

# **Efecto de frecuencia de aplicación y tiempo de exposición al fosforo de aluminio (AlP) en la calidad de semilla de maíz en Zamorano**

**Departamento de Agroindustria Alimentaria**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2012

ZAMORANO  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

# **Efecto de frecuencia de aplicación y tiempo de exposición al fosforo de aluminio (AlP) en la calidad de semilla de maíz en Zamorano**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Gilberto Antonio Mendoza García**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2012

# **Efecto de frecuencia de aplicación y tiempo de exposición al fosforo de aluminio (AlP) en la calidad de semilla de maíz en Zamorano**

Presentado por:

Gilberto Antonio Mendoza García

Aprobado:

---

Edward Moncada, M.A.E.  
Asesor principal

---

Luis Fernando Osorio, Ph.D.  
Director  
Departamento de Agroindustria Alimentaria

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

## RESUMEN

Mendoza García G.A. 2012. Efecto de frecuencia de aplicación y tiempo de exposición al fosforo de aluminio (AIP) en la calidad de semilla de maíz en Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 20 p.

La industria de semillas tiene como objetivo asegurar la calidad fisiológica del producto. El control de insectos sin comprometer la calidad es una preocupación constante de los procesadores. El objetivo fue determinar el efecto de tres frecuencias de fumigación y dos tiempos de exposición al fosforo de aluminio (AIP) sobre la calidad de la semilla de maíz (*Zea mays*) variedad Tuxpeño. Se evaluaron seis tratamientos variando frecuencia (una, dos y tres aplicaciones) y dos tiempos de exposición al fumigante (tres y seis días) con período de aireación de un día al finalizar cada tratamiento. Además, se estableció un testigo con semilla no fumigada bajo las mismas condiciones de almacenamiento de los tratamientos evaluados. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de  $3 \times 2$  con tres repeticiones. Se realizó un ANDEVA y un análisis de correlación para relacionar condiciones ambientales con parámetros de calidad en semilla no fumigada, evaluándose contenido de humedad, porcentaje de germinación, porcentaje de vigor y presencia y daño por insectos. Los resultados indicaron que no hubo diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos fumigados para las variables de contenido de humedad, porcentaje de vigor y porcentaje de germinación. No hubo presencia ni daños de insectos en los tratamientos fumigados. Las condiciones de almacenamiento tuvieron un promedio de 27.31 °C de temperatura y 61.69% de humedad relativa. La fumigación con 3 días de exposición del fumigante fue el tratamiento más económico con un costo variable de \$0.26/qq. Se recomienda evaluar el efecto del tiempo y la concentración del fumigante en una población de insectos conocida.

**Palabras clave:** Condiciones de almacenamiento, control de plagas, fosfina, fumigación.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>14</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>16</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>19</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción de tratamientos de fumigación con fosforo de aluminio a la semilla de maíz variedad Tuxpeño. ....	2
2. Promedios y desviación estándar de temperatura y humedad relativa durante la aplicación de fosforo de aluminio a diferentes tratamientos de fumigación. ....	5
3. Evaluación del efecto de 3 aplicaciones de fosforo de aluminio en 2 tiempos de exposición distintos y un testigo en el contenido de humedad, porcentaje de vigor y porcentaje de germinación en la semilla de maíz variedad Tuxpeño. ....	10
4. Género, promedio y desviación estándar (DE) de incidencia de insectos hallados en muestreos del tratamiento control bajo condiciones de almacenamiento .....	11
5. Correlación entre humedad relativa, temperatura y atributos de calidad de semilla no fumigada. ....	12
6. Probabilidad (P) al 5% de significancia de los factores sobre las variables fisiológicas de la semilla. ....	12
7. Costos variables de fumigación de semilla de maíz con tres aplicaciones de fosforo de aluminio y dos tiempos de exposición al fumigante. ....	13
Figuras	Página
1. Variaciones en contenido de humedad de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la temperatura de almacenamiento. ....	6
2. Variaciones en contenido de humedad de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la humedad relativa de almacenamiento. ....	7
3. Variaciones en el porcentaje de vigor de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la temperatura de almacenamiento. ....	8
4. Variaciones en el porcentaje de vigor de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la humedad relativa de almacenamiento. ....	8
5. Variaciones en el porcentaje de germinación de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la temperatura de almacenamiento. ....	9
6. Variaciones en el porcentaje de germinación de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la temperatura de almacenamiento. ....	10

Anexos	Página
1. Ficha técnica del fumigante utilizado en los tratamientos.....	19

## 1. INTRODUCCIÓN

El fosforo de aluminio es usado en el proceso de fumigación de semillas en Zamorano por sus propiedades físicas y químicas, que le confieren efectividad en el control de plagas. Su tasa de reacción de fosforo de aluminio a fosfina como gas fumigante, aumenta en condiciones de calor y humedad altas (USDA 2006) típico del trópico, siendo por excelencia el fumigante con mayor velocidad de difusión y capacidad de penetración (Dendy y Dobraszczyk 2001). El tiempo de exposición es el factor ponderante de efectividad en control de plagas sobre la concentración del fumigante (Rajendran 2000). Sin embargo, las aplicaciones no tienen residualidad tóxica, los insectos que no fueron afectados por el fumigante atacan nuevamente (Chaudhry 2000) asociándose mayor presencia de hongos y generación de toxinas (García-Lara *et al.* 2007).

Sumándose la situación descrita por Pimentel *et al.* (2007) cuando los productores tienen bajos niveles de hermetismo en fumigaciones se reduce el control de plagas en bodegas, transportando semillas infectadas hacia procesadores y centros de posterior distribución, representando un desafío la ausencia de insectos en lotes producidos como parámetro de calidad exigido por clientes de la planta de semillas de Zamorano, que al ser incumplido se traduce en devoluciones. Repetir la fumigación es una actividad que se realiza cuando se encuentra incidencia de insectos en lotes de semilla previamente tratados con fosfina. Sin embargo, este proceso debe mantener la calidad fisiológica de la semilla y generar confianza para entidades públicas y privadas sobre los procesos de valor agregado aplicados en la planta de semillas de Zamorano. Los objetivos del estudio fueron:

- Determinar el efecto de tres frecuencias de fumigación y dos tiempos de exposición al fosforo de aluminio (AIP) sobre la calidad de la semilla de maíz (*Zea mays*) variedad Tuxpeño.
- Demostrar el efecto de las condiciones ambientales de la bodega de semillas de Zamorano sobre el contenido de humedad, porcentaje de vigor, porcentaje de germinación, presencia y daño por insectos en semilla de maíz (*Zea mays*) variedad Tuxpeño sin fumigar.
- Evaluar los costos variables asociados con los tratamientos fumigados bajo las condiciones de la planta de semillas de Zamorano.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación del ensayo.** El estudio se realizó en el laboratorio de análisis de semillas de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicada en el Valle de Yeguare, 30 km al este de Tegucigalpa, Honduras. A 14° latitud norte y 82°27' longitud oeste, con una temperatura media anual de 27° C, una precipitación anual de 1100 mm y una altitud de 800 msnm, durante los meses de mayo y junio del año 2012.

**Materiales y equipos.** Se utilizó semillas de maíz variedad Tuxpeño, toldos de polietileno calibre 600 (6/1000"=152 micras) de 3m × 2.6m, tarimas de madera, sacos de arena cilíndricos de 60 cm × 10 cm × 4cm, bandejas de lamina galvanizada de 30 cm × 30 cm × 5 cm, tabletas de 3 g. DETIA® de fosforo de aluminio, bandejas de plástico de 30cm × 35cm × 15cm para siembra de muestras, homogenizador de semillas Dean Gamet MFG Co Minneapolis, báscula, medidor de humedad y temperatura USB 2+ Lascar Electronics UK, medidor de humedad Motomco modelo 919, lupa de laboratorio, alveolo para muestrear sacos de polipropileno y arena esterilizada con granulometría menor a 0.08 mm en un 90%

**Diseño Experimental y análisis estadístico.** El diseño experimental que se utilizó fue un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 3×2, siendo los factores: frecuencia de aplicación de fosforo de aluminio (una, dos y tres veces) y días de exposición al fumigante (tres y seis días). Se realizaron tres repeticiones para cada uno de los tratamientos, en cada una de las repeticiones se incluyó un control paralelo, el cual, fue semilla de maíz sin fumigar, resultando un total de 36 unidades experimentales.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos de fumigación con fosforo de aluminio a la semilla de maíz variedad Tuxpeño.

Días de exposición al fumigante	Frecuencia de aplicación de fosforo de aluminio		
	1 Frecuencia (1F)	2 Frecuencias (2F)	3 frecuencias (3F)
Días (D)	Tratamiento 1 (1F3D)	Tratamiento 2 (2F3D)	Tratamiento 3 (3F3D)
3 (3D)	Tratamiento 4 (1F6D)	Tratamiento 5 (2F6D)	Tratamiento 6 (3F6D)
6 (6D)			

**Acondicionamiento y fumigación.** Se estibarón cinco quintales de semilla de maíz sobre una tarima de madera y se taparon con toldos de polietileno, poniendo sacos de arena sobre las orillas para crear un ambiente hermético, dejando solamente sin tapar un espacio donde se pudiera meter la bandeja de lámina con la dosis de fosfuro de aluminio. Se colocó una tableta de DETIA® por cada cinco quintales (Dosis recomendada por el fabricante Degesch gmbh) sobre una bandeja de lamina galvanizada. Según Semple y Kirenga (1994) la equivalencia de 1 gramo de fosfina es a una tableta (3g.) ó 700 ppm. Luego se procedió a tapar el lado restante y colocar sacos de arena sobre el plástico para hermetizar completamente, pegándose una página de advertencia de material fumigado con identificación de cada tratamiento.

**Muestreo.** Se realizó un plan de muestreo según las reglas del ISTA en 2010 que aseveran que de cinco a diez contenedores por lo menos son necesarias dos muestras por contenedor, equivalente a un saco para el presente estudio; afirmando esta institución una muestra mínima de trabajo para maíz de 1000 g. en total para luego ser homogenizadas. Durante la muestra de lotes se tomaron de puntos al azar con un alveolo destinado para toma de muestra de sacos. Se muestreó una vez cada unidad experimental fumigada y simultáneamente se obtenía una muestra del testigo para observar el comportamiento de las variables analizadas respecto a la semilla tratada.

**Determinación de humedad de semilla.** Se tomó una muestra de trabajo homogenizada de semillas de 250 g. y se tomó la lectura de humedad según las especificaciones de uso del equipo MOTOMCO 919 realizándose por triplicado para obtener un promedio de la muestra de cada tratamiento procedimiento evaluado por Alizaga y Mora (1982) quienes comprobaron que no hay diferencia significativa entre determinar el contenido de humedad del grano de maíz con este método y el método oficial de AACC (American Association of Cereal Chemists).

**Presencia y daño por insectos.** Se tomó una muestra de 1 Kg. de semilla homogenizada y se pasó por un tamiz # 12 (12/64") para determinar presencia de insectos, y luego se contabilizó el número de insectos por muestra. Luego se procedió a separar 250 g. y se observó cada semilla con una lupa de laboratorio para detectar agujeros provocados por insectos. Se pesaron las semillas dañadas y se calculó el porcentaje.

**Pruebas de vigor.** Se realizó con 200 semillas puestas en medio de dos capas de arena de 2 pulgadas cada una con distanciamiento de 1 cm entre semillas midiéndose el porcentaje de emergencia (plúmula visible) al cuarto día después de la siembra, respondiendo al primer conteo de germinación en sustrato de arena expuesto por las reglas de ISTA (2011) y a la metodología de clasificación de vigor en semillero (Warham *et al.*1996) adaptándose a lo expuesto por Maguire (1962).

Este método es validado por SENASA (Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria de Honduras) según Moncada (2012)<sup>1</sup> debido al alto volumen de operaciones de la planta de semillas y avalado por las empresas privadas que requieren de servicios de laboratorio para obtener información de sus muestras.

**Pruebas de germinación.** Se utilizó el método de germinación estándar según Reglas del ISTA 2010. Se sembraron 200 semillas por repetición sembradas en arena como material de sustrato sobre bandejas de plástico, a un distanciamiento de 0.5 cm entre semilla, obteniendo 600 semillas por tratamiento para un ensayo de 4200 semillas de maíz. Cada bandeja fue rotulada con la información del tratamiento de fumigación y la fecha de siembra para identificación. Luego se introdujo a un cuarto de germinación con temperatura ambiente promedio de 25° C y humedad relativa de 65% se regó todos los días para mantener la humedad suficiente. Al séptimo día después de la siembra, cuando el embrión de la semilla creció y se desarrolló la plántula se contó cada muestra para contabilizar: plántulas normales (porcentaje de germinación), plántulas anormales y semillas muertas.

**Análisis económico.** Se determinó el costo variable de cada tratamiento basado en precios de mercado de la tableta de fosforo de aluminio y el costo de mano de obra empleado. Además se estipuló un costo diario de almacenamiento en la bodega de semillas de L.0.108 /quintal de acuerdo a Blandón (2010).

---

<sup>1</sup>Moncada, E. 2012. Método de vigor utilizado en planta de semillas (entrevista).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Temperatura y humedad relativa durante la fumigación.** Los registros de mayor temperatura se obtuvieron al momento de establecerse el experimento durante la última semana del mes de junio, reflejándose en los promedios para el control general de  $29.52 \pm 2.86$  °C y  $29.20 \pm 2.48$  °C para el tratamiento de una aplicación y 3 días de exposición al fumigante (Cuadro 2). Este comportamiento de la temperatura fue registrado por Erazo (2004) en el mismo almacén de la planta de semillas para el mes de junio con una media de  $28.35$  °C. Durante el tratamiento con dos frecuencias de aplicación y tres días de exposición al fumigante se registró  $25.25 \pm 2.05$  °C de temperatura, siendo la más baja del estudio (Cuadro 2). Sin embargo, este tratamiento mantuvo una temperatura en la bodega arriba de  $20$ °C, permitiendo realizar una fumigación con un tiempo de exposición al fumigante de 3 días como mínimo para semilla empacada en sacos de polipropileno según ficha técnica de Degesch (2008).

Cuadro 2. Promedios y desviación estándar de temperatura y humedad relativa durante la aplicación de fosforo de aluminio a diferentes tratamientos de fumigación.

Tratamiento		Condiciones de almacenamiento	
Tiempo de exposición	Frecuencia de aplicación	Temperatura(°C)	Humedad relativa(%)
3 Días	Una fumigación	$29.20 \pm 2.48$	$55.79 \pm 6.52$
	Dos fumigaciones	$25.25 \pm 2.05$	$65.94 \pm 6.74$
	Tres fumigaciones	$26.45 \pm 1.98$	$64.27 \pm 5.34$
6 Días	Una fumigación	$28.39 \pm 2.62$	$57.07 \pm 6.44$
	Dos fumigaciones	$25.76 \pm 2.25$	$65.40 \pm 6.00$
	Tres fumigaciones	$26.58 \pm 2.00$	$64.04 \pm 5.10$

La temperatura promedio de la bodega a lo largo del estudio fue de  $26.95 \pm 2.71$  °C y  $61.46 \pm 7.33\%$  para humedad relativa siendo este último factor el que reacciona con el fosforo de aluminio para convertirse en fosfina (USDA 2006) Xianchang (1994) afirma que la humedad relativa tiene mayor incidencia que la temperatura de almacén, sobre la velocidad de reacción del fosforo de aluminio a fosfina. De acuerdo a resultados de este

autor, bajo las condiciones de la bodega de semillas que al acercarse a una temperatura de 30 °C y 70% de humedad relativa respectivamente, la reacción de fosforo de aluminio a fosfina tardaría 40 horas, pero si las condiciones cambian y se acerca a 20 °C de temperatura y 50% de humedad relativa respectivamente, la reacción tardaría 98 horas.

**Contenido de humedad de la semilla.** No hubo diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos analizados para la variable de contenido de humedad (Cuadro 3), observándose que la frecuencia de aplicación del fumigante y los días de exposición no determinan cambios de contenido de humedad en la semilla. Además no hubo variaciones significativas de contenido de humedad de la semilla debido a la acción del fumigante reafirmando lo descrito por Degesch (2008) que el porcentaje de humedad de la semilla no cambia al reaccionar el fosforo de aluminio (AIP) con la humedad del ambiente para producir fosfina (PH<sub>3</sub>); reacción que para los tratamientos sometidos a tres fumigaciones pudo haber sido crítico sin embargo, no presentaron una variación significativa del contenido de humedad respecto a los tratamientos que se les aplicó una fumigación. Además, por el proceso de aireación para remover el fumigante, la semilla nuevamente llegaba a equilibrarse con la humedad en el ambiente, obteniéndose un rango entre 12.43% y 12.91% de contenido de humedad (Cuadro 3), lo cual es aceptable para preservar calidad fisiológica porque es menor al 13% permisible, si se considera el control de humedad y temperatura de almacenamiento a través del tiempo (Lovato y Balboni 1997). Se observó un comportamiento hacia la reducción en el contenido de humedad de la semilla cuando se registraron alzas en las temperaturas y descensos de humedad relativa en almacenamiento y viceversa para los tratamientos (Figuras 1 y 2). Hubo exposición a humedad relativa menor a 72.68% (Cuadro 2) muy inferior a 80% que aumenta su contenido de humedad hasta 15% incidiendo en ataque de hongos (CIMMYT 2012). Sin embargo, la calidad fisiológica de maíz no es afectada cuando tiene un contenido de humedad de 14.2% al ser fumigada (Vilela y Fallieri 1984).

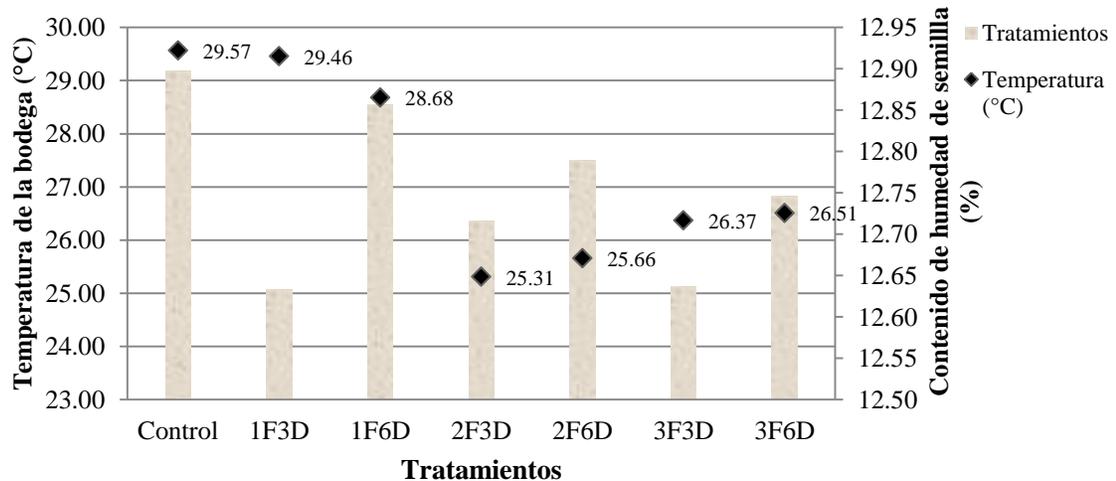


Figura 1. Variaciones en contenido de humedad de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la temperatura de almacenamiento.

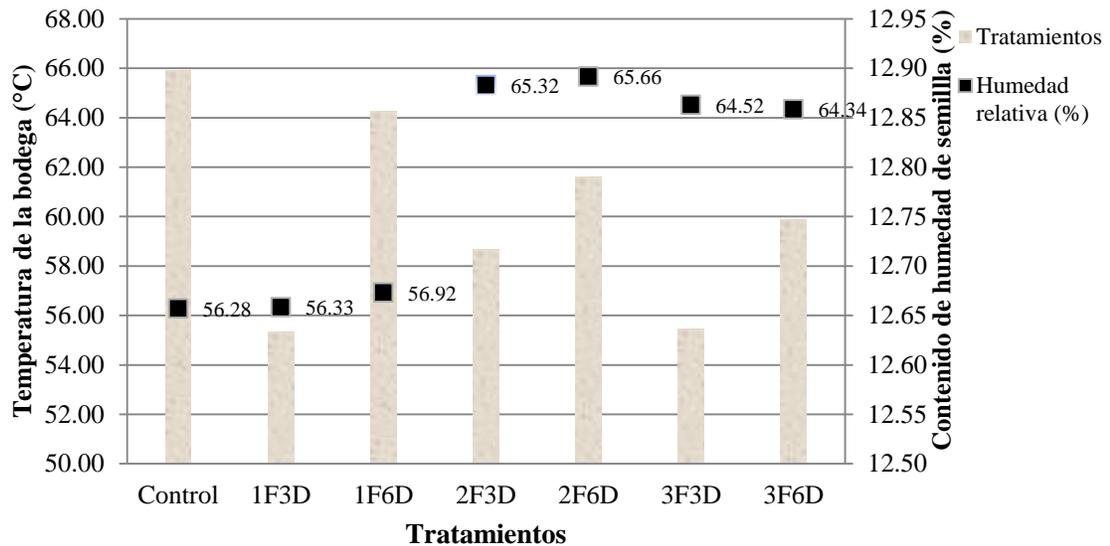


Figura 2. Variaciones en contenido de humedad de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la humedad relativa de almacenamiento.

**Porcentaje de vigor.** Las variaciones en frecuencia de aplicación y tiempos de exposición al fumigante reflejados en los tratamientos, no fueron significativamente diferentes para la variable de porcentaje de vigor en la semilla (Cuadro 3). Esto confirma lo expuesto por Cornes (1966), que el vigor del maíz no es afectado por la fumigación de fosforo de aluminio, coincidiendo también con un estudio de Vilela y Fallieri (1984) que en dos variedades de maíz fumigadas no hubo cambios en vigor generados al fumigar tres veces y aplicar dos dosis de fosforo de aluminio. El método utilizado para el presente estudio evaluó el vigor de la semilla de maíz mediante una obstrucción mecánica por parte de la arena como sustrato (Revilla *et al.* 1999). Además se pudo confirmar que la semilla mantuvo su capacidad de emergencia bajo diferentes tratamientos de fumigación, parámetro asociado por ISTA (2011) al porcentaje de vigor de la semilla. Durante los días de exposición al fumigante hubo variación de condiciones ambientales de temperatura (Figura 3) y humedad relativa (Figura 4) entre tratamientos, observándose una tendencia de disminución de vigor al haber mayor temperatura y menor humedad relativa y viceversa, sin embargo el porcentaje de vigor de un lote de semillas no se traduce directamente en igual desempeño en campo después de ser almacenado ya que la interacción entre factores internos y externos de la semilla es mucho más compleja (Maree 2008).

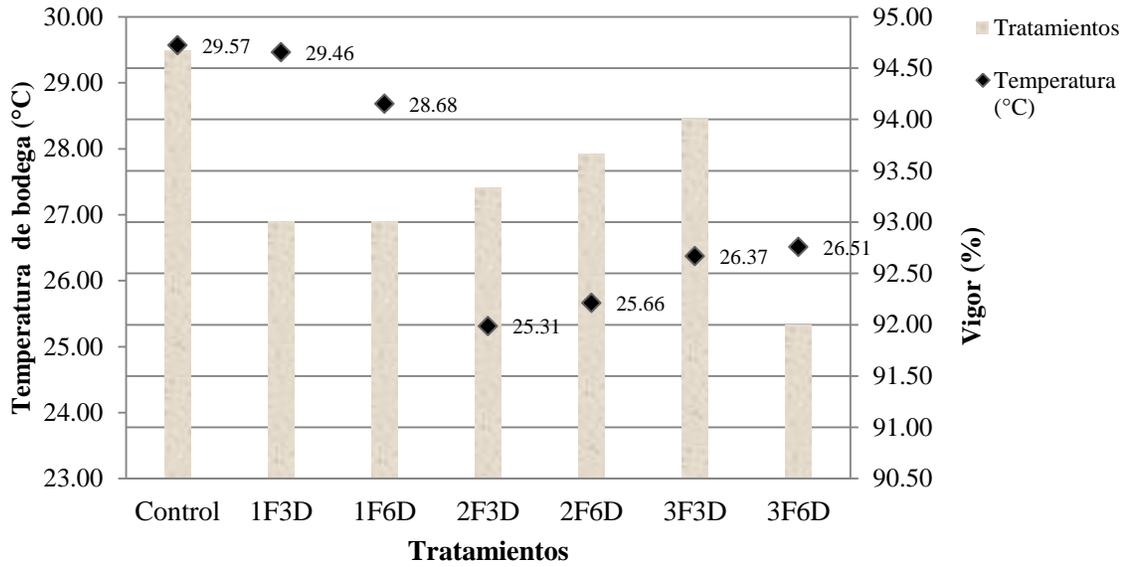


Figura 3. Variaciones en el porcentaje de vigor de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la temperatura de almacenamiento.

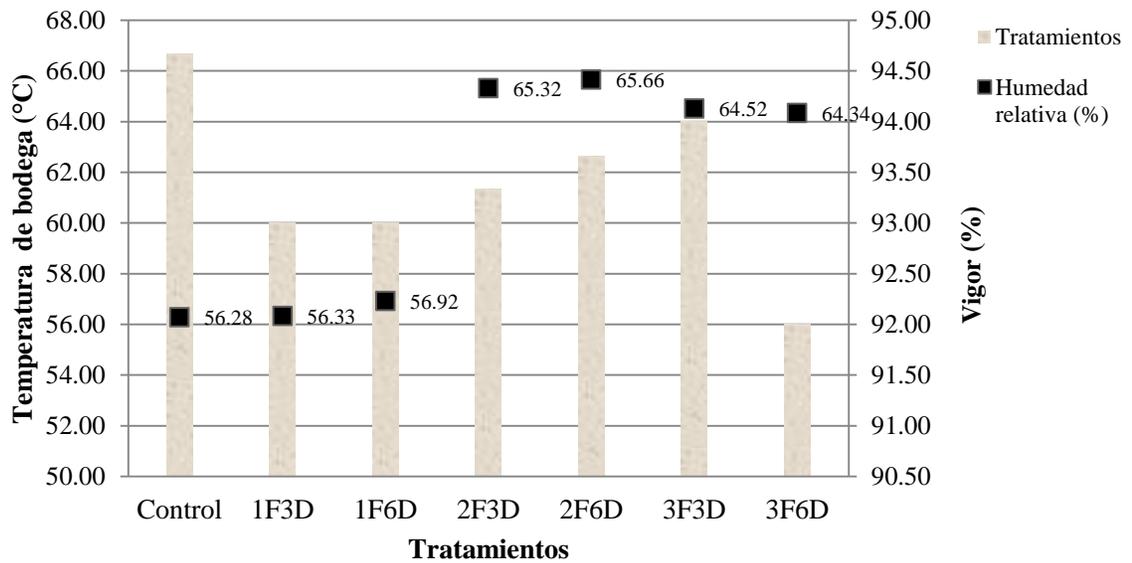


Figura 4. Variaciones en el porcentaje de vigor de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la humedad relativa de almacenamiento.

**Porcentaje de germinación.** Bajo las condiciones de Zamorano las variaciones en frecuencia y tiempos de exposición al fumigante reflejados en los tratamientos no fueron significativamente diferentes para la variable de porcentaje de germinación (Cuadro 2). En condiciones normales el fosforo de aluminio no afecta la germinación de semillas

(Sauer 1992 y USDA 2006) tomando en cuenta que la efectividad de fumigación depende del modo de aplicación y sinergia con otros componentes como humedad y temperatura. Esto concuerda con investigaciones no sólo realizadas en maíz como la descrita por Leesch *et al.* (1979) en maní quien no reportó efectos adversos en germinación al aplicarse diferentes fumigaciones y concentraciones de fosforo de aluminio. Por ser un estudio sin condiciones controladas durante tiempos de exposición de las semillas al fumigante menor a seis días antes de ser aireados los tratamientos fumigados, no se observó una tendencia marcada entre porcentaje de germinación y cambios en condiciones de temperatura (Figura 5) y humedad relativa (Figura 6). De acuerdo a Vilela y Fallieri (1984) en un estudio con almacenamiento de seis meses a condiciones ambientales de laboratorio, fumigándose dos variedades de maíz con frecuencia de aplicación hasta de tres veces consecutivas, si hubo diferencias significativas en porcentaje de vigor de la semilla respecto al control debido a las propiedades particulares de las variedades evaluadas y no meramente por el proceso de fumigación.

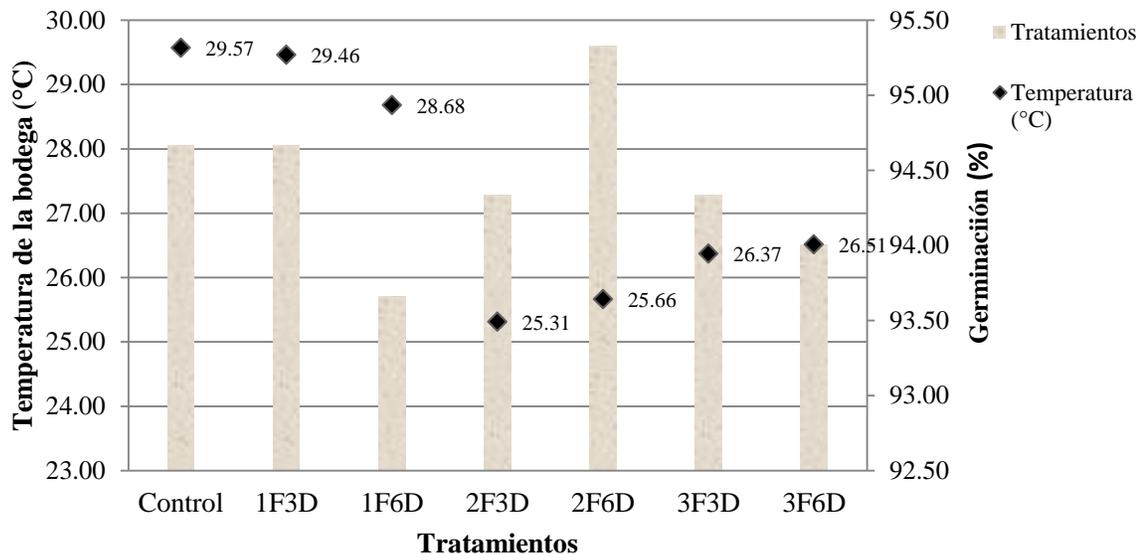


Figura 5. Variaciones en el porcentaje de germinación de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada respecto a la temperatura de almacenamiento.

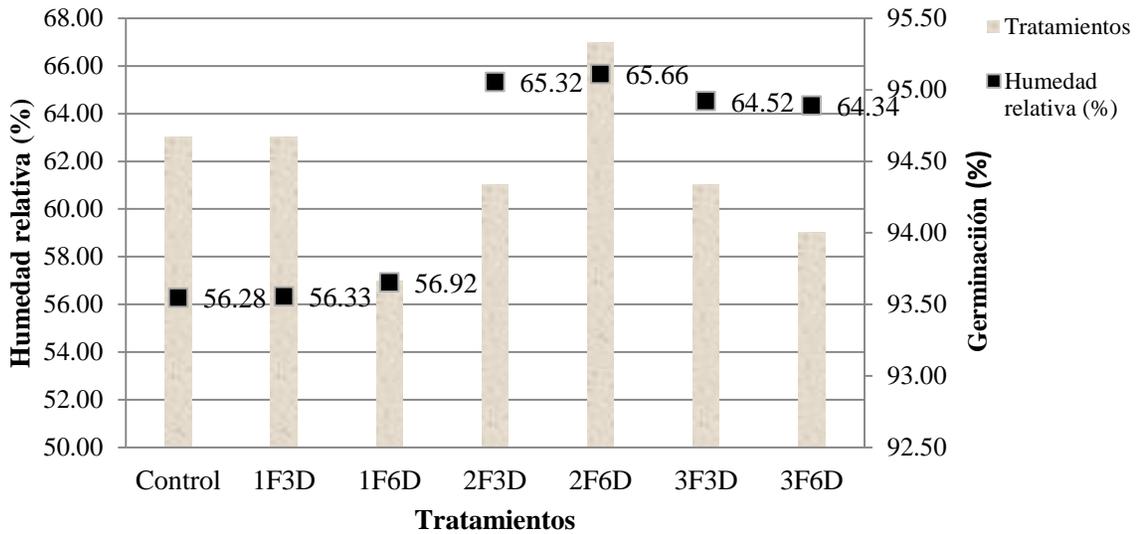


Figura 6. Variaciones en el porcentaje de germinación de la semilla de maíz variedad Tuxpeño fumigada y el control respecto a la temperatura de almacenamiento.

Cuadro 3. Evaluación del efecto de 3 aplicaciones de fosforo de aluminio en 2 tiempos de exposición distintos y un testigo en el contenido de humedad, porcentaje de vigor y porcentaje de germinación en la semilla de maíz variedad Tuxpeño.\*

Tratamiento		Promedio y desviación estándar de Variables fisiológicas		
Tiempo de exposición	Frecuencia de aplicación	Contenido de humedad (%)±	Porcentaje de germinación (%)±	Porcentaje de vigor (%)±
3 Días	Una fumigación	12.63 ± 0.04 <sup>b</sup>	93.00 ± 1.00 <sup>ab</sup>	94.67 ± 0.58 <sup>ab</sup>
	Dos fumigaciones	12.72 ± 0.04 <sup>ab</sup>	93.33 ± 0.58 <sup>a</sup>	95.33 ± 0.58 <sup>a</sup>
	Tres fumigaciones	12.64 ± 0.20 <sup>b</sup>	94.00 ± 1.00 <sup>ab</sup>	94.33 ± 0.58 <sup>a</sup>
6 Días	Una fumigación	12.86 ± 0.04 <sup>a</sup>	93.00 ± 1.00 <sup>b</sup>	93.66 ± 0.58 <sup>ab</sup>
	Dos fumigaciones	12.72 ± 0.13 <sup>ab</sup>	93.66 ± 0.58 <sup>ab</sup>	94.33 ± 0.58 <sup>ab</sup>
	Tres fumigaciones	12.75 ± 0.07 <sup>ab</sup>	92.00 ± 1.00 <sup>b</sup>	94.00 ± 1.00 <sup>b</sup>

\*Promedios de tratamientos en cada columna seguidos de diferente letra minúscula son significativamente diferentes (P<0.05).

**Presencia y daño por insectos.** No se encontró presencia de insectos al iniciar el muestreo del control ni después de aplicar diferentes tratamientos de fumigación. El lote de semillas no presentó daños por insectos en ninguno de los análisis realizados. Estos resultados no garantizan la efectividad de los tratamientos en el control de insectos, porque no hubo una población inicial de insectos como referencia y no se monitoreó la concentración de fosfina durante cada fumigación que según Semple y Kirenga (1994)

debe ser mayor a 150 ppm de fosfina o para USDA (2006) un mínimo de 300 ppm durante 96 horas a 20°C. Rajendran (2000) indicó que el tiempo de exposición es más importante sobre la concentración del fumigante, siendo efectivo el proceso si hay hermetismo (Chaudhry 2000). De acuerdo a muestreos paralelos realizados bajo las mismas condiciones ambientales a semilla no fumigada, cada vez que un tratamiento de fumigación se analizaba, se encontró infestación de insectos del genero *Tribolium* para los muestreos 6 y 7 (Cuadro 4). La presencia de un insecto en un lote de semillas es argumento suficiente para recibir devoluciones por parte de los clientes de la planta de semillas de Zamorano por incumplimiento en calidad, tomando en cuenta que los tratamientos fumigados pueden ser atacados por plagas nuevamente porque el fosfuro de aluminio no tiene residualidad tóxica (Chaudhry 2000).

Cuadro 4. Género, promedio y desviación estándar (DE) de incidencia de insectos hallados en muestreos del tratamiento control bajo condiciones de almacenamiento (NS)\*.

Muestreo del tratamiento control	Tratamiento de fumigación evaluado paralelamente	Frecuencia (Número de insectos /Kg. de muestra)	Genero	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
6	2F6D	1	<i>Tribolium</i>	25.25 ± 2.05	65.94 ± 6.74
7	3F3D	1	<i>Tribolium</i>	26.58 ± 2.00	64.04 ± 5.10

\* No significativo (P>0.05)

**Correlaciones.** No se encontró correlación entre las variables de temperatura y humedad relativa, respecto a parámetros de calidad de semilla evaluada, durante el tiempo que comprendió el presente estudio (Cuadro 5). Hubo correlación alta negativa entre temperatura y humedad relativa (Cuadro 5). El aumento de humedad relativa usualmente provoca disminuciones de temperatura en estructuras de poscosecha de productos agrícolas (Kitinoja y Kader 1996). El almacenamiento sin condiciones controladas de temperatura y humedad relativa según Erazo (2004), acelera el proceso de respiración en semillas, provocando cambios extremos de contenido de humedad y deterioro en porcentaje de germinación y vigor. El mismo autor afirma que las condiciones ambientales de la bodega de semillas evaluadas durante 10 meses afectaron la calidad de la semilla de maíz, infiriéndose que a mayor tiempo de almacenamiento mayor deterioro. El presente estudio tuvo una duración máxima de 21 días para el tratamiento de 3 aplicaciones con 6 días de exposición al fumigante más un día de aireación por aplicación; siendo una duración relativamente corta de registros como para observar cambios fisiológicos significativos, aunque humedad y temperatura son dos factores que influyen en el deterioro de la semilla (Warham *et al.* 1996), la temperatura promedio de la bodega a lo largo del estudio fue de 26.95 ± 2.71 °C brindando un equilibrio de humedad de 12% ya que se encuentra entre 6 °C y 30° C (CIMMYT 2012), mientras que la humedad relativa únicamente en la segunda fumigación con 3 días de exposición al fumigante alcanzó un máximo de 72.68% (Cuadro 2), siendo el promedio general 61.46 ± 7.33%. Esta condición debe controlarse menor a 70% para retener la viabilidad de la semilla en el futuro (Mettananda *et al.* 2001), el almacenamiento de granos en sacos de

fibras de polímeros provee una facilidad de intercambio de humedad desde y hacia el grano típicas fluctuaciones en el contenido de humedad (Dendy y Dobraszczyk 2001)

**Cuadro 5.** Correlación entre humedad relativa, temperatura y atributos de calidad de semilla no fumigada.

Variabes	Temperatura	Humedad relativa
Contenido de humedad	-0.1787	0.0989
	0.4379	0.6697
Porcentaje de vigor	0.3836	-0.2739
	0.0860	0.2295
Porcentaje de germinación	0.4940	-0.4539
	0.0228	0.0387
Presencia de insectos	-0.3492	0.4040
	0.1207	0.0693
Temperatura	1.0000	-0.9834
		<.0001
Humedad relativa	-0.98343	1.0000
	<.0001	

**Probabilidad de factores.** El tiempo de exposición fue el único factor que influyó sobre contenido de humedad de la semilla, siendo éste el único en afectar por separado a una de las variables analizadas (Cuadro 6). No se observó tampoco ningún efecto significativo en la interacción entre los factores tiempo de exposición y frecuencia de aplicación para aspectos de calidad fisiológica como contenido de humedad, porcentaje de vigor y porcentaje de germinación.

**Cuadro 6.** Probabilidad (P) al 5% de significancia de los factores sobre las variables fisiológicas de la semilla.

Factor	Humedad	Vigor	Germinación
	P	P	P
Frecuencia de aplicación	0.5892	0.5430	0.1780
Tiempo de exposición	0.0228	0.2062	0.7298
Tiempo × frecuencia	0.4910	0.0837	0.0635

**Costo de aplicación.** Se evaluaron los costos de fumigación de la semilla para cada uno de los tratamientos, comparándose el costo variable según el número de aplicaciones y el tiempo de almacenamiento en bodega. La fumigación más económica fue de una frecuencia de aplicación con tres días de exposición al fumigante (Cuadro 7). Esta evaluación es económicamente aceptable ya que la bodega de semillas es la segunda opción más barata para almacenar producto en la planta de semillas de Zamorano, en

adición de la tecnología de Cocoons ® y sobre el costo de almacén en cuarto frío (Blandón 2010). Un costo \$0.92 por quintal de semilla fumigada fue el peor escenario económico evaluado en este estudio en términos de costos variables bajo condiciones de la planta de semillas de Zamorano (Cuadro 7). El aumento en los costos es proporcional a mayor frecuencia de aplicación y tiempo de exposición. El reproceso de lotes de semilla cuando se incumple el parámetro de calidad de cero insectos, no solamente genera costos operativos en producción sino costos más altos en distribución.

No se puede afirmar que el tratamiento más económico es el más efectivo en cuanto a combate de plagas de insectos aun sin existir diferencias significativas entre tratamientos fumigados para variables de calidad de semilla (Cuadro 3). Para aseverar efectividad en control de insectos en semillas, se debe de considerar la medición de la concentración letal de fosfina durante las aplicaciones de fosfuro de aluminio. Además, se requiere inocular una población de insectos conocida a un lote de semillas en particular para determinar la eficacia del fumigante.

**Cuadro 7. Costos variables de fumigación de semilla de maíz con tres aplicaciones de fosfuro de aluminio y dos tiempos de exposición al fumigante.**

Tratamiento		Detalle de costos		
Tiempo de exposición	Frecuencia de aplicación	Costo de aplicación (US\$/qq)	Costo de almacén (US\$/qq)	Costo total US\$/qq
3 Días	Una fumigación	0.24	0.02	0.26
	Dos fumigaciones	0.47	0.04	0.52
	Tres fumigaciones	0.71	0.07	0.77
6 Días	Una fumigación	0.27	0.04	0.31
	Dos fumigaciones	0.53	0.08	0.61
	Tres fumigaciones	0.80	0.12	0.92

#### **4. CONCLUSIONES**

- No hubo efecto de la combinación de frecuencia de aplicación de fosforo de aluminio y tiempo de exposición de la semilla de maíz variedad Tuxpeño sobre el contenido de humedad, porcentaje de vigor y porcentaje de germinación de la semilla.
- Las condiciones de temperatura y humedad relativa de la bodega de semillas de Zamorano registradas durante el estudio no se correlacionaron con cambios en el contenido de humedad, porcentaje de vigor, porcentaje de germinación y presencia de insectos en la semilla de maíz no fumigada.
- La aplicación de una fumigación durante tres días de exposición al fumigante tuvo un total de costos variables de \$0.26 por quintal siendo el tratamiento de fumigación más económico bajo las condiciones de Zamorano.

## 5. RECOMENDACIONES

- Evaluar tiempos y concentración de fosfina en fumigación de semilla como parámetro de calidad de control de insectos en la planta de semillas de Zamorano.
- Determinar la efectividad de fumigación al inocular semilla de maíz con insectos primarios como el *Sitophilus* sp. a diferentes tiempos de exposición a fosfuro de aluminio en Zamorano.
- Adquirir una cámara de fumigación o incorporar tecnología en bodegas que garantice hermetismo durante y después del proceso de control de insectos.

## 6. LITERATURA CITADA

Alizaga, R. y M. Mora, 1982. Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador motomco 919. *Agronomía Costarricense*. 6(1/2): p. 35-41,

Blandón Silva M. 2010. Evaluación de tres métodos de almacenamiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto en los atributos de la calidad del grano. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. 28 p.

Chaudhry Q. 2000. *Pesticide Outlook*. Edit. The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Cambridge. Gran Bretaña. p.88-91

Cornes, M.A. 1966. An experiment to compare the effects of carbon tetrachloride and Phostoxin on the germination and subsequent growth of maize. *Nigerian Stored Products Research Institute*. p. 85-87

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME) 2012. Testing maize seed viability. (en línea). México D.F. Consultado 13 agosto 2012. Disponible en: <http://maizedoctor.cimmyt.org/en/measurement-methods/168?task=view>

Degesch 2008. Ficha técnica de Detia gas. (en línea). Consultado 08 septiembre 2012. Disponible en: <http://www.degesch.cl/php/medios/pdf/FT-Detia%20Gas%20EX%20-%20T.pdf>

Dendy D. y B. Dobraszczyk. 2001. *Cereales y productos derivados química y tecnología*. Edit. Acribia, S.A. Zaragoza, España. 537 p.

Erazo Arevalo, A. H. 2004. Deterioro de calidad física y viabilidad de semillas de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), y sorgo (*Sorghum bicolor*) durante su almacenamiento en Zamorano. Proyecto Especial del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. 57 p.

García-Lara, S., C. Espinoza, D. Bergvinson. 2007. *Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control*. CIMMYT , México D.F. 65p.

ISTA (International Seed Testing Association, CH) 2010. *International Rules for Seed Testing* 2010 Edition. Bassersdorf, Suiza.s.p.

Kitinoja, L. y A. Kader. 1996. Manual de practicas de manejo postcosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala. Departamento de Pomología. University of California - Davis, Estados Unidos de America. 210 p.

Leesch J., R. Gillenwater y W. Ruel. 1979. Phosphine and methyl bromide fumigation of Shelled Peanuts. Peanut Science, v. 6, tomo 1, p. 18-26.

Lovato, A. y N. Balboni. 1997. Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize (*Zea mays*) seed viability and vigour. Seed Science & Technology. v. 27, p. 101-114.

Maguire, J. 1962. Speed of germination-Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Journal of crop science p. 176

Maree, P. 2008. Prediction of field emergence of maize (*Zea mays* L.) hibryds exposed to cold and wet *conditions*. Faculty of natural and agricultural sciences. University of Pretoria, Sudafrica. 156 p.

Mettananda, K., S. Weerasena y Y. Liyanage. 2001. Effect of storage environment, packing material and seed moisture content on storability of maize (*Zea mays* L.) seeds. Seed certification and plant protection centre. Peradeniya, Annals of the Sri Lanka Department of agriculture. v. 3, p. 131-142.

Pimentel, M., L. Faroni, M. Tolola y R. Guedes. 2007. Phosphine resistance, respiration rate and fitness consequences in stored-product insects. Pest Management Science v. 63 p. 876-881.

Rajendran S., K. Navasimhan 2000. The current status of phosphine fumigations in India. Proccedings of the 6<sup>th</sup> international Working Conference on stored- product Protection. Australia. p.148-152.

Reed, C. y H. Pan. 1999. Loss of phosphine from unsealed bins of wheat at six combinations of grain temperature and grain moisture content. Journal of Stored Products p. 263-279

Revilla, P., A. Butrón, R. Malvar y R. Ordás. 1999. Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. Crop Science journal 39, v.3, p.654-658.

Sauer D. 1992. Storage of cereal grains and their products. Edit. American Association of Cereal Chemist. Minnesota, Estados Unidos de America. 613p.

Semple, R. y G. Kirenga. 1994. Facilitating regional trade of agricultural commodities in Eastern, Central and Southern Africa. Code of practice for the fumigation of bagged maize, in stacks, under gas-proof sheets, to control the larger grain borer Edit. FAO. Roma, Italia, s.p.

USDA (Department of agriculture, US). 2006. Fumigation Handbook. Washington D.C., Estados Unidos de America. 67 p.

Vilela, R. y T. Fallieri. 1984. Efeito do expurgo com fosfina (gastoxin) sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho e sorgo. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 6, Tomo 2, p. 9-16

Warham, E., L. Butler y B. Sutton. 1996. Seed testing of maize and wheat a laboratory guide. CIMMYT, México. D.F. México. 181p.

Xianchang T. 1994. Evolution of phosphine from aluminium phosphide formulations at various temperatures and humidities: Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection Canberra, Australia. p. 201-20.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del fumigante utilizado en los tratamientos.

**DEGESCH DE CHILE LTDA.**  
**FICHA TECNICA**



	<p>Los locales vecinos a la fumigación deben ser clausurados. Dejar carteles de advertencia en el lugar de la fumigación, indicando la fecha de inicio y término de la fumigación. No permitir el ingreso de personas a los recintos mientras no se haya cumplido el tiempo de ventilación.</p>			
<b>ENVASES</b>	<p>RT-100 RT-333: Frascos de aluminio de 1 kilo T-480: Tubos de aluminio contenidos en tarro de hojelata. RT-4000: Bolsas de aluminio contenidas en balde de hojelata.</p>			
<b>DOSIS Y APLICACIONES RECOMENDADAS</b>				
Mercadería o lugar	Dosis (tabletas)	Tiempo exposición (días)	Ventilación mínima (horas)	Modo de aplicación
Productos a granel en almazón o silo	3 a 5 / ton	Mínimo 3 días	24 horas	Aplicar por medio de rondas y cubrir con lona hermética al gas, o al tranolite o lonar el silo incorporando las tabletas.
Pilas de grano ensacado, fardos de mercadería ensacada en depósito o bajo lona plástica impermeable al gas	2 a 5 / ton	3 a 5 días	6 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
Tabaco en fardos, cajas o barriles	0,5 a 1 / m <sup>3</sup>	4 a 6 días	48 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
Locales vacíos	1 a 2 / m <sup>3</sup>	2 a 4 días	6 a 24 horas	Para la fumigación de locales, fábricas y molinos colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos por piso de acuerdo al volumen y condiciones del lugar.
Semillas ensacadas, coladas en espeleros o bajo plástico impermeable	1 a 2 / m <sup>3</sup>	Mínimo 3 días	6 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
<p>- ACAROS: Aumentar la dosis en un 50% y el tiempo de exposición es de 5 días.</p>				
				

Vigencia: Octubre 2008

FT -DETIA GAS EX - T

2 de 2

DEGESCH DE CHILE LTDA.  
FICHA TECNICA



	<p>Los locales vecinos a la fumigación deben ser clausurados. Dejar carteles de advertencia en el lugar de la fumigación, indicando la fecha de inicio y término de la fumigación. No permitir el ingreso de personas a los recintos mientras no se haya cumplido el tiempo de ventilación.</p>			
ENVASES	<p>RT-100 RT-333: Frescos de aluminio de 1 kilo T-480: Tubos de aluminio contenidos en tarro de hojaleta. RT-4000: Bolsas de aluminio contenidas en balde de hojaleta.</p>			
<b>DOSIS Y APLICACIONES RECOMENDADAS</b>				
Mercadería o lugar	Dosis (tabletas)	Tiempo exposición (días)	Ventilación mínima (horas)	Modo de aplicación
Productos a granel en almacén o silo	3 a 5 / ton	Mínimo 3 días	24 horas	Aplicar por medio de sondas y cubrir con lona hermética al gas, o al transferir o lona el silo incorporar las tabletas
Pilas de grano ensacado. Estibas de mercadería envasada en depósito o bajo lona plástica impermeable al gas	2 a 5 / ton	3 a 5 días	6 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
Tabaco en fardos, cajas o barriles	0,5 a 1 / m <sup>3</sup>	4 a 6 días	48 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
Locales vacíos	1 a 2 / m <sup>3</sup>	2 a 4 días	6 a 24 horas	Para la fumigación de locales. Muebles y molinos colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos por paños de acuerdo al volumen y condiciones del lugar.
Semillas ensacadas, estibadas en depósitos o bajo plástico impermeable	1 a 2 / m <sup>3</sup>	Mínimo 3 días	6 a 72 horas	Colocar las tabletas separadas sobre cartones o bandejas de huevos alrededor o debajo de las pilas, dejar espacio amplio entre la lona y tabletas con el fin de facilitar la generación de gas. Hermétice la lona con el suelo.
<p>* ACAROS: Aumentar la dosis en un 50% y el tiempo de exposición es de 5 días.</p>				