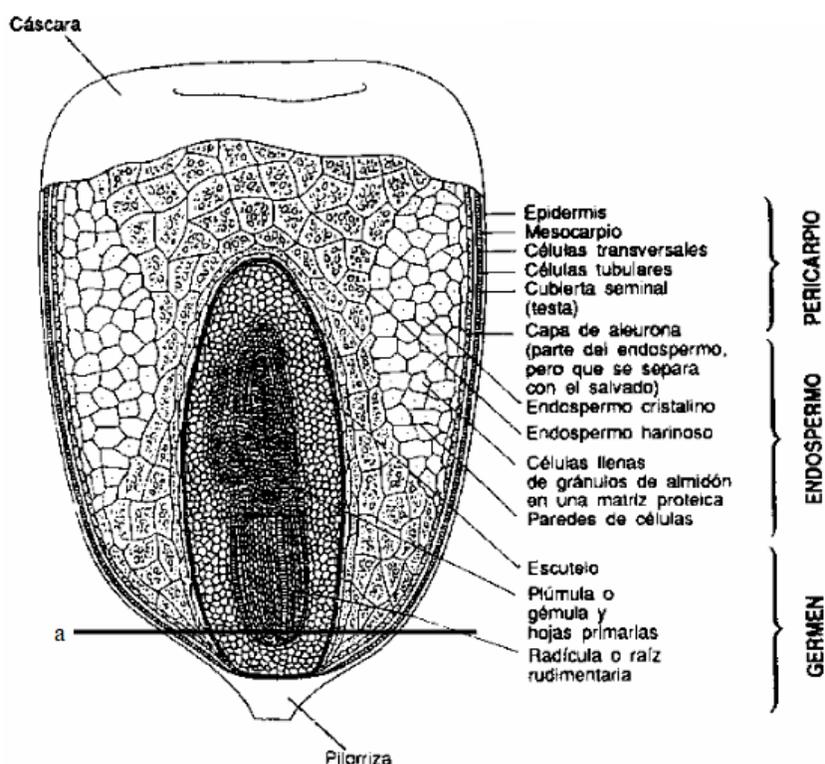


Figura 2.1 Estructura del grano de maíz: corte longitudinal (X30) a, zona de corte para la obtención del pedicelo o región micropilar.

Fuente: FAO, 1992.

En productos almacenados el grupo más numeroso de plagas corresponde a insectos que dependiendo de su tamaño, forma de reproducción y adaptación a diferentes medios de almacenamiento, los hacen los organismos de más importancia en el combate de plagas. Algunos de estos presentan afinidad por alimentarse y reproducirse dentro del grano, otros fuera de este cuando el grano ha sido fracturado, estos últimos se consideran plagas secundarias, ya que aprovechan el grano quebrado por un mal manejo pos cosecha o mordido por otra plaga para alimentarse de su interior. (OIRSA, 2003)

Landaverde (2003) comenta que estas plagas además de alimentarse del grano, producen polvo que al ser retirado provoca disminución del peso, asimismo provocan alteraciones químicas que producen mal olor con lo que se disminuye su calidad, afectando los procesos de molienda y cocción. También señala que en regiones tropicales y subtropicales las pérdidas superan al 10% pronunciado por La FAO.

2.2.1 Interacción grano - *Sitophilus zeamais*

Según detalla Serratos. 1993, citado por García S. (2004) la interacción maíz-*Sitophilus* es un ejemplo de modelo dinámico negativo planta-granívoro, el cual permite el análisis de los mecanismos naturales de defensa del maíz al proceso de colonización e infestación de este insecto. *S. zeamais* se desarrolla en el interior del grano desde la etapa de huevo hasta adulto reproductivo (Serratos, 1993).

El ciclo de vida de *S. zeamais* comienza cuando la hembra ahonda un hoyo por masticación y coloca un huevecillo, luego secreta un mucílago que cubre a éste hasta rellenar el compartimiento.

Este mucílago que sostiene al huevecillo es la única evidencia del grano infestado (ver figura 2.2). Los huevos pueden ser ovopositados en cualquier zona del grano, pero pocos son colocados a nivel del embrión. Usualmente se coloca más de un huevo por grano, pero es raro que más de una larva llegue a la madurez debido al canibalismo entre ellas. Esta especie presenta cuatro estadios larvales, los cuales se desarrollan dentro del grano y duran alrededor de 20 días. El huevo eclosiona después de 6 días e inmediatamente después de

que la larva emerge, se inicia el primer instar y la larva consume el alimento que le rodea dentro del grano. Al final del cuarto instar la larva utiliza una mezcla de secreciones para desplazarse y cerrar la madriguera e iniciar la forma pupal. La larva entonces asume la forma de pre-pupa y en un período corto de tiempo se convierte en pupa. (Longstaff, 1981, citado por García, 2004)

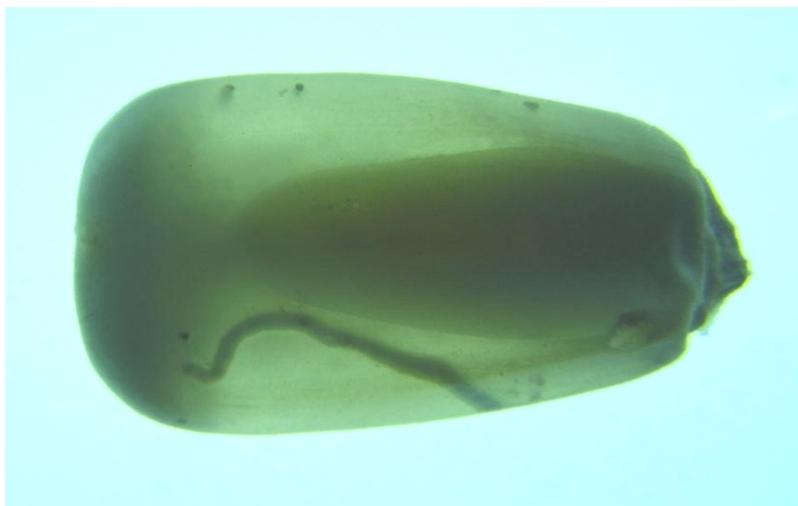


Figura 2.2 Huevecillo de *S. zeamais* dentro de grano de maíz.

Fuente: Autor

Cuando el adulto se ha desarrollado, este permanece en el grano por varios días antes de emerger. El ciclo de vida completo comprende de entre 36.3 y 40.3 días a 27 y 25°C respectivamente. Se considera que el primer instar larval es el estado de mayor susceptibilidad. Durante los primeros instares larvales el consumo de oxígeno aumenta drásticamente. Los requerimientos alimenticios durante estas etapas se resumen en amilopectinas, proteínas, lípidos y ciertas vitaminas. Durante la fase adulta los cambios en la temperatura fuera del intervalo de 15-30°C incrementa la mortalidad y la reducción en la humedad tiene el mismo efecto. Los adultos llegan a vivir hasta 30 semanas. La reproducción de estos insectos se considera que está en función de la densidad de población, la cual puede llegar a ser de más de 50 nacencias por semana. Una hembra produce hasta 250 huevos en su vida reproductiva. (Dobie, 1974; Longstaff, 198. Citado por García, S. 2004)

2.2.2 Interacción *Rhyzopertha dominica*

El ciclo de vida de este coleóptero comienza cuando la hembra coloca entre 300 a 500 huevos sobre los granos y la larva se abre camino hacia el interior de los granos de los cuales se alimentan y habitualmente pasan la fase de pupa dentro de los granos (ver figura 2.3). El ciclo completo dura de 4 a 10 semanas. El adulto tiene una longevidad que varía de 4 a 6 meses (FAO. 1983).



Figura 2.3 Grano infectado con huevecillos de *Rhyzopertha dominica*.

Fuente: Autor

Este insecto se considera la principal plaga del trigo almacenado y su propagación en parte se debe a que la mayoría de los embarques de trigo importado vienen infestados por este insecto. Además se destaca que el trigo importado contiene menos del 12% de humedad, porcentaje adecuado para *Rhyzopertha*, que prolifera perfectamente en granos secos. (FAO. 1983)

2.2.3 Interacción *Tribolium confusum*

Dell'Orto (1983) señala que es una plaga secundaria de los cereales ya que no causa daño en el grano sano, limpio y seco. Tanto el adulto como las larvas se alimentan de cereales partidos o dañados y sus productos.

Las hembras pueden producir cerca de 1 000 huevos blancos, muy pequeños, pegajosos, puestos en pequeñas bolsas o directamente sobre los alimentos; eclosionan en 5 a 12 días y las larvas están completamente desarrolladas en uno a cuatro meses. Los adultos y las larvas se alimentan de los granos enteros con alto contenido de humedad -12,5 a 15%- o en granos rotos con bajo contenido de humedad. (Ripusudan, L. Granados, G. 2001).

Utilizando la harina o residuos de los granos como incubadoras de 5 a 12 días es que la hembra ovípara hasta 450 huevos. Estos huevecillos están cubiertos con una secreción pegajosa que permite que se adhieran a la superficie y facilita la infestación. Los huevos incuban entre 5 y 12 días, originándose larvas pequeñas, delgadas, cilíndricas de hasta 5 mm de longitud, de color amarillo pálido. La pupa al principio es blanca, gradualmente cambia a amarillo, y finalmente se transforma en adulto de color café marrón. El ciclo completo demora de 6 a 8 semanas y los adultos viven de 12 a 18 meses.



Figura 2.4 *Tribolium confusum*.

Fuente: FAO, 1983.

2.3 Sistema de Respiratorio en Insectos

Siendo este el sistema que se ve directamente afectado con la presente investigación se empezará explicando cómo es su funcionamiento y como se ve afectado a través del tiempo en ausencia de oxígeno.

Brusca, R y Brusca, G (2005) indican que el intercambio gaseoso con la atmosfera que rodea al insecto se realiza por un sistema traqueal, el cual se distribuye por largas extensiones tubulares de la superficie del cuerpo que se abre a través de la cutícula mediante diminutos poros llamados Espiráculos. Estas extensiones tubulares llegan a distribuirse finamente en traqueolas que son canales de pared muy fina y llenos de líquido que hacen contacto con las células traqueolares (ver Figura 2.5). Las traqueolas llegan a todos los órganos, por lo que el intercambio gaseoso se realiza directamente y es accionado por difusión simple de los gradientes en la demanda de oxígeno de los órganos y por cambios de presión producto del movimiento del insecto en sus alas, patas o cualquier movimiento que realice. También se explica que muchos insectos presentan regiones traqueales expandidas llamadas sacos traqueales que funcionan, además de facilitar su vuelo, como reservas de aire.

Este último detalle es evidencia del porqué los insectos logran sobrevivir varios días con una limitada presencia de aire, restringiendo su consumo al mínimo en un estado de dormancia, ya que su líquido hemocélico (sangre) no transporta oxígeno¹

¹ Ver Invertebrados 2 ed. Brusca, R; Brusca, G. 2005

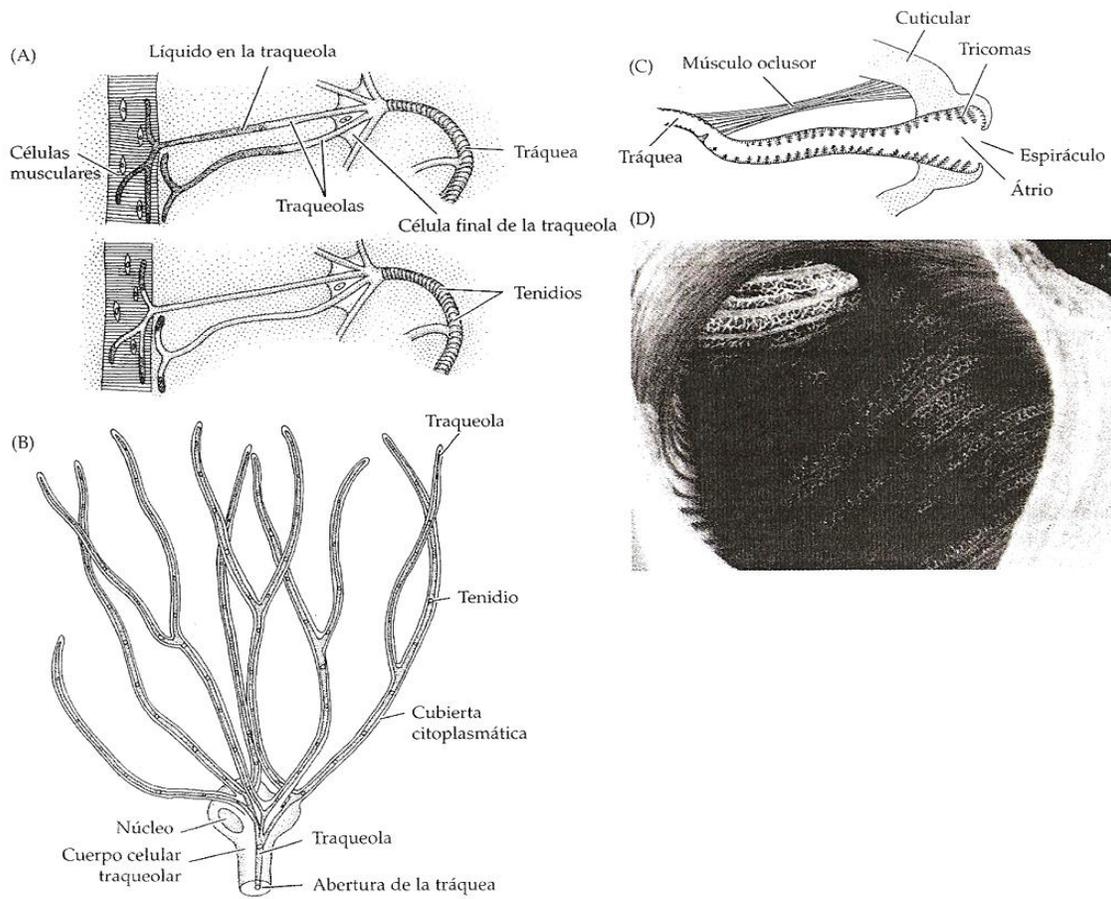


Figura 2.5 Sistema Traqueal de los Insectos.

Fuente: Brusca, R; Brusca, G. 2005.

El cuadro 2.1 da una descripción general de los daños que ocasionan los insectos en estudio cuando se encuentran en contacto con grano almacenado, además de las condiciones óptimas para su proliferación.

Cuadro 2.1 Daños ocasionados por especies en estudio.

Especie	Daño que ocasiona	Condiciones óptimas de hábitat
<i>Sitophilus zeamais</i>	La infestación produce un aumento de la temperatura y genera humedad, con la pérdida consecuente de la calidad del grano y desarrollo de hongos y de otras especies de insectos primaria. La alimentación de las larvas ocasiona grandes cavidades dentro del grano y la emergencia de los adultos deja hoyos de salida produciendo aun un mayor daño (Stefanazzi. 2010)	30° C , 70% HR
<i>Rhyzopertha dominica</i>	Una vez eclosada, la larva reptante activamente, alimentándose del polvillo de los granos. Luego, penetra al grano perforando la cubierta, o por un orificio que ha roído un adulto. Se alimenta vorazmente dentro del grano, perforando generalmente una pequeña galería hacia el centro, donde, a medida que se desarrolla, construye una celda. (Ripa. 1971)	30- 35° C 70% HR
<i>Tribolium confusum</i>	Los adultos y las larvas se alimentan de los granos enteros con alto contenido de humedad -12,5 a 15%- o en granos rotos con bajo contenido de humedad. Provoca decoloración en la harina, se pone grisácea y sucia. Además los adultos con sus glándulas odoríferas imparten olor repugnante al alimento (Ripa. 1971)	35-37° C 70% HR

2.4 Flujo de Gas a través de una Capa de Grano

Una de las principales preguntas que se deben hacer es: ¿Qué caudal se debe aplicar y por cuanto tiempo, para hacer pasar Nitrógeno a través de una capa de grano y este quede uniformemente distribuido?

Un gas pesado se difundirá más lentamente a lo largo de un espacio abierto a uno más ligero, ya que la densidad de los gases es proporcional a su peso molecular. La Ley de Graham establece que las velocidades de efusión de los gases son inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de sus respectivas densidades, por lo que se debe tener en cuenta la resistencia que opondrá el aire intersticial en los granos al paso de Nitrógeno, ya que el primero de estos gases presenta mayor densidad que el segundo².

2.4.1 Resistencia al Flujo de Aire

Cualquier fluido, como el Nitrógeno, al desplazarse a través de una masa de granos, encuentra una resistencia al movimiento que le causa una pérdida de energía y por ende, una reducción en su presión estática.

Agrawal y Chand (1974) muestran que en una masa de fluido las fuerza externas que actúan en su desplazamiento logran ser expresadas como un producto de número de partículas por unidad de masa y la fuerza que actúa en dicha partícula, este último factor se asienta en:

1. La fuerza de arrastre debido al paso del fluido a través de las partículas.
2. La resistencia de fricción entre el fluido y las paredes de la capa de granos.
3. La fuerza asociada con los cambios en la energía mecánica debido a la compresibilidad del fluido. Se da un cambio en el volumen a una presión dada, generándose un trabajo por la fricción y la fuerza de resistencia sobre la partícula.

Teniendo en cuenta que los factores que afectan la resistencia al flujo de aire son los mismos que afectan la resistencia al flujo de Nitrógeno Industrial se puede ciertamente mencionar dichos factores citados por Díaz (1995):

1. Tamaño y forma de partículas.
2. Contenido de humedad del grano.
3. Densidad aparente.

² Densidad Aire = 1.2 Kg/m³, Densidad Nitrógeno = 1.153 kg /m³, PRAXAIR

4. Orientación de los granos.
5. Rugosidad de la superficie.
6. Contenido de impurezas.

La caída de presión por unidad de profundidad de la capa se puede predecir en función de la tasa de flujo de aire y la densidad aparente por el uso de esta ecuación empírica (ASAE D272.3):

$$\frac{\Delta P}{L} = X_1 + X_2 \frac{Q \cdot \left(\frac{P_B}{P_K}\right)^2}{\left(1 - \frac{P_B}{P_K}\right)^3} + X_3 \frac{\left(\frac{P_B}{P_K}\right) \cdot Q^2}{\left(1 - \frac{P_B}{P_K}\right)^3} \quad (2.1)$$

Donde:

ΔP = Caída de Presión, (Pa, mca)

L= Profundidad de capa de grano (m, ft)

P_B = densidad aparente de masa de grano ($\text{kg/m}^3, \text{lb/ft}^3$)

P_k = densidad real del grano ($\text{kg/m}^3, \text{lb/ft}^3$)

Q= flujo de aire ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2, \text{cfm/ft}^2$)

X_1, X_2, X_3 = Constantes (ver tabla 2.1 ó 2.2)³

Siendo la porosidad un aspecto fundamental en el paso de nitrógeno a través del grano, y teniendo en cuenta el espacio intersticial entre granos donde quedará atrapado aire, deberá calcularse el caudal necesario de nitrógeno para llegar a una concentración de oxígeno menor a 1%. El oxígeno atrapado en estos espacios recalcitrantes irá disolviéndose con el nitrógeno de la atmosfera aplicada, por lo que se debe aplicar una segunda purga luego de varios minutos.

³ NOTA - Rango de aplicación: 732 a 799 kg/m^3 (45,7 a 49,9 lb/ft^3) (densidad de maíz a granel) desde 0,027 hasta 0,60 $\text{m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}^2$ (5,3 a 117 cfm/ft^2) (Berna y Caridad citados por ASAE).

2.4.2 Aplicación de Nitrógeno Industrial para Atmosfera Controlada

Para el establecimiento de atmósfera controlada Bancos y Annis (1977) citado por Bond (1984) mencionan que el almacenamiento en atmósfera controlada se pueden ver en dos etapas, la primera es una etapa de Purga, la cual consiste en desplazar la atmosfera original (aire), y la segunda y no menos importante es la etapa de Mantenimiento de la atmosfera ya modificada por un periodo deseado. Estas 2 etapas se analizan a continuación:

Etapa de Purga:

Bond (1984) señala que para sistemas de almacenamiento que oscilen de 300 a 700 toneladas de capacidad de grano el caudal optimo a pasar de nitrógeno sería de $3\text{m}^3/\text{min}$. Este caudal ha de ser pasado previamente por un medidor de flujo que indique dicho caudal. Aunque se menciona que dicho caudal puede aumentarse, esto no es conveniente, ya que la resistencia al flujo de Nitrógeno se ve afectada dándose una mala distribución de gas en el contenedor de los granos, desperdiciando Nitrógeno y energía. En esta etapa, la purga debe darse por una abertura de al menos 0.005 m^2 para las capacidades mencionadas.

Cuando es Nitrógeno líquido el que se utiliza para este fin, este debe pasar por un intercambiador de calor antes de ingresar al sistema de almacenamiento para que el gas llegue a temperatura del ambiente, ya que si esto no se da ocurren dos problemas, el primero es que habría una migración de humedad a la zona de granos con menor temperatura y es perjudicial para la eficacia insecticida del proceso. Para esto Bond (1984) sugiere utilizar para un caudal de $3\text{m}^3/\text{min}$, tres intercambiadores de calor de aire forzado en paralelo con ventiladores de $0,4\text{ kW}$ ($0,5\text{ hp}$) y un intercambiador de calor atmosférica en serie aguas abajo.

La purga debe prolongarse hasta alcanzar valores de oxígeno cercanos a cero por ciento, dándose de forma exponencial debido al desplazamiento de aire de los espacios intersticiales de los granos, los cuales se irán llenando, del gas nuevo (Nitrógeno), de forma decreciente con respecto a su tamaño. Por lo que el tiempo de llenado variará en cada tipo de grano.

Etapa de Mantenimiento

Una vez finalizada la etapa de Purga se mantendrá un suministro de gas mínimo para preservar la atmosfera deseada con un contenido de oxígeno menor a 1%. Esta tasa de suministro de Nitrógeno dependerá de la capacidad del silo, la hermeticidad del silo y el clima.

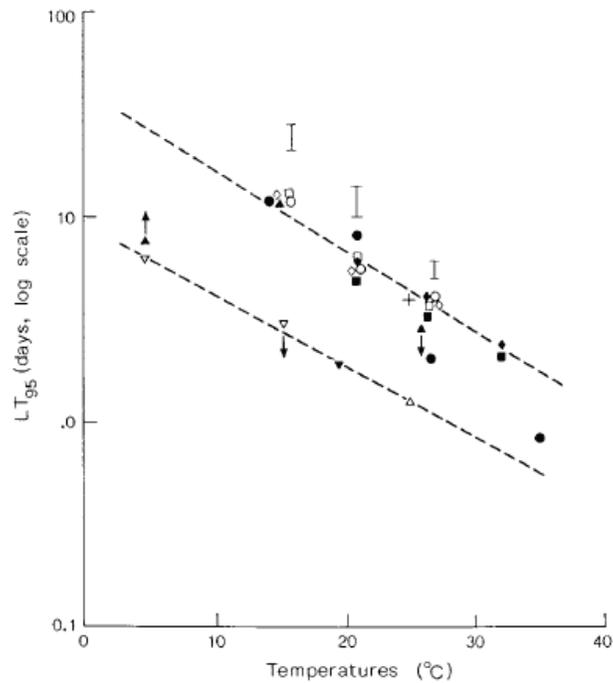
Los períodos de exposición recomendados para diferentes temperaturas del grano con un porcentaje de oxígeno de 0 a 1.2 en Nitrógeno se muestran en la Tabla 2.1. Banks y Annis, (1977).

Tabla 2.1. Tiempos de exposición para la desinfección completa de granos con menos de 12% de humedad, con Atmosferas de 0 a 1.2 % de oxígeno.

Temp. Grano (°C)	Tiempo de Exposición (semanas)
15	24
18	15
20	6
23	4
26	3
30	2
35	1

Fuente: Banks y Annis, 1977.

La temperatura tiene un efecto importante en los tiempos de exposición necesario para matar plagas de granos y la tasa tiene que ser hecha para esto en las dosis recomendadas. La figura 2.6 muestra la influencia de la temperatura en matar a los adultos de *Sitophilus oryzae* para ambientes tanto de baja concentración oxígeno y alta concentración de dióxido de carbono, lo que indica un efecto fuerte, pero similar. Efectos similares se suponen para las otras etapas y especies. Para temperaturas de productos básicos en atmosferas controladas inferiores a 30 °C puede proporcionar un medio rápido de desinfección, con exposiciones de 7 a 10 días. Banks, H J, et. al. (1990).



Temperature sensitivity of *Sitophilus oryzae* adults in: low-O₂ atmospheres (upper line) ●, burner gas, <1% O₂ and 9% CO₂, ◊, 100% He, ◻, 100% N₂, ○, 100% CO₂, ▲, <1% O₂, ■, ~0.5% O₂, ◆, ~1.0% O₂, +, 100% CO₂) and high-CO₂ concentrations in air (lower line) (∇, 60%, ▼, 75%, △, 65%). Arrows indicate direction of uncertainty in data points; bars show exposure periods recommended by Jay (1980) for high-CO₂ atmospheres at various temperatures. Figure from Banks and Annis (1990).

Figura 2.6 Sensibilidad de *Sitophilus oryzae* a baja concentración de O₂ y alta concentración de CO₂.

Fuente: Banks y Annis, 1990.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Pruebas Preliminares

3.1.1 Pie de cría

En frascos de vidrio de 3 litros (ver figura 1), se coloca alimento y un medio de propagación para los 3 tipos de insectos a criar de la siguiente manera:



Figura 3.1. Frascos de pie de cría.

Sitophilus zeamais (gorgojo del maíz): En la base del frasco se coloca una capa de 50 mm de trigo mezclado con levadura para proporcionar al insecto alimento. Sobre esta capa se coloca maíz blanco hasta una altura de 100mm por debajo del borde del frasco, para proporcionar al insecto un medio para caminar y a su vez le permita colocar los huevecillos dentro de dichos granos, una vez colocado esto se procede a insertar alrededor de 100 insectos provenientes de grano infectado, el cual fue proporcionado por personal de la planta La China del CNP, luego de colocar el insecto se tapa el frasco con malla antiáfido para evitar que el insecto escape, pero que le permita respirar, esto se replicó en 3 frascos.



Figura 3.2. Pie de cría de *Sitophilus*

T. castaneum y *R. dominica*: Al igual que el caso anterior se coloca una base para alimentación, pero en este caso la base es de arroz con levadura como se muestra en la figura 3.2. A partir de esta base se llena el frasco de vidrio igual que en el caso anterior, pero con arroz en granza.



Figura 3.3. Pie de Cría de *Tribolium* y *Rhyzopertha*

Luego de esto se procedió a insertar el insecto y colocarles la tapa de malla antiáfido, pero se introdujeron las 2 especies (*Tribolium* y *Rhyzopertha*) pues las condiciones en las que viven son las mismas, además que son morfológicamente muy parecidas; esto se replicó en

6 frascos. Hay que aclarar que para fines de la investigación no precisa realizar la separación de ambas especies en este momento, pues solo se pretende reproducirlas tomando en cuenta que dichos insectos no compiten entre sí cuando hay suficiente alimento y espacio. Luego de 3 semanas hay una población más numerosa de todas las especies, pues ya copularon y se reprodujeron en su primera fase. En este punto se trasladan los insectos en medios estañones de asbesto proporcionados por el CNP. Los Sitophilus en un estañón y Tribolium y Rhyzopertha en otro estañón (ver figura 3.4), dentro de los estañones hay una bolsa plástica para evitar el contacto directo del insecto con el asbesto, y cada estañón se tapa con malla antiáfido para evitar que escapen.



Figura 3.4. Estañones con insectos

3.1.2 Respuesta de insectos al contacto directo con Nitrógeno Industrial (99.5%) PRAXAIR

Se realizó una prueba para determinar el tiempo que tardaban los insectos en morir estando directamente en una atmosfera de nitrógeno con una concentración de 99.5% de nitrógeno. Esta prueba se realiza únicamente para entender y familiarizarse con las respuestas que den los insectos cuando comiencen las mediciones en baldes plásticos. La prueba consistió en introducir un grupo de insectos de las 3 especies juntas en bolsas plásticas nuevas (las bolsas nuevas no tienen aire en su interior) con el cuidado de no introducirle aire en su interior y aplicar nitrógeno industrial PRAXAIR para tomar el tiempo que tardarían los

insectos en morir. También se hizo una prueba en donde se utilizó aire comprimido PRAXAIR, el cual posee cantidades muy bajas de agua (menor a 1000 de ppm), para descartar que fuera la ausencia de humedad el motivo de la muerte de los insectos. Luego de introducir el gas (N_2 y Aire) en sus respectivas bolsas con insectos se le realizaban 4 nudos a las bolsas para evitar de forma práctica que entrara aire a dichas bolsas.

Una vez introducido el aire comprimido y Nitrógeno industrial en las bolsas los insectos entraron en un periodo de dormancia de aproximadamente 15 a 20 minutos, debido a la baja temperatura de los 2 gases que se encuentran a alta presión. Luego de este periodo los insectos retomaron su movimiento normal por toda la bolsa. Luego de 5 minutos de comenzar a moverse los insectos que se encontraban en contacto con Nitrógeno Industrial detuvieron su actividad completamente, mientras que los que estaban en contacto con el aire comprimido siguieron su actividad por 5 días (luego de esto murieron por falta de alimento)



Figura 3.5. Insectos expuestos a nitrógeno por 20 minutos.

Los insectos que se encontraban en contacto con nitrógeno se colocaron en frascos de vidrio con tapa de malla antiáfido, con el objetivo de determinar si los insectos se encontraban en un periodo de latencia o si estaban muertos como pretendía el ensayo. Luego de 4 horas los insectos expuestos a nitrógeno industrial no presentaban signos de vida, y esto se mantuvo por 7 días, corroborando que se encontraban muertos por asfixia.

3.1.3 Inserción de gas en los recipientes

Se realizaron múltiples pruebas para determinar la forma idónea de insertar el nitrógeno en los recipientes plásticos, pruebas en las cuales las variantes fueron, la duración, el caudal, y el lugar por donde se insertaría el gas, variando a su vez en cada prueba la cantidad de purgas realizadas para modificar la atmosfera interna.

De las pruebas preliminares antes citadas se determinó que la forma más idónea para insertar el gas en los tarros con grano es introducir el gas por la manguera de purga por 30 segundos con un caudal medido con rotámetro de 30 litros por minuto, realizando 2 purgas pausadas 10 segundos en cada cubeta.

3.2 Metodología

El desarrollo metodológico de este trabajo se basa en la aplicación de nitrógeno en recipientes que contienen grano, esto se aplicó para dos tipos de grano diferentes, a saber arroz y maíz. El proceso fue paralelo y para cada tipo de grano se empleó el siguiente procedimiento:

- Se colocó el grano en cubetas de 2.5 galones con la concentración de nitrógeno deseada por un periodo de 2 semanas.
- Dentro de cada cubeta se depositaron poblaciones con los 3 tipos de insecto (*S. zeamais*, *R. dominica* y *T. confusum*) en 2 de sus estados de desarrollo (larva y adulto), estos insectos estuvieron en bolsas antiáfido dentro de tubos perforados de PVC con una dosis de maíz enriquecida con trigo y levadura del mismo grano del recipiente para asegurar su alimentación y preservación, estas bolsitas se distribuyeron homogéneamente en el recipiente permitiendo al insecto estar en contacto con la atmosfera que rodea el grano pero que no le permitan salir de la bolsa.
- En la tapa de los recipientes utilizados se realizan 2 aberturas, una por donde se introduce una manguera, del mismo diámetro del agujero, que se extiende hasta el fondo del tarro plástico y ahí se forma un círculo con la misma manguera para homogenizar la introducción de nitrógeno por pequeños orificios que posee la

manguera en la parte que forma dicho círculo. La otra abertura servirá para que purgue el aire cuando se aplique el nitrógeno.

- Seguido de la introducción del grano, los insectos y colocar la tapa con la manguera se procedió a cerrar la tapa la cual posee un anillo de hule para el cierre hermético y se aplicó el nitrógeno a aquellas cubetas que guardan las muestras a aproximadamente 99% Nitrógeno industrial y las otras guardan las muestras testigos (aire ambiente).
- Utilizando un diseño de bloques completos al azar se procedió a realizar la disposición de las muestras de la siguiente manera:
 - Usando una concentración de nitrógeno, de aproximadamente 99% y la testigo (79% N₂), y realizando 3 repeticiones por concentración en cada tipo de grano por cada zona de estudio se procede a realizar el conteo de las cubetas requeridas.

$$2 \text{ concentraciones} \times 3 \text{ repeticiones} \times 2 \text{ Tipos de grano} \times 8 \text{ semanas} \times 2 \text{ regiones del país} = 192 \text{ cubetas con grano} \quad (3.1)$$

- En cada una de las 2 regiones donde se realizaron las pruebas se marcaron 6 bloques con las letras N₁, N₂, N₃, T₁, T₂ y T₃ (nitrógeno y Testigo respectivamente), esto para cada tipo de grano, que contenían 16 espacios cada bloque.
- En cada uno de estos bloques se colocaron 8 cubetas con nitrógeno aproximadamente 99%, numeradas de 1 al 8 y con la letra M (para maíz) y 1 al 8 con la letra A (para arroz). Estas 16 cubetas se colocaron aleatoriamente hasta completar los 16 espacios respectivos. Esto será igual en cada bloque y se repite la numeración en los testigos.

Ejemplo de la distribución en bloques completos al azar empleado en este estudio:

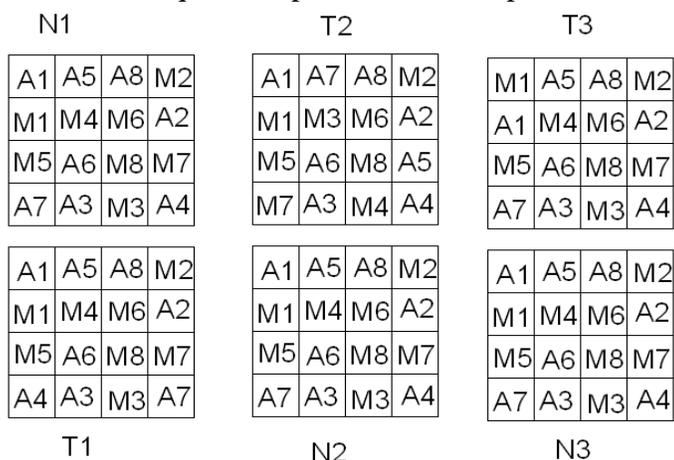


Figura 3.6. Bloques completos al azar.

- Esto se repitió para dos regiones del país; Planta Barranca, Puntarenas y Planta La China en Heredia, ambas del Consejo Nacional de Producción.
- Se realizó una medición del contenido de nitrógeno de todos los recipientes el día de inserción del gas, luego a los 2 días y a los 7 días en aquellos recipientes que aún no se han abierto para la medición, a fin de corroborar que la concentración de gas se mantuvo estable.

3.2.1 Obtención de datos

Se realizó 1 monitoreo por día durante los primeros tres días, luego tres monitoreos uno cada día de por medio, pasando luego a un monitoreo cada tres días, como se explica a continuación. El día que se dispuso para la revisión se extrajo una cubeta con concentración estimada en 99,5% N₂ de cada uno de los bloques N1, N2 y N3, tanto para Arroz como para Maíz y una cubeta testigo de cada uno de los bloques T1, T2 y T3 de Arroz y Maíz.

Este procedimiento se realizó en dos regiones del país, Región Meseta Central, Heredia (temperatura 10°C a 24°C, y una altura de 800 a 2000 msnm), y Región Pacífico Central, Puntarenas (temperatura superior a 24°C, y una altura de 0 a 800 msnm)⁴.

⁴ Se utilizó la definición de Mesotermal y Megatermal respectivamente para las 2 condiciones climáticas mencionadas siguiendo la clasificación climática de Köppen

3.2.2 Análisis Estadístico

Utilizando el programa InfoStat, el cual se especializa en estadística Bio ingenieril y Agropecuaria, se procede a realizar un análisis comparativo entre los tratamientos con el fin de determinar si poseen significancia estadística entre el tratamiento con nitrógeno y el testigo, además entre regiones climáticas

Los datos son analizados por el programa con un análisis de varianza DUNCAN, el cual pide en forma lógica y ordenada los datos, este ordena en tablas los valores arrojados mostrando las desviaciones estándar, valor de p y mostrando con letras (a y b) si son significativos los valores ingresados al sistema, de forma tal que si existe la misma letra entre tratamientos, no posee diferencia significativa, por otro lado si 2 o más tratamientos poseen letras distintas (a y b), sí existe diferencia significativa entre dichos valores ingresados. Se pueden consultar estas tablas en la sección de Anexos.

Capítulo 4. Resultados y Discusión.

Los resultados de los ensayos realizados en el Plantel La China⁵ seguidos de los resultados de los ensayos efectuados en el Plantel Barranca⁶, ambos del Consejo Nacional de Producción, iniciadas el 14 de diciembre de 2011; son presentados más adelante.

Para cada uno de los lugares de medición se incluyen los análisis respectivos, análisis comparativos entre sí y las distintas representaciones gráficas.

Durante las diferentes pruebas de medición de la concentración de nitrógeno en el interior de las cubetas, con el fin de identificar el valor de nitrógeno en cada cubeta, se tuvo el acompañamiento de personeros de PRAXAIR.

El porcentaje de nitrógeno, el cual oscila de 96 a 99% de Nitrógeno en la atmosfera modificada, fue medido con un analizador de gases Illinois 6600 de la compañía PRAXAIR el cual mide porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono, de donde se logra extraer por diferencia el porcentaje de nitrógeno, ya que estos 3 gases representan el 99.99 de la atmosfera existente en el interior de los recipientes en estudio.

El gráfico 4.1 muestra el porcentaje promedio de oxígeno existente en el interior de los recipientes utilizados en todas las tarimas N1, N2 y N3 tanto para arroz como para maíz, en el transcurso del tiempo.

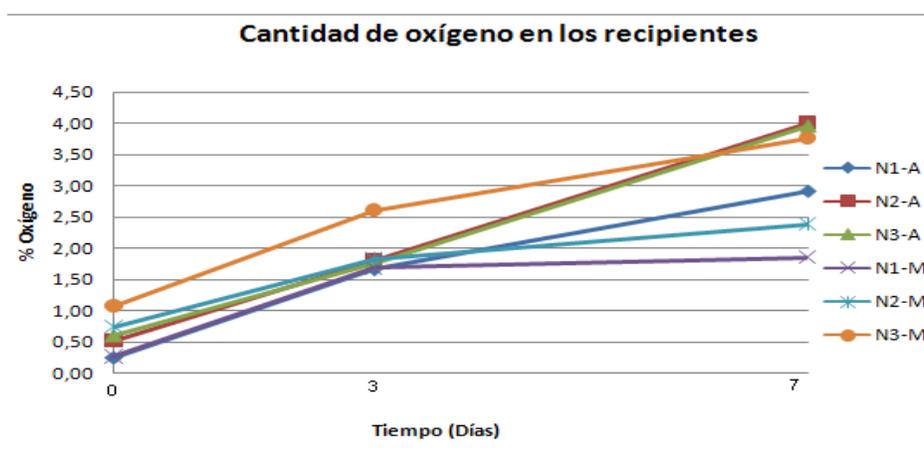


Gráfico 4.1. Porcentaje promedio de oxígeno en el interior de los recipientes.

⁵ Plantel de Granos Básicos, San Joaquín de Heredia, Costa Rica

⁶ Barranca Puntarenas, Costa Rica

El porcentaje de oxígeno representado en el gráfico 4.1 aumenta con el tiempo debido a que existen pequeñas fugas entre los recipientes y sus respectivas tapas, permitiendo el ingreso de oxígeno ya que este presenta mayor densidad que el nitrógeno que ha sido introducido para el estudio.

Los resultados del siguiente análisis realizado con el programa InfoStat afirman que sí existe diferencia significativa entre el tratamiento con Nitrógeno y el tratamiento sin Nitrógeno. También existe diferencia significativa entre las dos zonas estudiadas (Barranca y Heredia).

4.1 Resultados en la condición de clima Mesotermal

Las condiciones de temperatura y humedad relativa para la China durante el ensayo respectivamente son:

Cuadro 4.1 Temperaturas y humedades relativas del Plantel la China CNP. Del 20 enero al 02 febrero 2012.

Temperatura Máxima (°C): 30.29	Humedad Relativa Máxima (%): 90.70
Temperatura Mínima (°C): 17.30	Humedad Relativa Mínima (%): 33.51
Temperatura Promedio (°C): 22.74	Humedad Relativa Promedio (%): 63.42

4.1.1 Sitophilus zeamaiz Adultos

El gráfico 1 muestra la mortalidad del Sitophilus en arroz, ahí se representan dos curvas, que corresponden a los 2 tratamientos empleados, a saber atmósfera modificada (99,5% N₂) y el testigo (condición ambiental normal).

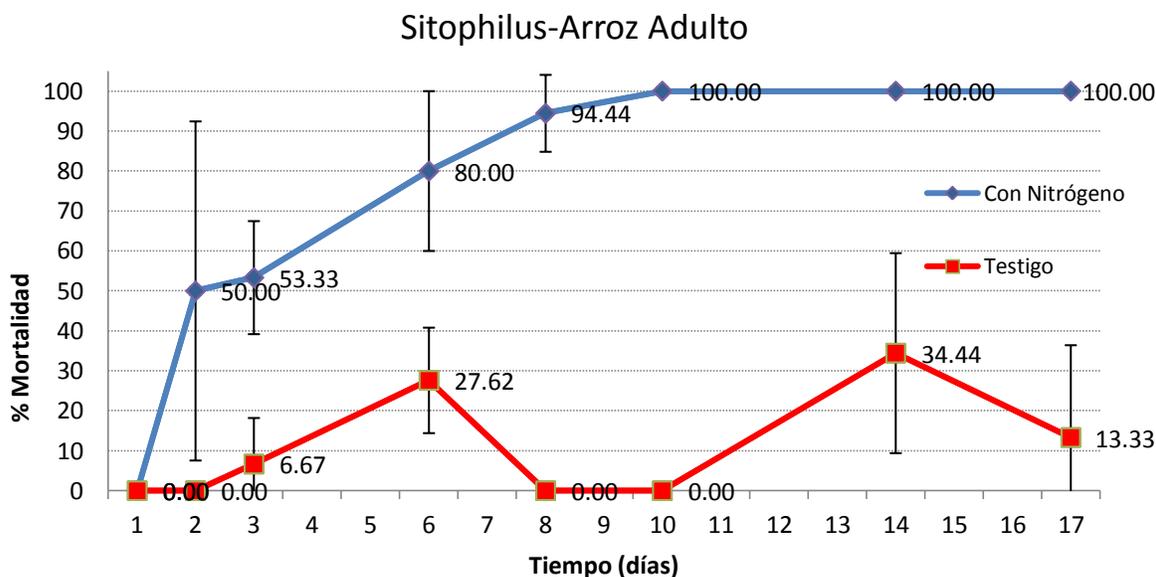


Gráfico 4.2. Comparación de tratamientos de Mortalidad Sitophilus Adultos en Arroz. Mesotermal.

Como se observa en este gráfico, la curva del tratamiento con 99,5% de N₂, evidencia que se llega a una mortalidad del 100 % de este coleóptero al cabo de 10 días. Mientras que en el caso del testigo tanto para el gráfico 1 como para todos los gráficos, la tendencia variable de mortalidad se debe a que existe un gran margen de edades dentro de la misma etapa de adultos, provocando que al inspeccionar los tarros surjan más insectos muertos en unos que en otros.

La desviación estándar en esta gráfica del tratamiento refleja un alto grado de dispersión en los primeros 7 días debido a la inserción de aire en los recipientes ya que no se logra una hermeticidad perfecta, esto les permite a los insectos más jóvenes resistir más tiempo, en una condición de clima que ronda los 23 °C, con concentraciones de oxígeno cercanas al 3% que, aunque es muy bajo, es suficiente para vivir por una semana. En el caso de los testigos la incertidumbre de los últimos 2 registros manifiesta como influye el no poseer adultos de iguales edades pues los más viejos morirán con mayor probabilidad que aquellos más jóvenes. Sin embargo se expresa una clara tendencia de aniquilación de la plaga cuando entra en contacto con una atmosfera modificada con altos valores de nitrógeno.

El gráfico 2 muestra un comportamiento similar al gráfico 1 en el cual existe una notable diferencia entre el tratamiento con atmosfera modificada y el testigo en donde el primero

alcanza una mortalidad del 100% en el transcurso de 2 semanas. Y valores muy satisfactorios de un 80% luego de 6 días de exposición.

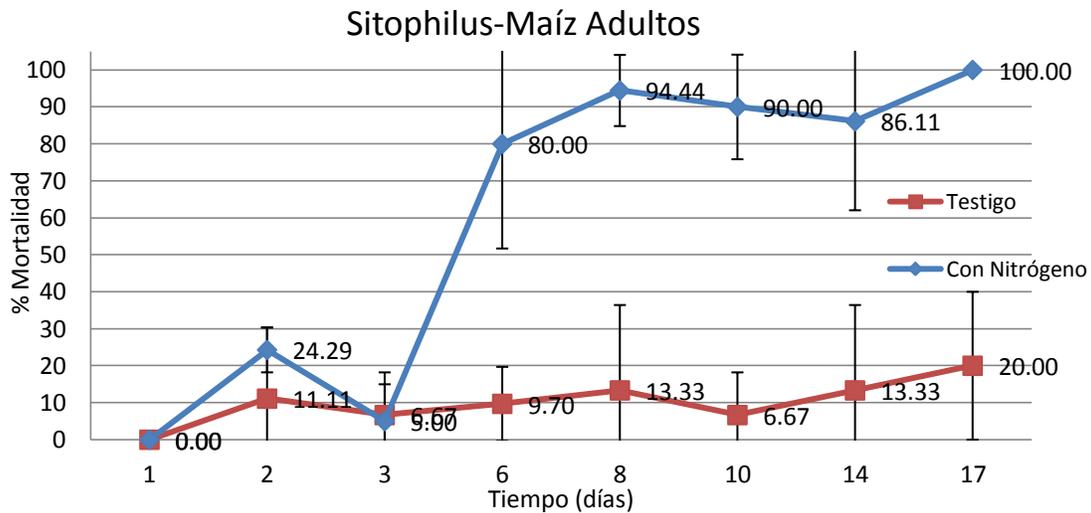


Gráfico 4.3. Comparación de tratamientos de Mortalidad Sitophilus Adultos en Maíz. Mesotermal.

En el caso del tratamiento testigo en el gráfico 2 muestra un máximo de mortalidad de un 20% al finalizar el ensayo.

El patrón que sigue la desviación estándar en este caso sigue la misma explicación que en el gráfico anterior correspondiente al testigo.

4.1.2 Rhyzopertha y Tribolium Adultos

En este caso se hizo en conjunto para estas 2 especies debido a lo complejo de hacer la separación, ya que presentan características físicas muy similares, por lo que se duplicó la cantidad de individuos en cada repetición con respecto a los Sitophilus.

A continuación el gráfico 3, el cual muestra la misma comparación de mortalidad, pero en este caso se da en Rhyzopertha y Tribolium en arroz. En este caso también, pero en menor medida, se observa la tendencia a una mayor mortalidad para el caso de la atmosfera modificada, notándose que alcanza un 86.36% de exterminio al término de 6 días.

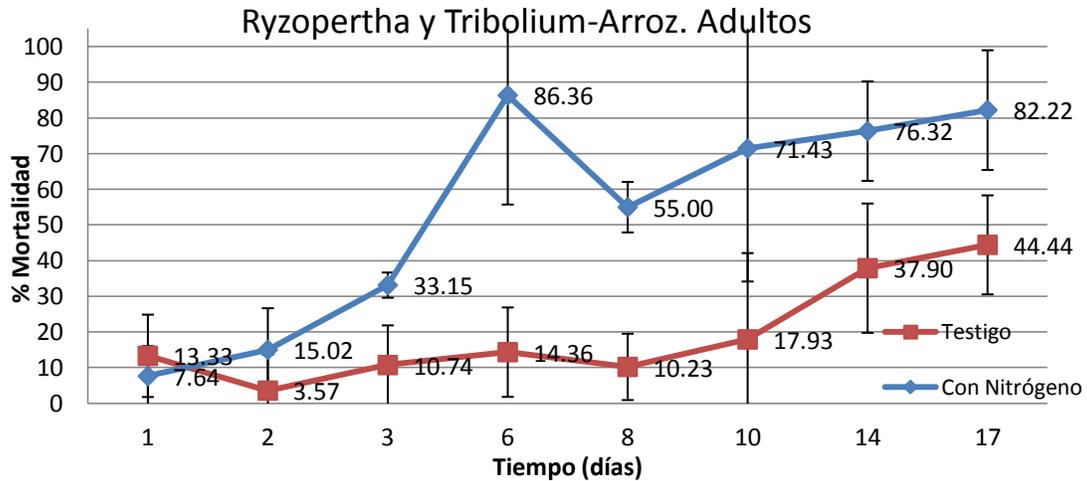


Gráfico 4.4. Comparación de tratamientos de Mortalidad en Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Arroz. Mesotermal.

El gráfico anterior muestra una mayor resistencia de estas especies al tratamiento en comparación con el Sitophilus, la cual es una especie más “agresiva” y por tanto más dinámica, lo que lo lleva a un mayor consumo de oxígeno y energía. Se muestra además la reducción de mortalidad al octavo día dado además por varios factores entre los cuales destacan la falta de una hermeticidad mayor en los recipientes utilizados y la diferencia de edades entre los mismos insectos adultos

En el gráfico 4 en el cual se muestran las especies de Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Arroz, la mortalidad de un 100% en la atmosfera modificada llega al decimocuarto día, mostrando, al igual que en el gráfico 3, una mayor resistencia al tratamiento. La desviación típica para este caso se ve afectada por los motivos antes descritos.

Hay que aclarar en que la razón por la que la mortalidad decrece incluso después de llegar a un 100% es porque son mediciones independientes de recipientes independientes tomados, eso sí, de los mismos bloques, esto para garantizar que al tomar las lecturas de mortalidad en el interior de cada tarro no se altere a aquellos insectos que aun deben permanecer dentro de la atmosfera modificada.

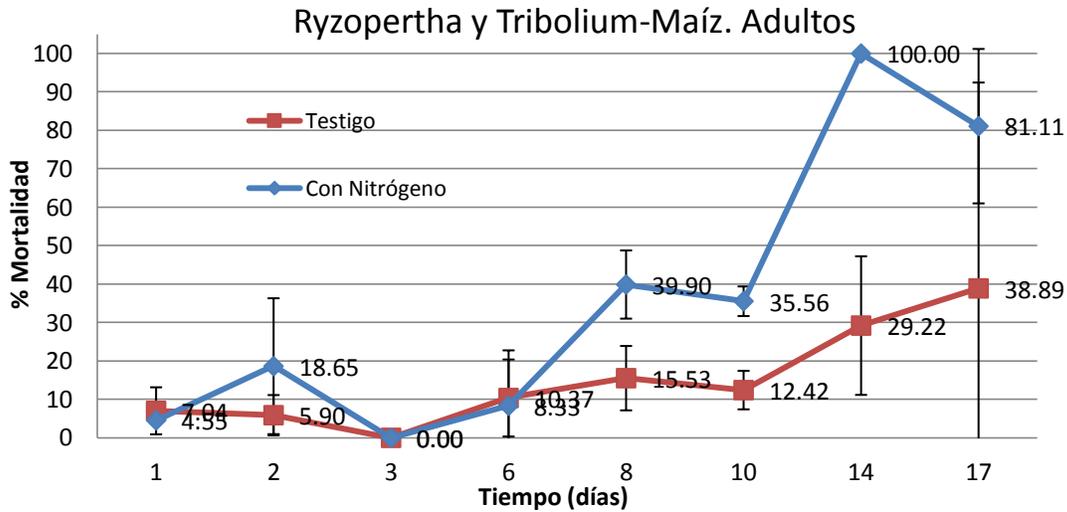


Gráfico 4.5. Comparación de tratamientos de Mortalidad en Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Maíz. Mesotermal.

4.1.3 *Trogium pulsatorium*

El gráfico 5 muestra la especie *Trogium pulsatorium* o también conocida como Reloj de la Muerte. Es una especie secundaria que se alimenta de materia animal o vegetal.

Esta especie se introdujo en el estudio como dato adicional pues se logró hacer su separación y además representa una de las principales plagas secundarias que afectan tanto madera, libros, granos y todo aquello donde existan otras especies que le sirvan de alimento, generando un calentamiento y focos de humedad en donde habite.

En este gráfico (gráfico 5) se muestra una rápida eliminación de la especie, que se da en un periodo de 24 horas, siendo el caso más notorio en el que es efectivo el tratamiento con atmosfera modificada para control de plagas.

El estudio de esta especie solamente se realizó en Heredia, pues, como ya se mencionó, se logró incubar en los estañones que se utilizaron para la cría de las especies propiamente en estudio.

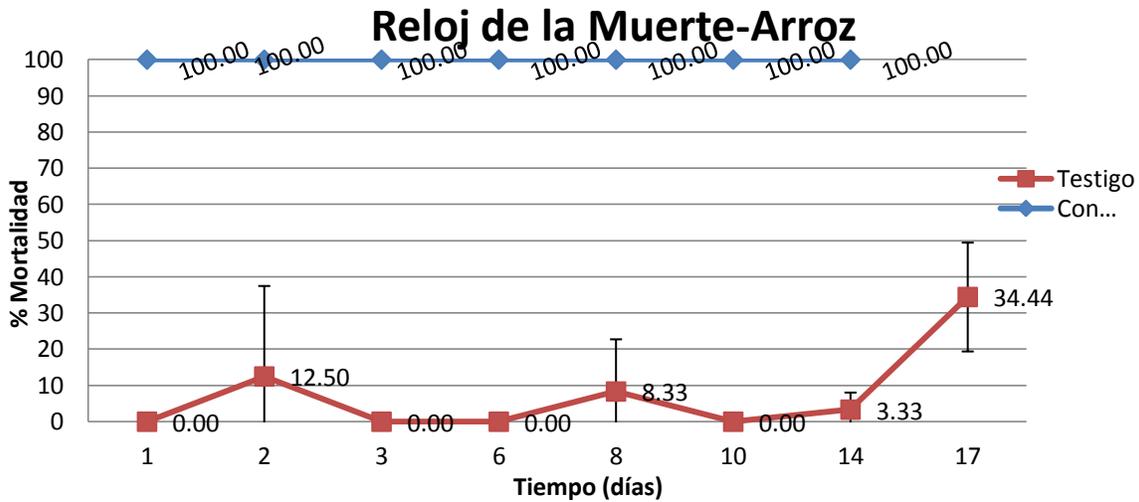


Gráfico 4.6. Comparación de tratamientos de Mortalidad en *Trogium pulsatorium* Adultos en Arroz. Mesotermal.

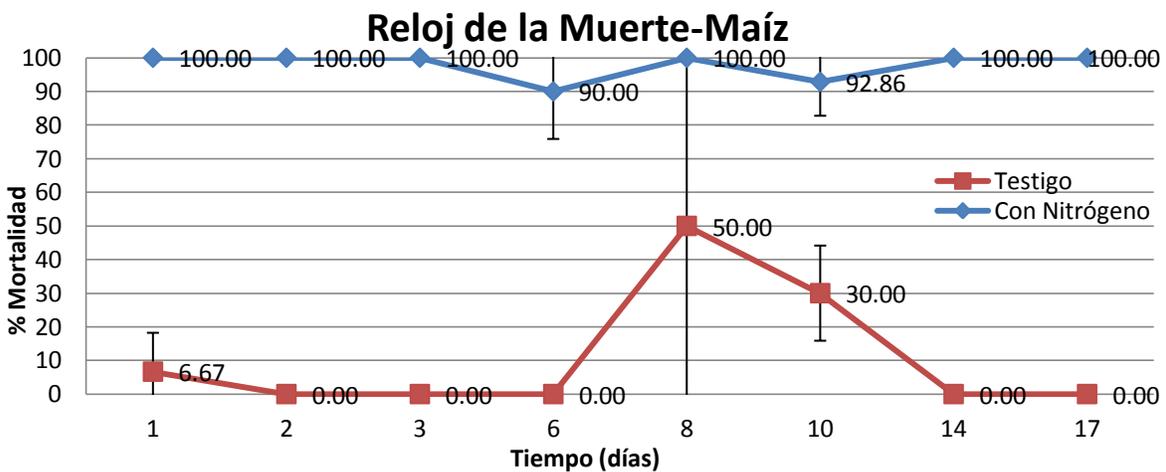


Gráfico 4.7. Comparación de tratamientos de Mortalidad en *Trogium pulsatorium* Adultos en Maíz. Mesotermal.

En el caso del gráfico 4.7 se da una tendencia muy similar que el gráfico 4.6 en donde se encuentra una eliminación 100% efectiva al cabo de 24 horas, sin embargo los puntos de la cuarta y sexta medición se muestra una reducción en la mortalidad que rápidamente se normaliza en la séptima medición. No así en ambos casos con el Testigo, en el cual es notoria la diferencia pues hay una mortalidad casi nula, exceptuando octavo y décimo día, dando una ventaja significativa al tratamiento.

Para todos los casos en los que se modificó la atmosfera los insectos que no murieron presentaban una notable disminución en sus actividades motoras, mostrando apenas signos vitales como movimiento de una antena o una pata por lo que se denotará a este estado como inactivo, pues no presenta amenaza alguna luego de ser sometido al tratamiento con Nitrógeno, ya que no se reproducirá ni consumirá alimento, mientras que los insectos que estaban como testigos presentan todo su potencial mostrándose en sus actividades de vuelo, actividades sexuales entre otras.

4.1.4 Larvas Rhyzopertha y Tribolium

Ya se ha dado un breve panorama del daño que ocasionan estas especies, sin embargo se notará una diferencia en el comportamiento de las mismas pero en estado larval.

El gráfico 4.8 muestra la curva de mortalidad de estas especies en estado larval colocadas en arroz.

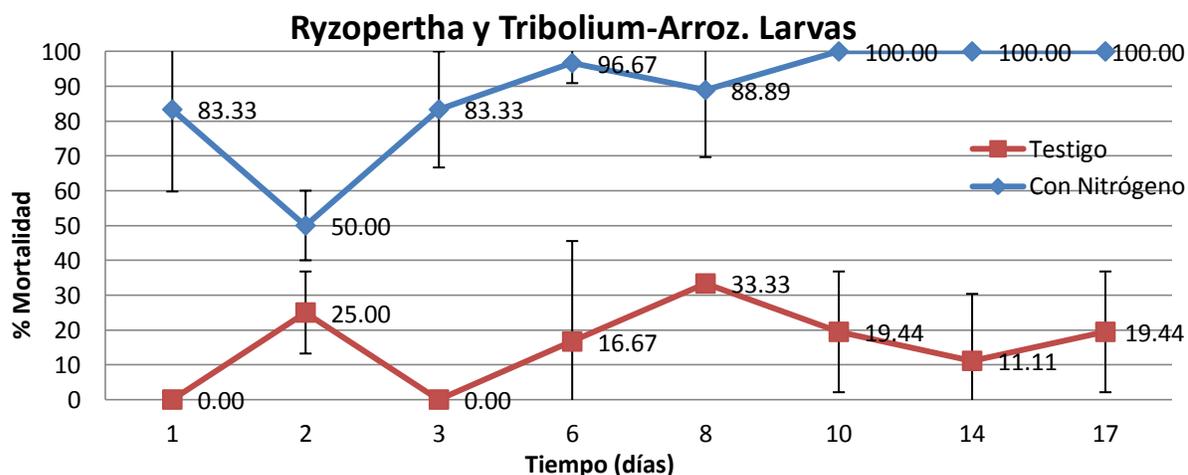


Gráfico 4.8 .Comparación de tratamientos de Mortalidad en Rhyzopertha y Tribolium larvas en Arroz. Mesotermal.

Para este gráfico el comportamiento de mortalidad en comparación a los adultos del gráfico 3 se dan valores más altos en el porcentaje de insectos muertos llegando a un 100% de mortalidad al décimo día, sin embargo la inactividad en los insectos vivos antes del décimo día se da muy notoria reduciendo o eliminando su efecto destructivo en el grano.

En el caso de las larvas de *Rhyzopertha* y *Tribolium* colocadas en maíz el comportamiento se da de forma un poco más pautado pero llegando a un valor constante de 100% de mortalidad en un periodo de 2 semanas, siendo significativamente efectivo en comparación con el testigo que logra un valor máximo de 25% de muertes

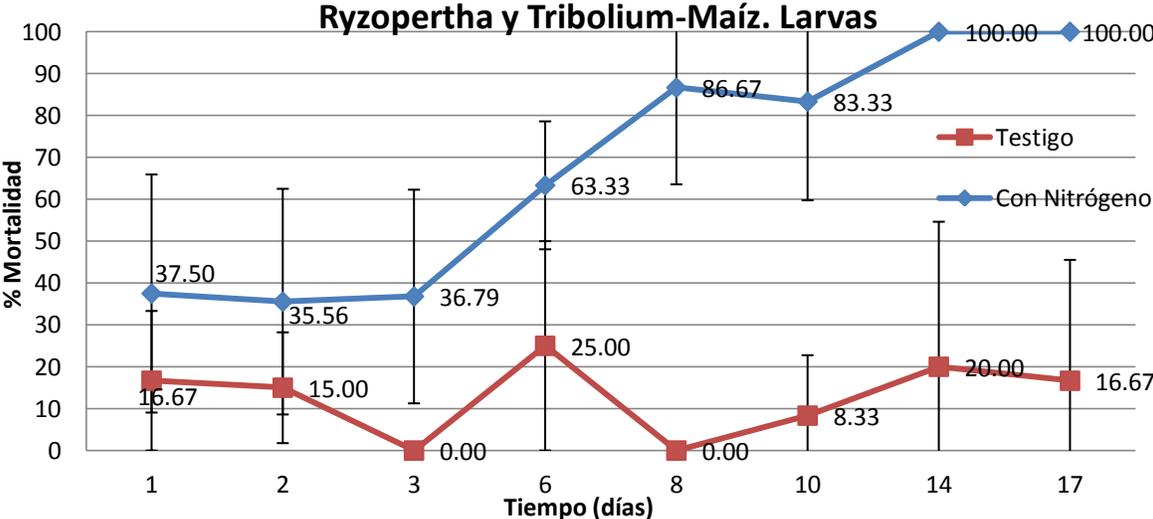


Gráfico 4.9. Comparación de tratamientos de Mortalidad en *Rhyzopertha* y *Tribolium* larvas en Maíz. Mesotermal.

Cabe mencionar que estos hexápodos muestran una dormancia casi inmediata al estar en presencia de una atmosfera carente de oxígeno, lo cual se manifiesta en una disminución de sus funciones motoras que inhabilita su reproducción y alimentación.

4.2 Resultados en condición de clima Megatermal

Las condiciones de temperatura y humedad relativa para el Plantel de Granos Básicos Barranca donde se realizó el ensayo respectivamente son:

Cuadro 4.2 Temperaturas y Humedades Relativas del Plantel Barranca CNP. Del 13 diciembre 2011 al 18 enero 2012.

Temperatura Máxima (°C): 34.69	Humedad Relativa Máxima (%): 85.29
Temperatura Mínima (°C): 21.50	Humedad Relativa Mínima (%): 35.56
Temperatura Promedio (°C): 27.61	Humedad Relativa Promedio (%): 63.51
Temp. Promedio Interior Tarros con Arroz (C°): 28.48	HR Promedio Interior Tarros con Arroz (%): 62.65
Temp. Promedio Interior Tarros con Maíz (C°):28.51	HR Promedio Interior Tarros con Maíz (%): 69.85

4.2.1 Sitophilus zeamais adultos

En una condición con temperaturas que fluctúa alrededor de 28 grados celsius la respuesta a una atmosfera modificada, con Nitrógeno industrial, se ve reflejada en un elevado porcentaje de hexápodos muertos dentro de este tratamiento de control de plagas.

El gráfico 9 muestra lo antes citado alcanzando un 80% de mortalidad a las 24 horas de iniciado el tratamiento y llegando a un constante 100% de exterminio luego de 72 horas de la inserción del nitrógeno en el ensayo.

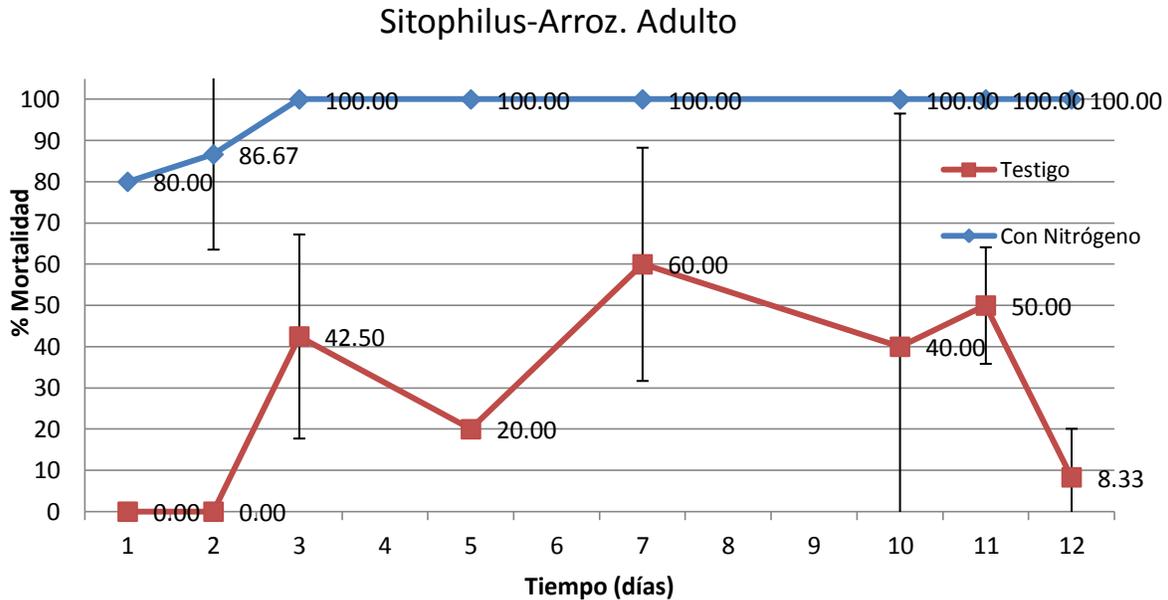


Gráfico 4.10. Comparación de tratamientos de Mortalidad *Sitophilus* Adultos en Arroz. Megatermal.

La respuesta de la especie *Sitophilus zeamais* en Maíz blanco se da en el gráfico 10 donde se muestra un 80% de mortalidad a las 24 horas y se expresa un 100% de efectividad del tratamiento transcurrido un periodo de 7 días, mostrándose inactividad total en aquellos insectos vivos en la última medición.

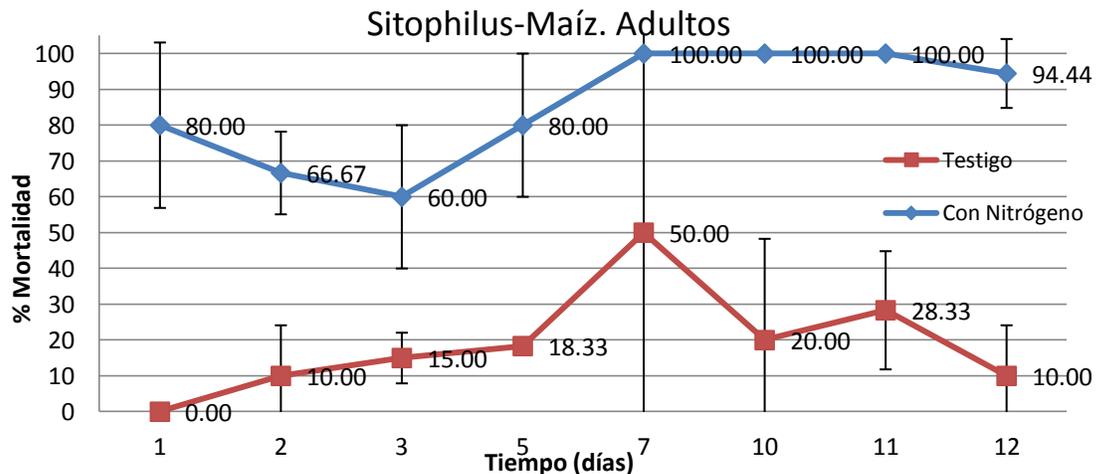


Gráfico 4.11. Comparación de tratamientos de Mortalidad *Sitophilus* Adultos en Maíz. Megatermal.

4.2.2 *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium castaneum* adultos

El gráfico 11 muestra el comportamiento de las especies *Rhyzopertha* y *Tribolium* en este estudio para una condición Megatermal, iniciando con un 59.7% de mortalidad a las 24 horas y llegando a un 100% de aniquilación en 2 días de exposición al tratamiento. Se connota el comportamiento típico de estas especies en condiciones óptimas, reflejado en el testigo y el claro efecto que se da al entrar en contacto con una atmosfera modificada con nitrógeno.

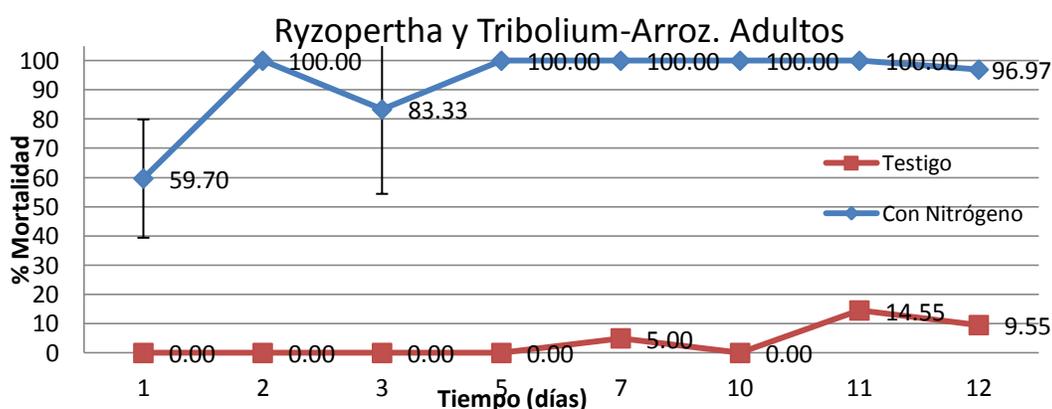


Gráfico 4.12. Comparación de tratamientos de Mortalidad *Rhyzopertha* y *Tribolium* Adultos en Arroz. Megatermal.

En los gráficos mostrados anteriormente para la condición Megatermal de Barranca se obtuvieron resultados con tendencias bien definidas en donde las desviaciones estándar de este tratamiento muestra una mayor precisión en los datos obtenidos.

Las especies *Rhyzopertha* y *Tribolium* adultos en contacto con maíz blanco y sometidos a una atmosfera modificada con niveles de oxígeno inferiores a 4 %, llegan a un 100% de mortalidad en un lapso de 7 días presentando un serio detrimento de sus funciones motoras después de 24 horas de exposición a este medio.

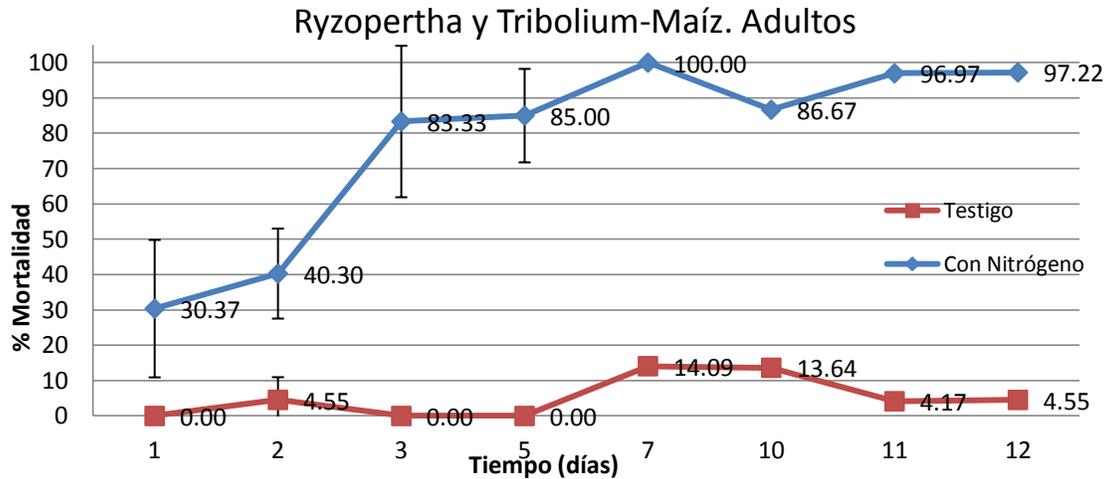


Gráfico 4.13. Comparación de tratamientos de Mortalidad Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Maíz. Megatermal.

Las condiciones de clima Megatermal, en las que se obtuvieron los resultados, permite representar de forma clara el comportamiento de las 3 plagas en estudio bajo una atmosfera pobre en oxígeno en donde se obtienen resultados de eficacia total en periodos menores a 7 días, pero también se observó una relevante actividad de los hexápodos que se mantuvieron como testigos.

4.2.2 Larvas Rhyzopertha y Tribolium

Para el caso de las larvas de *R. dominica* y *T. castaneum* sometidos al tratamiento en la zona de Barranca el comportamiento tiende a una eficiencia del 78.57% al cabo de 24 horas y llegando al control total luego de 7 días, mostrándose una variabilidad alta en la primera medición y regulándose al pasar los días.

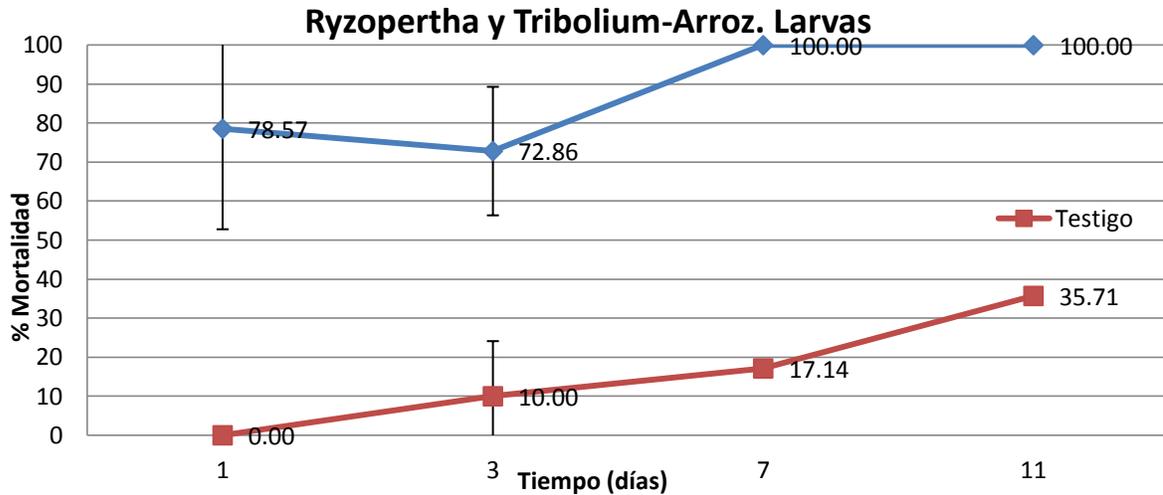


Gráfico 4.14. Comparación de tratamientos de Mortalidad Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Arroz. Megatermal.

El mismo tratamiento, pero ahora aplicado a Maíz muestra, al igual que en el gráfico 13, la tendencia de las larvas a una eliminación del 100% en un lapso de 7 días como se muestra en el siguiente gráfico

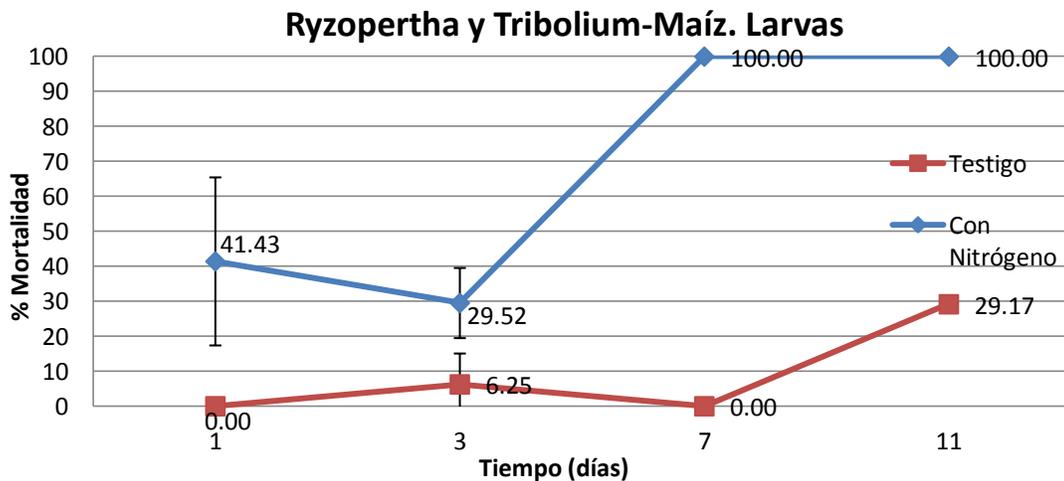


Gráfico 4.15. Comparación de tratamientos de Mortalidad Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Maíz. Megatermal.

4.3 Comparación de resultados para 2 condiciones climáticas distintas.

A continuación se mostrara la comparación de resultados del ensayo entre las 2 condiciones climáticas estudiadas mediante un cuadro resumen.

Cuadro 4.3 Días que tarda el tratamiento de Control de plagas con Nitrógeno en llegar al 100% mortalidad.

Especie	Grano	Mesotermal (Heredia)	Megatermal (barranca)
<i>Adulto Sitophilus zeamaiz</i>	Arroz	9	3
	Maíz	17	7
<i>Adulto Tribolium castaneum y Rhyzopertha dominica</i>	Arroz	más de 17	5
	Maíz	14	7
Larvas <i>T castaneum</i> y <i>R dominica</i>	Arroz	14	7
	Maíz	14	7

Este cuadro refleja como la temperatura juega un papel fundamental en este tratamiento tal como es citado en el marco teórico, siendo más eficiente en Barranca donde se alcanzan mayores temperaturas en comparación con Heredia. En la primera zona alcanza un control total en un tercio del tiempo alcanzado en Heredia.

4.4 Comparación entre tratamientos de control de plagas.

Cuadro 4.4 Cuadro comparativo de costos de distintos tratamientos.

Sustancia	Aplicación	Toxicidad	Ventajas	Precio(\$/m ³)
Nitrógeno Líquido	Llevar la atmosfera a un 99% de nitrógeno(Q=3m ³ /min) por un periodo de 1 semana, si se cuenta con una temperatura superior a 28°C	Exposición excesiva puede causar asfixia	<ul style="list-style-type: none"> • Sin residuos. • Alcanza un 100% de mortalidad de insectos. • No es tóxico. • Apropiado para usar en Silobolsas y Contenedores 	1.5
Membrana Generador Nitrógeno⁷	Llevar la atmosfera a un 99% de nitrógeno(Q=3m ³ /min) por un periodo de 1 semana, si se cuenta con una temperatura superior a 28°C	Exposición excesiva puede causar asfixia	<ul style="list-style-type: none"> • Sin residuos. • Alcanza un 100% de mortalidad de insectos. • No es tóxico. • Apropiado para altos volúmenes de grano. 	0.39⁸
Fosfina	2 ó 3 g/m ³ durante 4 días a 26°C	Fatiga, zumbidos en los oídos, náuseas, edema pulmonar, falta de aliento, convulsiones, presión en el pecho, concentración de 2,8 mg / l es letal para seres humanos en un tiempo muy corto (Flury y Zernik, 1931)	Fácil aplicación.	0.87
Bromuro Metilo	72g/m ³ durante 12 horas a 21-26°C. 56 g/m ³ durante 12 horas a 26.5-31.5°C	Es un depresor del sistema nervioso central. Las concentraciones superiores a 5ppm provoca la muerte debido a una lesión pulmonar y la insuficiencia circulatoria, temores dificultad del habla y ataxia. Entre los 10 productos que más deteriora la capa de ozono (PNUD)	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil aplicación. • Rápida acción 	0.4

⁷ Sistema de suministro continuo de nitrógeno gaseoso. (Ver anexos)

⁸ Costo incluye alquiler de la membrana generadora y tarifa eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad.

El precio mostrado en el cuadro 4.4 toma en cuenta la cantidad recomendada para una sola aplicación de los respectivos tratamientos por cada metro cúbico de grano tratado en almacenamiento. Se debe tomar en cuenta que en el caso del uso de nitrógeno para control de plagas es necesario realizar aplicaciones cada 3 meses con el fin de garantizar el exterminio de insectos en etapa de huevo.

Estos precios están sujetos a fluctuaciones del mercado.

Cabe mencionar que una proyección a futuro del costo de utilización de nitrógeno industrial, en donde exista un incremento considerable en la cantidad de nitrógeno producido para suplir la necesidad de la industria granelera, se consideraría una disminución de los costos, considerando además su uso como insumo agrícola se eliminaría el impuesto de venta según ley N°6826 del Impuesto General sobre las Ventas, para lo cual se puede revisar dicho reglamento en la sección de Anexos. Además los requisitos para inscribir este producto como insumo agrícola se especifican en la ley 8702 del Trámite de las Solicitudes de Registro de Agroquímicos también disponible en la sección de Anexos

Por otra parte el uso del nitrógeno industrial como sustituto del Bromuro de Metilo incrementaría enormemente su demanda, por lo que se esperaría un crecimiento de su oferta en el mercado reduciendo así el costo del Nitrógeno grado Industrial.

4.5 Potenciales de la investigación.

De este trabajo se puede extraer tanto información como inspiración para la realización de diversos trabajos, de múltiples disciplinas de los cuales a continuación se citan algunas ideas que han surgido a lo largo de la realización de este trabajo:

Nutricional

Desde el punto de vista nutricional se puede dar un enfoque para la realización de un trabajo de graduación, en el cual se realice un análisis de los efectos que produce un exceso de sustancia como Bromuro de Metilo y de Fosfina en la dieta de los costarricenses y su comparación con una dieta en la cual no se utilicen estos químicos. Esto sería considerable ya que según comenta Quirós (2012), en nuestro país se dan prácticas inadecuadas en las cuales se aplican dosis de Fosfina de hasta 20 veces lo recomendado.

Económico

Un estudio económico a fondo del costo de implementación de membranas generadoras de nitrógeno tanto para industrias de procesamiento de granos básicos, como para barcos graneleros, siendo una excelente continuación de este trabajo realizado.

Biológico

Un estudio del impacto al utilizar nitrógeno como control de plagas, realizando un análisis por sexo e instares más detallado, de los insectos utilizados, o bien de otras especies de interés en donde se abriría nuevas ventanas para la entomología.

Agrícola

En cuanto a la parte agrícola, un potencial de este trabajo se identificaría una optimización de los procesos para la aplicación de nitrógeno en donde se tomaría en cuenta resistencias al flujo de gases, intercambiadores de calor, distribuciones homogéneas entre otras áreas. También cabe un análisis para otros granos de importancia nacional. Otro potencial al que llegaría es la utilización de esta tecnología en su aplicación para tratamiento de granos para consumo de animales criados orgánicamente, tal es el caso de pollos, en donde existe una problemática en este aspecto, ya que se utilizan plaguicidas para control de plagas.

Social

La forma de pensar de muchos industrializadores y empresarios limita de forma considerable la utilización de técnicas que sean amigables con el ambiente, por lo que un estudio de los factores que influyen en la toma de decisiones de cambiar modelos de producción y procesamiento de materias que no alteren el medio ambiente, ayudaría a determinar estos aspectos que retrasan el avance de un país en vías de desarrollo.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

De la presente investigación se desprenden una serie de conclusiones relevantes no tan sólo para entender la tasa de mortalidad de las tres especies de insectos a estudiar en una atmosfera modificada, sino también los cambios que sufren estas tasa al variar la temperatura.

Además muestra la importancia que hacer un cambio en la utilización de sustancias insecticidas para proyectar el futuro de nuestra alimentación con técnicas que ayudarán a reducir el impacto en los daños ocasionados tanto en nuestra dieta como en el medio ambiente.

- La utilización de Nitrógeno Industrial para el control de plagas logra un efecto de mortalidad del 100% en las especies de *Sitophilus zeamaiz*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum* y *Trogium pulsatorium*.
- Existen diferencias significativas en la mortalidad de los insectos estudiados entre las 2 zonas de estudio para el uso de Nitrógeno Industrial en el control de plagas. En donde se triplica el efecto del Nitrógeno Industrial en la zona Megatermal en comparación con la zona Mesotermal.
- El efecto de la temperatura en la mortalidad de los insectos corrobora lo citado por diferentes autores mencionados en el marco teórico, reflejándose un mayor efecto del tratamiento al incrementar la temperatura.
- La especie adulta que presentó menor resistencia al tratamiento con Nitrógeno Industria es el *Trogium pulsatorium* en los 2 tipos de grano en que se hizo el estudio, seguido por el *Sitophilus zeamaiz* también introducido en arroz granza y en Maíz blanco.

- El efecto del tratamiento en las especies de larvas utilizadas refleja la eficiencia de la utilización de Nitrógeno Industrial para el combate de plagas, y su incidencia a nivel de huevo reflejado en un exterminio del 100% en 7 días controlando las plagas en granos almacenados.
- La utilización de Nitrógeno Industrial en almacenamiento de granos resulta una alternativa confiable para el control de plagas, la cual no representa ningún efecto en el deterioro de la capa de ozono ni en la salud pública.
- El Nitrógeno industrial para el control de plagas resulta un sustituto viable al uso de Bromuro de metilo, contribuyendo al objetivo perseguido por El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en eliminación del Bromuro de Metilo en Costa Rica para el año 2013.

5.1.1 Fuentes de Error en los datos obtenidos.

No se logró obtener un instar de adultos de la misma edad, lo que indujo en una alta variabilidad en la mortalidad de los insectos de los tratamientos testigos.

La inserción de nitrógeno en los recipientes utilizados se realizó por la parte inferior por medio de una manguera y la purga de aire fue por la parte superior del tarro, por lo que no se da un desplazamiento adecuado ya que el nitrógeno presenta una menor densidad que el aire.

No se logra un 100% de hermeticidad en los recipientes utilizados por lo que la aparición de fugas considerables en algunos tarros conlleva a eliminar los datos obtenidos de esos tarros.

5.2 Recomendaciones.

A continuación se mencionan las recomendaciones que surgen durante la realización de esta investigación.

- Realizar un estudio de la mortalidad de insectos que afectan otros granos de interés nacional, como frijol, soya, etc. utilizando Nitrógeno Industrial.
- Es necesario efectuar un análisis de trazas de sustancias químicas utilizadas actualmente para control de plagas en granos básicos a fin de descubrir residuos que puedan dañar la salud de los consumidores.
- Desarrollar un estudio a fondo del costo de instalación de membranas generadoras de nitrógeno en plantas de tratamiento de granos básicos y Puertos donde se hagan controles cuarentenarios. O bien de contenedores criogénicos con Nitrógeno.
- Hacer un análisis de la utilización de sistemas de almacenaje de granos alternativos como silo bolsas en conjunto con la utilización de Nitrógeno para combatir plagas de forma segura.
- Realizar un estudio de la implementación de esta técnica a nivel comercial para la industria granelera de Costa Rica.

Capítulo 6. Bibliografía

6.1 Artículos de revistas

1. Agrawal, K. P, Ch. (1974). Pressure drop across fixed beds of rough rice. Transactions of the ASAE, T3, 560-563.
2. Díaz. G. (1995). Resistencia al Flujo de Aire en tres granos básicos: Arroz (*Oryza sativa*), Frijol (*Phaseolus vulgaris*) y Maíz (*Zea mays*) producidos en Costa Rica. Tesis de grado para optar por el título de ingeniero agrícola. Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica.
3. García. S. (2004). Mapa genético de las características del maíz tropical (*Zea mays* L.) Asociadas con la resistencia a la plaga de almacenamiento, *Sitophilus zeamais* MOTSCH. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana de Iztapalapa. México.
4. ASAE D272.3 MAR96. (1996). Resistance to Airflow of Grains, Seeds, Other Agricultural Products, and Perforated Metal Sheets.
5. Pimentel, M; et al. (2006). Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). 9ª Conferencia Internacional de Protección de Productos Almacenados.
6. Ripa, R. (1971). Biología de tres coleóptera que atacan granos almacenados (tenebrionidae, cucujidae, bostrichidae). ANALES 1er. Congreso Latinoamericano de Entomología. Perú.
7. Jayas, D. et al. (2000). Validation of models for controlled atmosphere gas loss from bolted-steel granaries. Departamento de Ingeniería y Biosistemas, Universidad de Manitoba, Canadá.

8. Stefanazzi. N. (2010). Aceites esenciales, una herramienta alternativa en el manejo integrado de plagas de grano almacenado. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
9. Gomez. A., et al. (2000). Conceptos que cambian nos imponen nuevos retos: Utilización de gases inertes, una opción ventajosa para la desinsectación de documentos. Revista Ciencias de la Información vol. 30, No. 3-4. Cuba
10. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2002). Fosfina. Boletín Informativo. División de Toxicología, Departamento de Salud y Servicios humanos de los EE.UU.
11. United Nation Development Programme. (2003). COS/02/G61/A/2G/99Programa to Voluntarily Adopt Alternatives to Methyl Bromide. Costa Rica.
12. Weinberg.Z, e. (2008). The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.). *Science Direct* , 136-144.

6.2 Libros

13. Brusca. R., Brusca. G. (2005). *Invertebrados*. 2da edición. McGraw-Hill Interamericana.
14. Banks. H J., Annis. P. C & Rigby. G. R (1990). *Controlled atmosphere storage of grain: The known and the future*. Actas de la Quinta Conferencia Internacional de Trabajo sobre protección de productos almacenados, Bordeaux, Francia, Setiembre 14, 1990, pp 695-705.
15. Bond. E.J. (1984). *Manual of fumigation for insect control*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/x5042e/x5042E00.htm#Contents> Consultado el: 25 abril 2011.
16. Landaverd. R. (2003). *Las Plagas de los Productos Alimenticios Almacenados en la Región del OIRSA*. Dirección Técnica de Sanidad Vegetal. El Salvador.

17. McKnight, Tom L; Hess, Darrel (2000). «Climate Zones and Types». *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. pp. 200-1

6.3 Páginas web

18. Dell'Orto, H. (1985). Insectos que Dañan Granos y Productos Almacenados. FAO. Santiago de Chile. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/x5053S/x5053s00.htm#Contents> Consultado el 10 setiembre 2011.
19. FAO.(1992). Maize in human nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No. 25. Rome Italy. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E00.htm#Contents> Consultado el 12 setiembre 2011.
20. Dell'Orto, H. (1983). Distribución e importancia de los insectos que dañan granos y productos almacenados en Chile. FAO. Santiago de Chile. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/X5030S/x5030S00.htm#Contents> Consultado el 12 setiembre 2011.
21. Ripusudan. L., Granados. G. (2001). El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. FAO. Roma Italia. Disponible en línea en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s11.htm#TopOfPage> consultado el 10 setiembre 2011.
22. PRAXAIR. (2011). Gases. Disponible en línea en: <http://www.praxair.com/praxair.nsf/AllContent/708AB72B4FC2BC3B85256A93005D3D5A?OpenDocument&URLMenuBranch=BB99E322786CC5CF8525704B0058F7DF> consultado el 15 setiembre 2011.
23. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Costa Rica. (2012). Alternativa al Bromuro de Metilo. Disponible en línea en: http://www.pnud.or.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=154:alter

nativas-al-bromuro-de-metilo&catid=28:ambiente-energy-gestie-riesgo Consultado el enero del 2012.

24. Cámara de Insumos Agropecuarios. Reglamento Registro Plaguicidas (D 33495-MAG-). Disponible en línea en: <http://www.insumos.cr/leyes.aspx> Consultado el 16 de febrero de 2012.

25. Membranas de Nitrógeno. (2009). Praxair México. Disponible en línea en: <http://www.praxair.com.mx/portal/site/praxair/MembranasNitrogeno/?jsessionid=TDGfL24CrJQhpdYDRwG5KSBL6hyR16Sp0ygyrgpfkhXTp4xhXcZm!78541465> consultado el 03 de febrero de 2012.

6.4 Otros

26. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
27. Quiurós. W, 2011, Entrevista. Exceso con productos químicos y su efecto. Planta La China, Consejo Nacional de Producción. Heredia, Costa Rica.

Capítulo 7. Anexos

7.1 Anexos de Tablas Generadas

Tabla 7.1 Valores para constantes en ecuación 2.1 (SI).

Airflow range, m ³ /s·m ²	X ₁	X ₂	X ₃
0.027 ≤ Q ≤ 0.13	-0.998	88.8	511
0.13 ≤ Q ≤ 0.27	-10.9	111	439
0.27 ≤ Q ≤ 0.60	-76.5	163	389

Tabla 7.2 Valores para constantes en ecuación 2.2 (Sistema Inglés).

Airflow range, cfm/ft ³	X ₁	X ₂	X ₃
5.3 ≤ Q ≤ 26.3	-0.0012	5.53 × 10 ⁻⁴	1.62 × 10 ⁻⁵
26.3 < Q ≤ 52.5	-0.013	6.94 × 10 ⁻⁴	1.39 × 10 ⁻⁵
52.5 < Q ≤ 117	-0.094	10.2 × 10 ⁻⁴	1.23 × 10 ⁻⁵

Tabla 7.3 Datos de mortalidad insectos adultos en Barranca

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
	A1-N1	0.80			0.36		
	A1-N2	0.80	80.00	0.00	0.73	59.70	20.25
	A1-N3	0.80			0.70		
	M1-N1	0.85			0.50		
	M1-N2	0.85	80.00	23.09	0.11	30.37	19.45
	M1-N3	0.70			0.30		
	A1-T2	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00
	A1-T3	0.00			0.00		
	M1-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	M1-T3	0.00			0.00		

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ
2	A2-N1	0.60			0.22		
	A2-N2	1.00	86.67	23.09	1.00	100.00	0.00
	A2-N3	1.00			1.00		
	M2-N1	0.60			0.55		
	M2-N2	0.80	66.67	11.55	0.30	40.30	12.74
	M2-N3	0.60			0.36		
	A2-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A2-T3	0.00			0.00		
	M2-T2	0.00	10.00	14.14	0.09	4.55	6.43
M2-T3	0.20			0.00			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ
3	A3-N1	1.00			1.00		
	A3-N2	0.20	100.00	0.00	0.50	83.33	28.87
	A3-N3	1.00			1.00		
	M3-N1	0.60			1.00		
	M3-N2	0.40	60.00	20.00	0.67	83.33	21.43
	M3-N3	0.80			0.60		
	A3-T2	0.25	42.50	24.75	0.00	0.00	0.00
	A3-T3	0.60			0.00		
	M3-T2	0.10	15.00	7.07	-	0.00	0.00
M3-T3	0.20			0.00			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ
5	A4-N1	1.00			1.00		
	A4-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A4-N3	1.00			1.00		
	M4-N1	0.60			0.75		
	M4-N2	0.80	80.00	20.00	0.80	85.00	13.23
	M4-N3	1.00			1.00		
	A4-T2	0.20	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A4-T3	0.20			0.00		
	M4-T2	0.17	18.33	2.36	0.00	0.00	0.00
M4-T3	0.20			0.00			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhizopertha	Promedio	σ
-------	-------	------------	----------	----------	-------------	----------	----------

y Tribolium							
7	A5-N1	1.00			1.00		
	A5-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A5-N3	1.00			1.00		
	M5-N1	1.00			1.00		
	M5-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	M5-N3	1.00			1.00		
	A5-T2	0.80	60.00	28.28	0.00	5.00	0.07
	A5-T3	0.40			0.10		
	M5-T2	0.00	50.00	70.71	0.18	14.09	0.06
M5-T3	1.00			0.10			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
10	A6-N1	1.00			1.00		
	A6-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A6-N3	1.00			1.00		
	M6-N1	1.00			0.60		
	M6-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	86.67	0.23
	M6-N3	1.00			1.00		
	A6-T2	0.00	40.00	56.57	0.00	0.00	0.00
	A6-T3	0.80			0.00		
	M6-T2	0.00	20.00	28.28	0.09	13.64	0.06
M6-T3	0.40			0.18			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
11	A7-N1	1.00			1.00		
	A7-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A7-N3	1.00			1.00		
	M7-N1	1.00			1.00		
	M7-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	96.97	0.05
	M7-N3	1.00			0.91		
	A7-T2	0.60	50.00	14.14	0.09	14.55	0.08
	A7-T3	0.40			0.20		
	M7-T2	0.17	28.33	16.50	0.08	4.17	0.06
M7-T3	0.40			0.00			

Fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
12	A8-N1	1.00			0.91		
	A8-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	96.97	0.05
	A8-N3	1.00			1.00		
	M8-N1	1.00			1.00		
	M8-N2	0.83	94.44	9.62	1.00	97.22	0.05
	M8-N3	1.00			0.92		
	A8-T2	0.00	8.33	11.79	0.09	9.55	0.01
	A8-T3	0.17			0.10		
	M8-T2	0.00	10.00	14.14	0.00	4.55	0.06
	M8-T3	0.20			0.09		

Tabla 7.4 Datos de mortalidad insectos larvas en Barranca en fracción y promedio porcentual.

Fecha	Tarro	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
-	A1-N1	0.50		
	A1-N2	1.00	78.57	25.75
	A1-N3	0.86		
	M1-N1	0.60		
	M1-N2	0.14	41.43	24.03
	M1-N3	0.50		
	A1-T2	0.00	0.00	0.00
	A1-T3	0.00		
	M1-T2	0.00	0.00	0.00
	M1-T3	0.00		

Fecha	Tarro	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
3	A3-N1	0.90	72.86	16.48
	A3-N2	0.57		
	A3-N3	0.71		
	M3-N1	0.20	29.52	10.03
	M3-N2	0.40		
	M3-N3	0.29		
	A3-T2	0.20	10.00	14.14
	A3-T3	0.00		
	M3-T2	0.13	6.25	8.84
M3-T3	0.00			

Fecha	Tarro	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
7	A5-N1	1.00	100.00	0.00
	A5-N2	1.00		
	A5-N3	1.00		
	M5-N1	1.00	100.00	0.00
	M5-N2	1.00		
	M5-N3	1.00		
	A5-T2	0.20	17.14	0.04
	A5-T3	0.14		
	M5-T2	0.00	0.00	0.00
M5-T3	0.00			

Fecha	Tarro	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
11	A7-N1	1.00	100.00	0.00
	A7-N2	1.00		
	A7-N3	1.00		
	M7-N1	1.00	100.00	0.00
	M7-N2	1.00		
	M7-N3	1.00		
	A7-T2	0.71	35.71	0.51
	A7-T3	0.00		
	M7-T2	0.33	29.17	0.06
M7-T3	0.25			

Tabla 7.5 Datos de mortalidad insectos adultos en Heredia en fracción y promedio porcentual.

fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
1	A1-N1	0.00			0.17		
	A1-N2	0.00	0.00	0.00	0.06	7.64	8.42
	A1-N3	0.00			0.00		
	M1-N1	0.00			0.00		
	M1-N2	0.00	0.00	0.00	0.09	4.55	0.06
	M1-N3	0.00			0.00		
	A1-T1	0.00			0.20		
	A1-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	13.33	11.55
	A1-T3	0.00			0.20		
	M1-T1	0.00			0.11		
	M1-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	7.04	6.12
	M1-T3	0.00			0.10		
fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
2	A2-N1	0.80			0.31		
	A2-N2	0.20	50.00	42.43	0.14	15.02	11.66
	A2-N3	0.00			0.00		
	M2-N1	0.29			0.08		
	M2-N2	0.00	24.29	6.06	0.33	18.65	17.68
	M2-N3	0.20			0.14		
	A2-T1	0.00			0.00		
	A2-T2	-	0.00	0.00	0.00	3.57	10.10
	A2-T3	0.00			0.14		
	M2-T1	0.33			0.10		
	M2-T2	0.00	11.11	19.25	0.08	5.90	5.24
	M2-T3	0.00			0.00		

fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
-------	-------	------------	----------	----------	----------------------------	----------	----------

5	A3-N1	0.20			0.44		
	A3-N2	0.60	53.33	14.14	0.30	33.15	3.54
	A3-N3	0.80			0.25		
	M3-N1	0.00			0.00		
	M3-N2	0.00	5.00	10.00	0.00	0.00	0.00
	M3-N3	0.20			-		
	M3-N3	0.00			-		
	A3-T1	0.00			0.22		
	A3-T2	0.20	6.67	11.55	0.00	10.74	11.13
	A3-T3	0.00			0.10		
	M3-T1	0.00			0.00		
	M3-T2	0.20	6.67	11.55	0.00	0.00	0.00
M3-T3	0.00			0.00			

fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
6	A4-N1	1.00			1.00		
	A4-N2	0.80	80.00	20.00	0.39	86.36	30.61
	A4-N3	0.60			0.73		
	M4-N1	1.00			0.00		
	M4-N2	0.60	80.00	28.28	0.00	8.33	14.43
	M4-N3	0.20			0.25		
	A4-T1	0.20			0.23		
	A4-T2	0.20	27.62	13.20	0.00	14.36	12.53
	A4-T3	0.43			0.20		
	M4-T1	0.20			0.11		
	M4-T2	0.09	9.70	10.01	0.00	10.37	10.02
	M4-T3	0.00			0.20		

fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
8	A5-N1	1.00			0.60		
	A5-N2	1.00	94.44	9.62	0.33	55.00	7.07
	A5-N3	0.83			0.50		
	M5-N1	0.83			0.33		
	M5-N2	1.00	94.44	9.62	0.36	39.90	8.88
	M5-N3	1.00			0.50		
	A5-T1	0.00			0.18		
	A5-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	10.23	9.30
	A5-T3	0.00			0.13		
	M5-T1	0.00			0.25		
	M5-T2	0.40	13.33	23.09	0.09	15.53	8.38
	M5-T3	0.00			0.13		

fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
10	A6-N1	1.00	100.00	0.00	1.00	71.43	37.26

A6-N2	1.00				0.43		
A6-N3	1.00				0.30		
M6-N1	1.00				0.40		
M6-N2	0.80	90.00	14.14		0.33	35.56	3.85
M6-N3	0.14				0.33		
A6-T1	0.00				0.45		
A6-T2	0.00	0.00	0.00		0.00	17.93	24.20
A6-T3	0.00				0.08		
M6-T1	0.20				0.10		
M6-T2	0.00	6.67	11.55		0.18	12.42	5.01
M6-T3	0.00				0.09		
fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
A7-N1	1.00				0.67		
A7-N2	1.00	100.00	0.00		0.70	76.32	13.94
A7-N3	1.00				0.92		
M7-N1	0.58				1.00		
M7-N2	1.00	86.11	24.06		1.00	100.00	0.00
M7-N3	1.00				1.00		
A7-T1	0.33				0.18		
A7-T2	0.10	34.44	25.02		0.54	37.90	18.13
A7-T3	0.60				0.42		
M7-T1	0.00				0.18		
M7-T2	0.40	13.33	23.09		0.50	29.22	18.04
M7-T3	0.00				0.20		
fecha	Tarro	Sitophilus	Promedio	σ	Rhyzopertha y Tribolium	Promedio	σ
A8-N1	1.00				1.00		
A8-N2	0.75	100.00	0.00		0.80	82.22	16.78
A8-N3	1.00				0.67		
M8-N1	1.00				0.60		
M8-N2	1.00	100.00	0.00		1.00	81.11	20.09
M8-N3	1.00				0.83		
A8-T1	0.00				0.60		
A8-T2	0.40	13.33	23.09		0.33	44.44	13.88
A8-T3	0.00				0.40		
M8-T1	0.40				0.17		
M8-T2	0.20	20.00	20.00		1.00	38.89	53.58
M8-T3	0.00				0.00		

Tabla 7.6 Datos de mortalidad insectos larvas en Heredia en fracción y promedio porcentual.

fecha	Tarro	Rhyzopertha	Promedio	σ	Reloj de la	Promedio	σ
-------	-------	-------------	----------	----------	-------------	----------	----------

		y Tribolium			Muerte			
1	A1-N1	0.00			-			
	A1-N2	1.00	83.33	23.57	-	-	-	
	A1-N3	0.67			-			
	M1-N1	0.20			1.00			
	M1-N2	0.25	37.50	28.43	1.00	100.00	0.00	
	M1-N3	0.80			0.25			
	A1-T1	0.00			0.00			
	A1-T2	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	
	A1-T3	0.00			0.00			
	M1-T1	0.33			0.00			
	M1-T2	0.00	16.67	16.67	0.00	6.67	11.55	
	M1-T3	0.17			0.20			
	fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
	2	A2-N1	0.60			1.00		
		A2-N2	0.40	50.00	10.00	1.00	100.00	0.00
A2-N3		0.50			1.00			
M2-N1		0.20			1.00			
M2-N2		0.67	35.56	26.94	1.00	100.00	0.00	
M2-N3		0.20			1.00			
A2-T1		0.33			0.00			
A2-T2		-	25.00	11.79	0.50	12.50	25.00	
A2-T3		0.17			0.00			
M2-T1		0.20			0.00			
M2-T2		0.00	15.00	13.23	-	0.00	0.00	
M2-T3		0.25			0.00			

fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
-------	-------	-------------------------	----------	----------	--------------------	----------	----------

3	A3-N1	0.83			1.00		
	A3-N2	0.67	83.33	16.67	1.00	100.00	0.00
	A3-N3	1.00			1.00		
	M3-N1	0.50			-		
	M3-N2	0.40	36.79	25.51	1.00	100.00	0.00
	M3-N3	0.00					
		0.57					
	A3-T1	0.00			0.00		
	A3-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	A3-T3	0.00			-		
	M3-T1	0.00			0.00		
	M3-T2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M3-T3	0.00			-			
fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
6	A4-N1	1.00			1.00		
	A4-N2	0.90	96.67	5.77	-	100.00	0.00
	A4-N3	1.00			1.00		
	M4-N1	0.60			-		
	M4-N2	0.50	63.33	15.28	1.00	90.00	14.14
	M4-N3	0.80			0.80		
	A4-T1	0.00			0.00		
	A4-T2	0.50	16.67	28.87	0.00	0.00	0.00
	A4-T3	0.00			0.00		
	M4-T1	0.00			0.00		
	M4-T2	0.50	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00
	M4-T3	0.25			0.00		
fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
8	A5-N1	0.67			1.00		
	A5-N2	1.00	88.89	19.25	1.00	100.00	0.00
	A5-N3	1.00			1.00		
	M5-N1	0.60			1.00		
	M5-N2	1.00	86.67	23.09	1.00	100.00	0.00
	M5-N3	1.00			0.33		
	A5-T1	1.00			0.00		
	A5-T2	0.00	33.33	0.00	0.25	8.33	14.43
	A5-T3	0.00			0.00		
	M5-T1	0.00			1.00		
	M5-T2	0.00	0.00	0.00	-	50.00	70.71
	M5-T3	0.00			0.00		

fecha	Tarro	Rhizoperth a y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
10	A6-N1	1.00			-		
	A6-N2	0.17	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A6-N3	1.00			1.00		
	M6-N1	1.00			0.50		
	M6-N2	0.67	83.33	23.57	1.00	92.86	10.10
	M6-N3	0.20			0.86		
	A6-T1	0.33			0.00		
	A6-T2	0.00	19.44	17.35	0.00	0.00	0.00
	A6-T3	0.25			0.00		
	M6-T1	0.00			0.20		
	M6-T2	0.25	8.33	14.43	0.40	30.00	14.14
	M6-T3	0.00			-		
fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
14	A7-N1	1.00			1.00		
	A7-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	A7-N3	1.00			1.00		
	M7-N1	1.00			1.00		
	M7-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	M7-N3	1.00			1.00		
	A7-T1	0.33			-		
	A7-T2	0.00	11.11	19.25	0.00	3.33	4.71
	A7-T3	0.00			0.07		
	M7-T1	0.60			0.00		
	M7-T2	0.00	20.00	34.64	0.00	0.00	0.00
	M7-T3	0.00			0.00		
fecha	Tarro	Rhizopertha y Tribolium	Promedio	σ	Reloj de la Muerte	Promedio	σ
17	A8-N1	1.00			1.00		
	A8-N2	1.00	100.00	0.00	-	100.00	0.00
	A8-N3	1.00			1.00		
	M8-N1	1.00			1.00		
	M8-N2	1.00	100.00	0.00	1.00	100.00	0.00
	M8-N3	1.00			-		
	A8-T1	0.00			0.33		
	A8-T2	0.25	19.44	17.35	0.50	34.44	15.03
	A8-T3	0.33			0.20		
	M8-T1	0.00			0.00		
	M8-T2	0.50	16.67	28.87	-	0.00	0.00
	M8-T3	0.00			0.00		

7.2 Anexo 3. Tablas de Análisis InfoStat

Tabla 7.7 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Heredia. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Arroz con N ₂	0.00	0.00	a	0.50	0.42	a	0.53	0.31	a	0.80	0.20	b	0.94	0.10	b	1.00	0.00	b	1.00	0.14	b			
Arroz testigo	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.07	0.12	a	0.28	0.13	a	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.34	0.25	a	0.13	0.23	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.8 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Heredia. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Arroz con N ₂	0.08	0.09	a	0.15	0.16	a	0.33	0.10	a	0.71	0.31	b	0.48	0.14	b	0.72	0.40	a	0.76	0.14	b	0.82	0.17	b
Arroz testigo	0.13	0.12	a	0.05	0.08	a	0.11	0.11	a	0.14	0.13	a	0.10	0.09	a	0.18	0.24	a	0.38	0.18	a	0.44	0.14	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.9 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Heredia. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.00	0.00	a	0.50	0.42	a	0.05	0.10	a	0.60	0.40	a	0.94	0.10	b	0.90	0.14	a	0.86	0.24	b	1.00	0.00	a
Maíz testigo	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.07	0.12	a	0.10	0.10	a	0.13	0.23	a	0.07	0.12	b	0.13	0.23	a	0.20	0.20	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.10 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Heredia. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.05	0.06	a	0.18	0.13	a	0.00	0.00	a	0.08	0.14	a	0.40	0.09	b	0.35	0.04	b	1.00	0.00	b	0.81	0.20	b
Maíz testigo	0.07	0.06	a	0.06	0.05	a	0.00	0.00	a	0.10	0.10	a	0.16	0.08	a	0.12	0.05	a	0.29	0.18	a	0.09	0.12	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.11 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Heredia. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.56	0.51	a	0.50	0.10	a	0.83	0.17	b	0.97	0.06	b	0.89	0.19	a	0.72	0.48	a	1.00	0.00	b	1.00	0.00	b
Maíz testigo	0.00	0.00	a	0.25	0.11	a	0.00	0.00	a	0.17	0.29	a	0.33	0.58	a	0.19	0.17	a	0.11	0.19	a	0.19	0.17	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla 7.12 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Heredia. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.38	0.28	a	0.36	0.27	a	0.37	0.25	a	0.63	0.15	a	0.87	0.23	b	0.84	0.23	b	1.00	0.00	b	1.00	0.00	b
Maíz testigo	0.17	0.17	a	0.15	0.13	a	0.00	0.00	a	0.25	0.25	a	0.00	0.00	a	0.08	0.14	a	0.20	0.35	a	0.17	0.29	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla 7.13 Datos de Análisis estadístico InfoStat *Trogium pulsarium* Larvas en Heredia. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.00	0.00	sd	1.00	0.00	b	1.00	0.00	sd	1.00	0.00		1.00	0.00	b	1.00	0.00	sd	1.00	0.00	b	1.00	0.00	b
Maíz testigo	0.00	0.00	sd	0.13	0.25	a	0.00	0.00	sd	0.00	0.00	^{r²} aj	0.08	0.14	a	0.00	0.00	sd	0.04	0.05	a	0.34	0.15	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla 7.7 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Barranca. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Arroz con N ₂	0.80	0.00	b	0.87	0.23	b	0.73	0.46	a	1.00	0.00	b	1.00	0.00	a	1.00	0.00	a	1	0	b	1	0	b
Arroz testigo	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.43	0.25	a	0.20	0.00	a	0.60	0.28	a	0.40	0.57	a	0.5	0.14	a	0.09	0.12	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Tabla 7.8 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Barranca. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		5		7		10		11		12									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Arroz con N ₂	0.60	0.21	b	0.74	0.45	a	0.83	0.29	b	1.00	0.00	sd	1.00	0.00	b	1.00	0.00	a	1	0	b	0.97	0.05	b
Arroz testigo	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.00	0.00	sd	0.05	0.07	a	0.33	0.58	a	0.15	0.08	a	0.1	0.01	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.9 Datos de Análisis estadístico InfoStat Sitophilus Adultos en Barranca. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.80	0.09	b	0.67	0.12	b	0.60	0.20	a	0.80	0.20	b	1.00	0.00	a	1.00	0.00	b	1.00	0.00	b	0.94	0.10	b
Maíz testigo	0.00	0.00	a	0.10	0.14	a	0.15	0.07	a	0.19	0.02	a	0.50	0.71	a	0.20	0.28	a	0.29	0.16	a	0.10	0.14	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.10 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Adultos en Barranca. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación																							
	1		2		3		6		8		10		14		17									
	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE	Prom	DE								
Maíz con N ₂	0.30	0.20	a	0.40	0.13	b	0.76	0.21	b	0.85	0.13	b	1.00	0.00	b	0.80	0.28	a	0.97	0.05	b	0.97	0.05	b
Maíz testigo	0.00	0.00	a	0.05	0.06	a	0.00	0.00	a	0.00	0.00	a	0.14	0.06	a	0.42	0.50	a	0.04	0.06	a	0.05	0.06	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.11 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Barranca. Arroz

Tratamiento	Días de Evaluación											
	1		3		5		11					
	Promedio	DE	Promedio	DE	Promedio	DE	Promedio	DE				
Arroz con N ₂	0.79	0.26	b	0.73	0.17	b	1.00	0.00	b	1.00	0.00	a
Arroz testigo	0.00	0.00	a	0.10	0.14	a	0.17	0.04	a	0.36	0.50	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Tabla 7.12 Datos de Análisis estadístico InfoStat Rhyzopertha y Tribolium Larvas en Barranca. Maíz

Tratamiento	Días de Evaluación							
	1		3		7		11	
	Promedio	D E	Promedio	D E	Promedio	D E	Promedio	D E
Maíz con N ₂	0.41	0.24 a	0.30	0.10 a	1.00	0.00 b	1.00	0.00 b
Maíz testigo	0.00	0.00 a	0.07	0.09 a	0.00	0.00 a	0.29	0.06 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

7.3 Anexo 4. Valores de X1, X2 y X3 para la ecuación (2.1)

Ámbito de caudal (m ³ /s/m ²)	X ₁	X ₂	X ₃
0,027 <Q< 0,13	-0,998	88,8	511
0,13 <Q< 0,27	-10,9	111	439
0,27 <Q< 0,60	-76,5	163	389

7.4 Membrana generadora de nitrógeno

Imagen de una membrana generadora de nitrógeno y tanque de almacenamiento. Imagen con fines ilustrativos.



Figura 7.4 Membrana generadora de Nitrógeno.

Fuente: PraxAir 2012

7.5 Anexo 5. Leyes y Reglamentos

LEY DE IMPUESTO GENERAL SOBRE LAS VENTAS

Ley N° 6826 de 8 de noviembre de 1982

(Publicada en Alcance 33-A a La Gaceta N° 216 de 10 de noviembre de 1982)

CAPÍTULO III

De las exenciones y de la tasa del impuesto.

Artículo 9°- **Exenciones.**- Están exentas del pago de este impuesto, las ventas de los artículos definidos en la canasta básica alimentaria; los reencaches y las llantas para maquinaria agrícola exclusivamente; los productos veterinarios y los insumos agropecuarios que definan, de común acuerdo el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Ministerio de Hacienda; asimismo, las medicinas, el queroseno, el diesel para la pesca no deportiva, los libros, las composiciones musicales, los cuadros y pinturas creados en el país por pintores nacionales o extranjeros; las cajas mortuorias y el consumo mensual de energía eléctrica residencial que sea igual o inferior a 250 kW/h; cuando el consumo mensual exceda los 250 kW/h, el impuesto se aplicará al total de kW/h consumido.

Asimismo, quedan exentas las exportaciones de bienes gravados o no por este impuesto y la reimportación de mercancías nacionales que ocurran dentro de los tres años siguientes a su exportación.

(Reformado por las leyes N° 7218 y Ley N° 7293).

**LEY SOBRE EL TRÁMITE DE LAS SOLICITUDES DE REGISTRO DE
AGROQUÍMICOS.**

Ley N° 8702 de 14 de enero del 2009

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DE LA REPÚBLICA DE COSTA RICA
DECRETA:

ARTÍCULO 1.- La presente Ley tiene por objeto el trámite de las solicitudes de registros nuevos de plaguicidas o de modificaciones a registros vigentes, que en ambos casos hayan sido presentadas, con anterioridad a la publicación del Decreto Ejecutivo N.º 33495-MAG-S-Minae-MEIC, de 31 de octubre de 2006, publicado el 10 de enero de 2007, en el Servicio Fitosanitario del Estado del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que aún se encuentran pendientes de resolución final. Esta Ley establece los requisitos, únicos y exclusivos, que deben satisfacer las solicitudes que se encontraban en trámite antes de la promulgación del Reglamento sobre registro, uso y control de plaguicidas sintéticos formulados, ingrediente activo grado técnico, coadyuvantes y sustancias afines de uso agrícola. Las solicitudes de registro que hayan sido archivadas por no cumplir requisitos distintos de los señalados en esta Ley, podrán ser conocidas nuevamente, previa solicitud del interesado a las autoridades del Programa de Registro.

ARTÍCULO 2.- Los conceptos utilizados en esta Ley se interpretarán y aplicarán, en el sentido en que se encuentran definidos en el Reglamento sobre registro, uso y control de plaguicidas sintéticos formulados, ingrediente activo grado técnico, coadyuvantes y sustancias afines de uso agrícola, Decreto Ejecutivo N.º 33495-MAG-S-Minae-MEIC, de 31 de octubre de 2006, publicado en el diario oficial, La Gaceta, el 10 de enero de 2007.

ARTÍCULO 3.- Para registrar un plaguicida, producto técnico y coadyuvantes, el registrante debe presentar la correspondiente solicitud en la oficina del Programa de Registros del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado. Esa solicitud deberá ser firmada por el registrante y el regente de la empresa. Cada solicitud de registro será válida para un solo producto. En dicha solicitud, la cual, junto con todos los

documentos que se aporten, tendrá carácter de declaración jurada, debe indicarse lo siguiente:

- a) El nombre y el domicilio del registrante y el número de registro de compañía.
- b) El nombre y el domicilio exacto del regente.
- c) El nombre genérico o común, comercial, clase, tipo y formulación del producto que se desea registrar con indicación del nombre o la razón social de la empresa fabricante, así como de su domicilio.
- d) En la solicitud de registro de plaguicidas formulados, productos técnicos y coadyuvantes, el solicitante deberá indicar el material, tipo y tamaño de los envases o empaques que usará en la comercialización del producto, y garantizar que el material usado en el envase es resistente a la acción física o química del producto contenido.
- e) Indicar el medio o el lugar para atender notificaciones, dentro del territorio nacional.

ARTÍCULO 4.- La información que presenta el solicitante ante el Registro del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado no podrá ser requerida de nuevo por este para el mismo trámite; tampoco podrá solicitar información que una o varias de sus mismas oficinas emitan o posean, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 5.- Cuando se trate del registro de plaguicidas, productos técnicos y coadyuvantes fabricados, formulados o envasados en el país, deberá presentarse certificación de registro o notarial, que indique las citas de inscripción de la compañía solicitante, así como constancia de inscripción del producto en el Registro de la Propiedad y Patentes de Invención; esta última únicamente cuando proceda, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 6.- Cuando se trate de plaguicidas importados, la solicitud debe acompañarse de una certificación de la autoridad nacional competente del país exportador que indique el número y la fecha del registro del plaguicida, así como el tipo de formulación y concentración, salvo que se trate de un plaguicida ya registrado, en cuyo caso los registrantes no deberán presentar dicha certificación, sino un certificado de libre venta y uso del plaguicida, expedido por la autoridad competente del país de origen.

En el eventual caso de que el producto no se encuentre registrado en el país de origen, se debe presentar un documento extendido por la autoridad nacional competente, de acuerdo

con el código de conducta de FAO, donde se indiquen las razones por las cuales el producto no se encuentra registrado en su país de origen.

La información que presenta el solicitante ante el Registro del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado para el registro de plaguicidas importados, no podrá ser requerida de nuevo por este para el mismo trámite; tampoco podrá solicitar información que una o varias de sus mismas oficinas emitan o posean, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 7.- Las solicitudes para el registro de productos formulados, deben presentarse en idioma español, con la descripción del producto y sus características.

Los interesados deberán aportar un original con dos copias y adjuntar lo siguiente:

- 1) Las propiedades físicas y químicas del ingrediente activo.
- 2) Las características del producto formulado.
- 3) Los métodos analíticos del ingrediente activo.

Los requisitos 1 y 3 no deben ser presentados cuando se trate de registrar ingredientes activos grado técnico o plaguicidas formulados con ingredientes activos grado técnico que, por haber expirado los plazos de protección de las patentes o de la información referida a los datos de prueba, se consideran genéricos y se encuentran registrados en el país por diez (10) años o más.

4) Indicar el uso solicitado. Cuando se pretenda registrar usos nuevos, es decir, que no se encuentren autorizados para plaguicidas formulados con ese ingrediente activo, se requerirán pruebas y ensayos de eficacia, los cuales podrán ser realizados y supervisados por el INTA. En caso de que el uso solicitado ya se encuentre registrado, con el mismo tipo de formulación y con una concentración similar, no deberán presentarse pruebas ni ensayos de eficacia o residuos.

El Alcance N° 4-A a La Gaceta N° 18, circuló el martes 27 de enero del 2009 y contiene leyes del Poder Legislativo, decretos y acuerdos del Poder Ejecutivo.

La Gaceta N° 19 — Miércoles 28 de enero del 2009 Pág 3

5) Efectos físicos, químicos y biológicos derivados de la aplicación del plaguicida; la información que se aporte podrá ser bibliográfica relacionada con el ingrediente activo grado técnico, siempre y cuando no se encuentre protegida por derechos patentarios, ni constituyan datos de prueba con protección vigente.

La información que el solicitante presenta ante el Registro del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado para el registro de productos formulados, no podrá ser requerida de nuevo por este para el mismo trámite; tampoco podrá solicitar información que una o varias de sus mismas oficinas emitan o posean, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 8.- La solicitud de registro de un producto técnico debe acompañarse con la descripción del producto y demás características en idioma español, en original y una copia además, debe adjuntarse la siguiente información:

- 1) Las propiedades físicas y químicas del ingrediente activo.
- 2) Las características del producto técnico:
 - a) El estado físico y color.
 - b) El contenido mínimo y máximo del ingrediente activo, expresado en porcentajes por peso (m/m) o por volumen (m/v).
- 3) Los métodos recomendados para:
 - a) La descontaminación y el destino final de los envases usados.
 - b) La destrucción de remanentes de los materiales técnicos no utilizables.
 - c) El desechado de envases no utilizables.
 - d) El manejo y deshecho de derrames de material técnico.
- 1) Declarar el tipo de solvente utilizado, si corresponde.
- 4) Los métodos analíticos:
 - 1) Aportar el método de análisis químico aceptado para determinar el ingrediente activo o los ingredientes activos en el producto técnico.
 - 2) Aportar el estándar analítico, deben aportarse las referencias bibliográficas de los métodos analíticos aceptados u otros correspondientes.
- 5) Los peligros y las precauciones para productos técnicos:
 - 1) Los peligros para los seres humanos que manipulan el producto, indicando únicamente lo siguiente:
 - a) Los órganos y sistemas del cuerpo humano que se afectan.
 - b) Las vías de absorción del producto.
 - c) Los síntomas que presentan las intoxicaciones.

- 2) El procedimiento para emergencias y primeros auxilios en casos de intoxicaciones agudas por ingestión, contacto o inhalación.
- 3) La información sobre antídotos específicos.
- 4) La información sobre condiciones de almacenamiento.
- 5) La indicación del tipo de ropa adecuado que debe utilizarse para la protección al realizar el transporte y almacenamiento.

Los requisitos 1, 2 y 4 no deben ser presentados cuando se trata de registrar ingredientes activos grado técnico o plaguicidas formulados con ingredientes activos grado técnico, que por haber expirado los plazos de protección de las patentes o de la información referida a los datos de prueba, se consideran genéricos y se encuentran registrados en el país por diez (10) años o más.

La información que presenta el solicitante ante el Registro del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado para el registro de un producto técnico, no podrá ser requerida de nuevo por este, para el mismo trámite; tampoco podrá solicitar información que una o varias de sus mismas oficinas emitan o posean, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 9.- La solicitud de registro de un coadyuvante de uso agrícola, debe acompañarse con la descripción del producto en idioma español, en original y una copia; además, debe adjuntarse la siguiente información:

- 1) Las propiedades físicas y químicas del ingrediente o los ingredientes principales que constituyen el coadyuvante.
- 2) Los métodos adecuados para preparar el material de aplicación.

La información que presenta el solicitante ante el Registro del Departamento de Insumos Agrícolas del Servicio Fitosanitario del Estado para el registro de un coadyuvante, no podrá ser requerida de nuevo por este, para el mismo trámite; tampoco podrá solicitar información que una o varias de sus mismas oficinas emitan o posean, excepto la presentación de la documentación para la reválida.

ARTÍCULO 10.- El MAG, por medio del Servicio Fitosanitario del Estado, notificará a las personas físicas o jurídicas, en un plazo máximo de sesenta (60) días, contado a partir de la vigencia de esta Ley, con solicitudes que se tramitarán al amparo de la presente Ley, los requisitos pendientes o defectos en la solicitud. Los registrantes

contarán con un plazo mínimo de dos (2) meses y máximo de cuatro (4) meses naturales para subsanar los defectos o satisfacer los requisitos indicados en el apercibimiento; este plazo se contará a partir de la notificación formal que le hagan las autoridades del Servicio Fitosanitario del Estado.

ARTÍCULO 11.- El Servicio Fitosanitario del Estado, de oficio o a instancia de parte, siempre y cuando existan argumentos técnicos y científicos razonables, podrá exonerar del cumplimiento de uno o más requisitos técnicos, requeridos para el registro de un plaguicida; cuando no se realice de oficio, el interesado podrá solicitar la exoneración del requisito o los requisitos; para ello, deberá acompañar su solicitud con un análisis técnico o científico razonado. Las justificaciones presentadas serán evaluadas por el Servicio Fitosanitario del Estado, el cual deberá resolver si acepta o rechaza la petición de exoneración de requisitos, en un plazo máximo de un mes.

ARTÍCULO 12.- El Servicio Fitosanitario del Estado no permitirá, en ninguna de las modalidades de registro mencionadas en la presente Ley, el uso de datos de prueba con protección vigente, como evidencia y apoyo a la solicitud de autorización o el registro sanitario de un producto agroquímico, por parte de un tercero diferente del titular de dichos datos, a menos que sea con consentimiento o autorización de este. La protección de los datos de prueba se dará conforme a los plazos establecidos en la normativa vigente en esta materia. Quien argumente tener derechos de patente o gozar de plazos de protección de datos de prueba, deberá acreditarlo ante el Servicio Fitosanitario del Estado, por los medios establecidos en nuestro ordenamiento jurídico para acreditar esa protección.

ARTÍCULO 13.- El Servicio Fitosanitario del Estado destinará, inmediatamente que esta Ley entre en vigencia, los recursos de su presupuesto y superávit para fortalecer el Registro de Insumos Agrícolas y procurará que su uso y aplicación no tenga un impacto negativo sobre las actividades agrícolas, la salud y el ambiente.

La tasa establecida en el transitorio I de la Ley de protección fitosanitaria, N.º 7664, de 8 de abril de 1997, se incrementa a partir de la entrada en vigencia de esta Ley, de cero coma cinco por ciento (0,5%) a un uno coma cinco por ciento (1,5%).

La totalidad de recursos recaudados por este incremento se destinará, exclusivamente, para implementar y equipar laboratorios, cuya finalidad sea la fiscalización de calidad de los plaguicidas de uso agrícola registrados en el país, así como programas de capacitación en el

uso correcto y buenas prácticas agrícolas y la creación de puestos; además, la capacitación adecuada para la ejecución de dichos programas.

ARTÍCULO 14.- Todos los productos agroquímicos inscritos en el país, tanto productos originales como genéricos, deberán realizar la reválida de su registro en un plazo hasta de tres (3) años, contado a partir de la publicación de esta Ley.

a) Si un ingrediente activo grado técnico fue registrado como tal o como componente de una formulación, por primera vez en el país, a partir del 1° de enero de 1996, todos los registros que contengan este ingrediente activo deberán presentar la información indicada en un plazo máximo de dos (2) años, contado a partir de la entrada en vigencia de esta Ley.

b) Si un ingrediente activo grado técnico fue registrado como tal o como componente de una formulación, por primera vez en el país, antes del 31 de diciembre de 1995, todos los registros que contengan este ingrediente activo deberán presentar la información indicada en un plazo máximo de tres (3) años, contado a partir de la entrada en vigencia de esta Ley.

Todo registro de ingrediente activo grado técnico, registrado como tal o como componente de un plaguicida sintético formulado, sujeto a la presente Ley, u otorgado con anterioridad a la entrada en vigencia de la presente Ley, deberá revalidar su registro, presentando la siguiente información, en el plazo establecido en este artículo. El legajo de información confidencial se manipulará de la siguiente manera:

□ La información confidencial debe ser presentada por duplicado en un sobre, cuyos folios, original y copia, serán sellados por el funcionario receptor, la copia será devuelta al petente. La autoridad procederá a cerrar y lacrar el sobre, el cual será firmado por ambos, en forma tal que cuando sea abierto por el funcionario responsable de la información confidencial, tenga la certeza de que la confidencialidad no ha sido violada; en caso de no seguirse el anterior procedimiento y formalidades, la unidad que administra el registro del SFE no recibirá la información. El legajo debe contener la siguiente información:

Pág 4 La Gaceta N° 19 — Miércoles 28 de enero del 2009

a) La composición cuali-cuantitativa del ingrediente activo grado técnico, deberá ser firmada por el representante legal, la cual contendrá:

a.1) La concentración mínima del ingrediente activo grado técnico.

a.2) La concentración máxima de cada impureza mayor o igual a cero coma uno por ciento (0,1%).

a.3) La concentración máxima de impurezas relevantes hasta su límite de detección. Se considerará como límite de detección de las impurezas la menor cantidad de estas en la muestra que pueda detectarse, pero no cuantificarse. Deberá ser tres (3) veces la relación señal/ruido. Análogamente, el límite de cuantificación corresponderá a la mínima cantidad de impurezas en la muestra, que pueda ser cuantificada con adecuada precisión y exactitud. Deberá ser aproximadamente diez (10) veces la relación señal/ruido. La fracción no identificada del ingrediente activo grado técnico no podrá exceder el dos por ciento (2%). La concentración declarada debe ser basada en el análisis realizado por el químico responsable y corresponderá al análisis de muestras representativas de al menos cinco (5) lotes típicos. La concentración será absoluta; vale decir que será igual o superior al límite inferior fijado. Anexar los análisis y cromatogramas correspondientes.

b) El análisis de la identidad del ingrediente activo grado técnico: el cual estará constituido por un conjunto de determinaciones analíticas que permitan establecer la composición, la constitución y la configuración molecular del ingrediente activo en forma indubitable. Para ello, se deberán presentar, al menos dos (2) espectros del ingrediente activo grado técnico, de entre los siguientes: IR, RMN, Masas y UV-VIS, debiendo presentar al menos uno entre RMN y Masas.

Cuando la identidad de la sustancia esté en duda se podrán solicitar ensayos adicionales. Dichos espectros se deberán acompañar con explicaciones claras y concisas de la interpretación de estos, conducente a demostrar la identidad del ingrediente activo grado técnico. La identidad de todas las impurezas o, eventualmente, grupos de impurezas relacionadas, deberán ser identificadas mediante análisis químicos y espectroscópicos que permitan concluir indubitable e inequívocamente la identidad de cada impureza o grupo de impurezas relacionadas.

c) Los patrones analíticos de las impurezas, cuando se justifique técnicamente, podrán ser requeridos.

d) La justificación de la presencia de impurezas: la empresa registrante debe proveer adecuadas explicaciones sobre la formación de las impurezas que puedan encontrarse presentes en el producto.

La justificación debe basarse en una teoría química probada.

e) El método analítico: el registrante debe proveer los métodos analíticos apropiados para los propósitos de fiscalización para el ingrediente activo e impurezas mayores o iguales a un cero coma uno por ciento (0,1%). Dicho método deberá aportar, según corresponda, especificidad, linealidad, exactitud, precisión, recuperación y límite de detección y describir claramente cómo se ha realizado y los resultados obtenidos.

Se deberán acompañar los elementos probatorios, tales como cromatogramas (para el caso de determinaciones cromatográficas), e indicar las sustancias que corresponden a cada pico. En caso de ser analizable cromatográficamente, se debe presentar un perfil CG o HPLC de la muestra y adjuntar la descripción de la preparación de la muestra inyectada, concentración, solvente, parámetros cromatográficos completos y el reporte en porcentaje de área de la integración del cromatograma (excepto del solvente de disolución en CG).

f) Los certificados de análisis de los patrones y muestras presentados, confeccionados bajo protocolos ISO internacionalmente reconocidos.

g) Para cada proceso resultante en un ingrediente activo grado técnico, debe proveerse la siguiente información:

g.1) El nombre y la dirección del productor que interviene en el proceso.

g.2) La caracterización general del proceso e indicar si es de batches/lotes, o si es un proceso continuo.

g.3) El diagrama de fabricación.

g.4) La identificación de los materiales usados para producir el producto.

g.5) La descripción de los equipos usados.

g.6) La descripción general de las condiciones que se controlan durante el proceso, según sea el caso: temperatura, presión, pH y humedad.

h) El certificado de pureza del patrón presentado.

o Legajo administrativo que contendrá:

a) La solicitud de registro.

b) El certificado analítico de composición (nombre químico según Iupac concentración y densidad) extendido por el fabricante.

c) Cuando se trate del registro de un ingrediente activo grado técnico fabricado fuera del país, debe presentarse certificado de registro del país de origen, extendido por el ente oficial

competente, en el cual se indiquen el ingrediente activo grado técnico, la concentración, el nombre y la dirección completa del fabricante.

En caso de que el ingrediente activo grado técnico esté siendo producido para exportación, deberá ser consignado en el certificado y deben presentarse legalizadas y traducidas en idioma español, en los casos que correspondan. El Ministerio no aceptará certificaciones de otros países que tengan más de un año de haber sido emitidas.

d) El comprobante de pago del arancel vigente.

e) El patrón analítico, el cual deberá contener, como mínimo:

Nombre del principio activo.

- El porcentaje de pureza.
- El contenido neto.

f) Las muestras del ingrediente activo grado técnico: tres

(3) muestras del ingrediente activo grado técnico en envase sellado en el que se indique:

- El nombre del principio activo.
- El porcentaje de pureza.
- El contenido neto.
- La fecha de vencimiento.

Las muestras presentadas deberán ser retiradas en un plazo de treinta (30) días después de haber sido informado el resultado del análisis de manera satisfactoria.

g) La hoja de seguridad: información que debe contener:

1) La identificación del producto y del fabricante.

1.1) Producto.

1.2) Fabricante.

1.3) Nombre químico.

1.4) No. CAS.

1.5) Fórmula molecular.

1.6) Masa molecular.

1.7) Uso.

2) La clasificación toxicológica. De acuerdo con la tabla de clasificación toxicológica vigente de la OMS.

3) Las propiedades físicas y químicas.

- 3.1) Aspecto físico.
 - 3.2) Color.
 - 3.3) Olor.
 - 3.4) Presión de vapor.
 - 3.5) Punto de fusión.
 - 3.6) Punto de ebullición.
 - 3.7) Solubilidad en agua a veinte grados centígrados (20° c).
 - 3.8) Temperatura de descomposición.
 - 3.9) Inflamabilidad.
 - 3.10) Corrosividad.
 - 4) Los primeros auxilios.
 - 4.1) Inhalación.
 - 4.2) Piel.
 - 4.3) Ojos.
 - 4.4) Ingestión.
 - 5) Las medidas contra el fuego.
 - 5.1) Medios de extinción.
 - 5.2) Procedimientos de lucha específicos.
 - 6) El manipuleo y almacenamiento.
- La Gaceta N° 19 — Miércoles 28 de enero del 2009 Pág 5**
- 6.1) Medidas de precaución personal.
 - 6.2) Almacenamiento.
 - 7) La estabilidad y reactividad.
 - 7.1) Estabilidad.
 - 7.2) Reactividad.
 - 8) Los potenciales efectos en la salud.
 - 8.1) Inhalación.
 - 8.2) Ojos.
 - 8.3) Piel.
 - 8.4) Ingestión.
 - 9) La información toxicológica.

9.1) Toxicidad aguda.

9.1.1) Oral DL50.

9.1.2) Dermal DL50.

9.1.3) Inhalación CL50.

9.1.4) Irritación de la piel.

9.1.5) Irritación para los ojos.

9.1.6) Sensibilización de la piel.

9.2) Información bibliográfica sobre toxicidad subaguda.

10) Información ecotoxicológica.

10.1) Toxicidad para aves.

10.2) Toxicidad para abejas.

10.3) Toxicidad para peces.

10.4) Información bibliográfica sobre biocumulación.

10.5) La información bibliográfica sobre persistencia en suelo.

11) Las acciones de emergencia.

11.1) Derrames.

11.2) Fuego.

11.3) Disposición final.

12) La información para el transporte.

12.1) Terrestre.

12.2) Aéreo.

12.3) Marítimo.

o Información de toxicidad aguda de la siguiente manera:

- Toxicidad aguda para mamíferos. Deberá presentar resúmenes de los protocolos de investigación de donde se obtuvieron los valores reportados, los cuales deben contener información suficiente para su evaluación. Si la autoridad competente requiere mayor información, podrá solicitar el estudio completo, el cual podrá ser presentado en idioma inglés.
- Dosis letal media oral aguda (DL50), expresada en mg/kg de peso corporal. Guía técnica N.º 423 OECD. Este informe se requerirá en todos los casos, excepto si el producto es un gas o es altamente volátil.

- Dosis letal dérmica aguda (DL50), expresada en mg/kg de peso corporal. Guía técnica N.º 402 OECD. Este estudio se requerirá a menos que:
 - El producto sea un gas o sea altamente volátil.
 - El producto sea corrosivo para la piel o presente un pH inferior a dos (2) o superior a once coma cinco (11,5).
 - Concentración letal media aguda por inhalación (CL50), expresada en mg/L o mg/m³. Esta se solicitará cuando el producto sea un gas o gas licuado, un preparado que genere humo o un fumigante, se utilice con equipo de nebulización, sea un preparado que desprenda vapor, un aerosol, un polvo que contenga una proporción importante de partículas con un diámetro inferior a 50 micrómetros, se aplique desde una aeronave, contenga sustancias activas con presión de vapor mayor a 1 x 10⁻² Pa y se vaya a utilizar en lugares cerrados, o a aplicar de modo tal que genere partículas o gotas de diámetros inferiores a cincuenta (50) micrómetros. Guía técnica N.º 403 OECD.
 - Información de irritación ocular y en la piel y propiedades corrosivas. Cuando se conozca de antemano que el material es corrosivo o que no produce ningún efecto en la piel ni en los ojos, se omitirá esta prueba. Guía técnica N.º 405 (irritación ocular) y N.º 404 (irritación en piel) OECD.
- Irritación cutánea.
 - Este estudio se requerirá a menos que:
 - El producto sea un gas o sea altamente volátil.
 - El producto sea corrosivo para la piel o presente un pH inferior a dos (2) o superior a once coma cinco (11,5).
 - Irritación ocular. Este informe se requerirá a menos que el producto sea corrosivo para la piel o presente un pH inferior a dos (2) o superior a once coma cinco (11,5).
 - Sensibilización cutánea. Según guía técnica N.º 406 OECD. Este informe se requerirá a menos que no ocurran, en condiciones de uso, exposiciones dermales repetidas.
 - Absorción dérmica del ingrediente activo y de los otros compuestos de la formulación toxicológicamente relevantes.

Este estudio se realizará en ratas, cuando la exposición a través de la piel constituya una vía de exposición portante.

Así como los informes de ecotoxicidad de la siguiente manera:

- Toxicidad oral aguda en especies de aves tales como faisán, codorniz, pato mallard u otra especie validada. Según el test de toxicidad de la EPA.
- Toxicidad aguda en peces, CL50 en especies de trucha arco iris, carpa o cualquier otra especie validada que habite en aguas con temperaturas entre 10-30 grados celsius. Guía OECD 203.
- Toxicidad aguda para las abejas (vía oral y por contacto) y para alguna especie de artrópodos benéficos. Se puede seguir cualquiera de las siguientes guías: Guía OECD 213 y 214 (Para abejas) Guía EPPO PP1/180 (2), PP 1/142 (2) (Para otros artrópodos).

Además, el Servicio Fitosanitario del Estado, a efecto de garantizar que no se afecten la salud y el ambiente podrá solicitar, mediante resolución debidamente fundamentada, que el interesado aporte estudios toxicológicos, ecotoxicológicos, de eficacia biológica y los estudios de efectos sobre el medio abiótico, para la modalidad de registro de ingrediente activo grado técnico. Asimismo, el registrante podrá aportar cualquier documentación adicional a la solicitada, a efecto de que se acredite una mayor información sobre el ingrediente activo grado técnico, registrado como tal o como componente de un plaguicida sintético formulado.

ARTÍCULO 15.- Esta Ley tendrá una vigencia de tres (3) años a partir de su publicación, excepto la modificación del transitorio I de la Ley de protección fitosanitaria, N.º 7664, de 8 de abril de 1997, aprobada en el artículo 13 de la presente Ley, la cual mantendrá su vigencia en forma indefinida.

Rige a partir de su publicación.

ASAMBLEA LEGISLATIVA.- Aprobado a los quince días del mes de diciembre de dos mil ocho.

Capítulo 8. Consideraciones finales

La empresa privada mostró interés en este proyecto, tal como PRAXAIR de Costa Rica la cual posee una visión de fomentar la investigación buscando innovación y mejora de sus tecnologías. Esta empresa brindó apoyo logístico y suministró el Nitrógeno industrial y el equipo de medición.

Asimismo, la compañía DEMASA mostró interés en esta investigación, aportó la totalidad del grano utilizado, pues los resultados obtenidos pueden ser de gran beneficio para la mejora de sus prácticas de control de plagas en granos.

En cuanto a entidad internacional El OIRSA fue el principal colaborador de esta investigación, el cual centró su atención en la aplicabilidad de los resultados para un proceso cuarentenario que mejore los tiempos de espera y eficacia en el control de plagas en granos básicos que ingresan a Centroamérica.

En virtud de lo anterior surgió el interés de realizar el estudio de la aplicación de Nitrógeno para control de plagas en granos en las condiciones tropicales de Costa Rica y con ello contribuir al rendimiento de en almacenaje de granos, el cual se vería proyectado en el bolsillo del consumidor y la prevención de posibles deterioros en la salud pública de todos los costarricenses por la exposición a la fosfina. La apertura de la escuela de Ingeniería Agrícola con instancias que promuevan nuevos trabajos finales de graduación que permitan al estudiante universitario crecer como un excelente profesional y posea una visión de una constante mejora de la sociedad costarricense.