

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

## FUMIGACIÓN DE SILO BOLSAS CON FOSFINA

Cardoso Leandro<sup>1</sup>; Bartosik Ricardo<sup>1</sup>; Milanesio David<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INTA EEA Balcarce (Buenos Aires), Argentina

<sup>2</sup> Alumno Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce, UNMdP (Buenos Aires), Argentina

### Resumen

En el año 2008 fueron almacenadas más de 33,0 millones de toneladas de grano en bolsas de plástico herméticas, llamadas silo bolsas. En general, cuando el grano recientemente cosechado se almacena en silo bolsas a campo, no se reportan problemas de infestación de insectos. Sin embargo, cuando la bolsa se llena con el grano procedente de otras instalaciones de acopio (silos y celdas), se observa a menudo un cierto grado de infestación de insectos. Cuando el grano infestado tiene bajo contenido de humedad, la velocidad de respiración es baja y también lo es el aumento de CO<sub>2</sub> en el silo bolsa. Bajo estas circunstancias, el efecto de la atmósfera modificada no produce control sobre la actividad de los insectos. El objetivo de este experimento fue desarrollar y probar una metodología adecuada para el control de insectos con fosfina durante el almacenamiento de granos en silo bolsa. La fumigación debe garantizar una concentración de 200 ppm de fosfina durante al menos 5 días. Se utilizaron 2 silo bolsas, con aproximadamente 200,0 toneladas de trigo seco cada uno, y un tercer silo bolsa se utilizó como testigo. El primer tratamiento consistió en la dosificación de 1 pastilla de fosforo de aluminio por metro cúbico (3,0 g/m<sup>3</sup> de fosforo de aluminio o 1,0 g/m<sup>3</sup> de fosfina) y el segundo tratamiento duplicó la dosis. Las pastillas de fosforo se aplicaron cada 5,0 m lineales a lo largo de la bolsa. Además, en diferentes lugares del silo bolsa se insertaron celdas que contenían insectos vivos (*Sitophilus oryzae*). La concentración de fosfina se midió diariamente en diferentes lugares del silo bolsa durante 10 días. Después del tratamiento, las celdas con los insectos fueron inspeccionados y se registró la mortalidad de los insectos.

Los principales resultados indicaron que el tratamiento con la concentración de fosfina más baja (1,0 g/m<sup>3</sup>) fue suficiente para alcanzar la concentración objetivo durante 5 días en la mayor parte del silo bolsa. El área cercana al cierre de la bolsa resultó con una concentración de fosfina más baja que la deseada, lo que indicó una falta de hermeticidad en ese sector. Las zonas más próximas a los puntos de aplicación de las pastillas de fosforo de aluminio resultaron con concentraciones de fosfina más altas que otras áreas. Sin embargo, el espaciamiento de los puntos de aplicación cada 5,0 m lo largo del silo bolsa resultó en una distribución eficiente del gas. La mortalidad de los insectos fue del 100,0% en ambos tratamientos, mientras que la mortalidad del control fue de entre 13,0% y 33,0%.

Palabras clave: fósforo de aluminio, seguimiento, control de insectos, de almacenamiento, de grano.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

## **Introducción**

El silo bolsa es un sistema de almacenaje temporario, ampliamente utilizado en Argentina para el almacenaje de diversos granos (trigo, soja, maíz, girasol, etc.). La evolución de la cantidad de grano almacenado en los silos bolsas indicó un rápido aumento desde el año 2000 (5,0 millones de toneladas) al 2005 (21,4 millones de toneladas), registrándose en la campaña 2007/2008 un máximo de 40,0 millones de toneladas (Casini, 2008).

Gran parte del grano que se almacena en silos bolsas pertenecen a los productores agrícolas. Sin embargo, los acopios e industria, que hace unos años almacenaban un 20,0% de su stock en silo bolsa, últimamente aumentaron vertiginosamente el acopio bajo este sistema (Vicini, 2006).

### ***Fuentes de infestación de insectos plaga de granos almacenados en silos bolsas***

Los productores generalmente almacenan el grano recientemente cosechado y la bolsa se ubica en el mismo establecimiento, por lo que el manipuleo del grano hasta el almacenaje es mínimo.

Algunos estudios indican que, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), no se detectó la presencia de insectos plagas en cultivos de maíz y trigo. Al mismo tiempo, estudios realizados en silos bolsas de soja (Ochandio, 2008) y trigo (PRECOP, no publicado), ubicadas en establecimientos rurales del sudeste de Buenos Aires, no detectaron la presencia de insectos plaga de granos almacenados. En cambio, investigaciones conducidas en la región centro - norte del país, donde se registra una mayor temperatura promedio anual, reportan la presencia de insectos plaga de granos almacenados en las últimas etapas del cultivo de trigo y maíz. Subramanyam y Hagstrum (1995) observaron que la infestación de insectos proveniente del cultivo suele ser baja, pero aumenta en función de la cercanía de acopios al lote del cultivo. Los insectos plaga presentes en los acopios reinfestan los cultivos cercanos aumentando la población de insectos. Los acopios y la industria suelen embolsar granos que reciben durante la época de cosecha. También es común que destinen al silo bolsa granos previamente almacenados en estructuras de almacenamiento tradicionales (silos y celdas) por un periodo más o menos prolongado de tiempo. En estas circunstancias, los granos tienen más probabilidades de ingresar infestados con insectos durante el almacenamiento. Por otro lado, cuando el grano se almacena en silos bolsas, es poco probable que ocurra una infestación de insectos durante el almacenamiento, ya que la bolsa es una barrera física efectiva para prevenir la infestación (Cardoso et al., 2007).

### ***Efecto de las condiciones de almacenamiento de silo bolsa sobre la mortalidad de insectos***

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

Numerosos autores (Rodríguez et al., 2005; Casini, 2009; Bartosik et al., 2008) citan al silo bolsa como un sistema de atmósfera modificada, donde los niveles de oxígeno (O<sub>2</sub>) del aire intergranario son en parte consumidos por la respiración aerobia de los microorganismos, grano e insectos, aumentando como consecuencia la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Bartosik et al. (2008) proponen que los niveles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> presentes en el silo bolsa dependerán de un equilibrio entre la actividad respiratoria del granel (consumo de O<sub>2</sub> y generación de CO<sub>2</sub>), la entrada de O<sub>2</sub> en la bolsa y la pérdida de CO<sub>2</sub> intersticial hacia el exterior, debido a la permeabilidad propia del plástico y a perforaciones producidas en el mismo.

El efecto letal sobre los insectos de una severa hipoxia (O<sub>2</sub> < 21,0%), anoxia o hipercarbia (CO<sub>2</sub> > 0,03%) está ampliamente probado (Bailey, 1965; Banks y Field, 1995). Sin embargo, el efecto combinado de una atmósfera con bajo O<sub>2</sub> y enriquecida con CO<sub>2</sub> (hipoxia e hipercarbia, respectivamente), como la obtenida en el silo bolsa, sigue siendo controversial. Annis y Morton (1996) indican que existe un efecto antagónico entre una baja concentración de O<sub>2</sub> y una elevada concentración de CO<sub>2</sub>, con una reducción en la mortalidad de los insectos cuando la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta. Sin embargo, la hipótesis más aceptada sostiene que existe un efecto sinérgico cuando se añade CO<sub>2</sub> a un entorno que posee una baja cantidad de O<sub>2</sub> (Calderón y Navarro, 1980; Donahaye et al., 1996). Aparentemente, este efecto podría ocurrir a niveles moderados de CO<sub>2</sub> (5,0% - 15,0%), pero no con mayores concentraciones de este gas (Mitcham et al., 2006).

La investigación realizada en Argentina acerca del control de insectos en silo bolsas se focalizaron principalmente en *Sitophilus oryzae*, considerada una plaga de gran importancia y una de las más tolerantes a la toxicidad de CO<sub>2</sub> (Annis, 1987; Bartosik et al., 2001). Los experimentos con maíz (Casini et al., 2009; Rodríguez et al., 2002 a, b), trigo, girasol (Rodríguez et al., 2002 c) y soja (Rodríguez et al., 2002 d) determinaron que un cambio moderado en la atmósfera intersticial (CO<sub>2</sub> < 10,0% y O<sub>2</sub> > 10,0%) por lo general permite la supervivencia de los insectos adultos entre 60 y 80 días. Cuando se crea una atmósfera rica en CO<sub>2</sub> (al menos 15,0%) y una baja cantidad de O<sub>2</sub> (< 5,0%) permite un control completo de los insectos adultos en menos de 1 mes de almacenaje. Sin embargo, un cambio severo en la atmósfera intersticial se asoció con una disminución de los parámetros de calidad del grano (poder germinativo, peso hectolítrico en trigo, acidificación del aceite en girasol, etc.) causada por una actividad biológica intensa, en particular de los hongos. Es por ello que las buenas prácticas de almacenamiento están diseñadas para minimizar el cambio en la atmósfera dentro del silo bolsa (por ejemplo, almacenamiento con humedad del grano por debajo de la tolerancia para comercialización), relegando así el efecto deletéreo una atmósfera modificada sobre los insectos.

Además de la composición de la atmósfera en el interior del silo bolsa, la temperatura del grano en la estación fría del año puede ser una limitante para el desarrollo de los insectos. La temperatura media del grano en el silo bolsa varía de acuerdo con la temperatura media mensual (Bartosik et al., 2009). Esto significa que con temperatura ambiente templada o fría, la temperatura del grano puede ser inferior a 15,0 °C (Cardoso et al.,

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

2009). En estas condiciones, el desarrollo de los insectos es lento (Burges y Burrell, 1964) o nulo (Banks y Fields, 1995). Sin embargo, la baja temperatura no es suficiente para lograr una mortalidad completa. Por otra parte, a partir de mediados de la primavera, durante el verano y la primera mitad del otoño, la temperatura del grano no sería un obstáculo para el desarrollo de los insectos.

#### ***Alternativas para el control de insectos en silo bolsas***

Basado en lo anterior, hay determinadas situaciones en la cual los insectos pueden sobrevivir en el silo bolsa: cuando son embolsados junto con el grano (por lo general cuando el grano proviene de otras estructuras de almacenamiento y, en menor medida, los insectos que vienen con el grano desde el campo) y las condiciones del almacenamiento no son restrictivas (insuficiente modificación de la atmósfera intersticial, almacenamiento durante periodos cortos de tiempo en la época cálida del año). Mientras que el daño directo causado por los insectos en el grano puede resultar insignificante en el silo bolsa, la presencia de insectos vivos es una limitante para la comercialización del grano. De acuerdo con las normas de comercialización de granos en Argentina, cada partida de grano que contenga insectos vivos debe ser rechazada para su comercialización (FAO, 2009).

Darby y Caddick (2007) señalan que el silo bolsa, debidamente llenado y cuidado, puede alcanzar un alto nivel de hermeticidad. Sobre esta base, el uso de fumigantes como la fosfina puede ser una alternativa adecuada para el control de insectos en silo bolsas. Considerado como uno de los mejores fumigantes en la actualidad (Cao y Wan, 2001), la fosfina tiene bajo costo, es fácil de usar, no deja residuos (Collins et al., 2001) y no afecta la germinación de semillas (Bond, 2007). Este fumigante se comercializa formulado como fosfuro de aluminio o magnesio, en forma de pastillas o tabletas que se distribuyen en el grano. El fosfuro reacciona con agua del aire para producir un gas fumigante, la fosfina. El número de días requeridos para la gasificación y control depende de la temperatura, la humedad, la marca fumigante (Banks, 1991), especie y población de insectos (Anon, 1998; Daghli et al., 2002). Es un veneno de acción lenta que es eficaz en concentraciones muy bajas, si el tiempo de exposición es suficiente. Por lo general, un mínimo de 4 o más días de exposición son necesarios para el control de insectos (Bond, 2007). Navarro y Noyes (2002) citan que es necesario que la concentración de gas se deba mantener por encima de 150 - 200 ppm durante 120 horas para lograr un efecto letal en todas las especies y estadíos de insectos plaga.

#### ***Objetivo General***

Determinar una metodología racional de fumigación con fosfina para el control de insectos en granos almacenados en silo bolsas herméticos.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

### ***Objetivos Específicos***

Determinar la cantidad de pastillas de fosfina adecuadas para lograr una concentración efectiva del gas que logre el control de huevos (200 ppm) durante todo el tiempo de exposición recomendado (5 días).

Determinar una metodología adecuada de colocación de las pastillas en la masa de granos para llegar a la concentración efectiva del gas de manera rápida y uniforme en la totalidad del silo bolsa.

Estudiar la dinámica de la concentración del gas fumigante durante el tratamiento (tiempo que se tarda en lograr la concentración adecuada, y como ésta va decayendo en el tiempo).

Determinar el nivel de control de insectos (mortalidad).

### **Materiales y métodos**

El ensayo se realizó en el establecimiento “El Monerío” ubicado en la ruta 226 sobre el km 97,0 en el partido de Balcarce, durante el mes de febrero de 2007.

Para la realización de este ensayo se seleccionaron 3 silo bolsas, con 200,0 toneladas cada uno, de trigo cosechado durante diciembre de 2006 y con similares contenidos de humedad (entre 12,8% y 13,4%). Se utilizaron 2 silo bolsas para los tratamientos de fumigación (3,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio y 6,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio), mientras que el tercero se utilizó como testigo.

### ***Cálculo de la dosis de aplicación***

Teniendo en cuenta un peso hectolítrico del grano de 750,0 kg/m<sup>3</sup>, el volumen total estimado de cada silo bolsa fue de 266 m<sup>3</sup> (200 toneladas/ 0,75 toneladas/m<sup>3</sup>).

**Silo bolsa A (menor dosis) =**

1 pastilla /m<sup>3</sup> (3,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio o 1,0 g/m<sup>3</sup> de fosfina)

Cantidad total de pastillas = 266 (798,0 g).

**Silo bolsa B (mayor dosis) =**

2 pastillas/m<sup>3</sup> (6,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio o 2,0 g/m<sup>3</sup> de fosfina)

Cantidad total de pastillas = 532 (1596,0 g).

### ***Metodología de aplicación***

Se decidió realizar una aplicación cada 5,0 m lineales de silo bolsa, poniendo en cada aplicación la cantidad correspondiente de pastillas para el volumen de grano que representa dicha distancia. La longitud total de la bolsa fue de 60,0 m, por lo que se determinaron 12 puntos de aplicación en la extensión total de la bolsa (12 puntos \* 5,0

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

m/punto = 60,0 m). Se midieron 2,5 m desde el extremo del silo bolsa para establecer el primer punto de aplicación. A partir de allí, se midieron 5,0 m para determinar la posición del segundo punto de aplicación, y así sucesivamente hasta llegar al otro extremo de la bolsa (Figura 1).

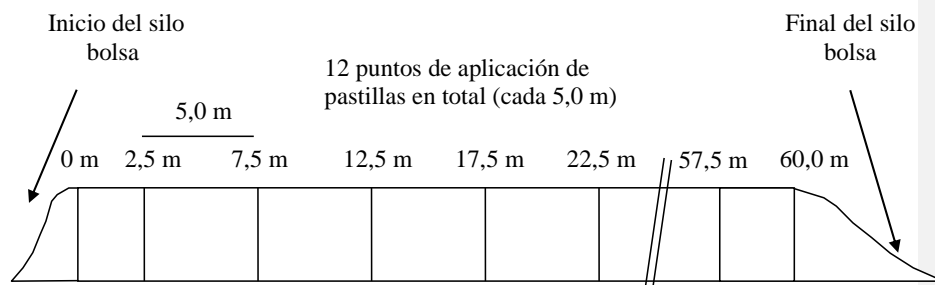


Figura 1. Detalle de los puntos de colocación de las pastillas de fosfina en silo bolsa de trigo.

La dosis a aplicar en cada punto de medición fue calculada como sigue:

**Silo bolsa A (menor dosis)** = 266 pastillas en 60,0 m

Cantidad de pastillas por punto de aplicación =  $266 \text{ pastillas} / 12 \text{ puntos de aplicación} = 22 \text{ pastillas/punto de aplicación}$

**Silo bolsa B (mayor dosis)** = 532 pastillas en 60,0 m

Cantidad de pastillas por punto de aplicación =  $532 \text{ pastillas} / 12 \text{ puntos de aplicación} = 44 \text{ pastillas/punto de aplicación}$

Las pastillas se insertaron dentro del silo bolsa por medio de un tubo plástico de 4,0 cm de diámetro. Luego de realizar un corte vertical de aproximadamente 6,0 cm sobre la pared lateral del silo bolsa, se introdujo el tubo plástico en forma diagonal hacia el centro de la masa de granos, hasta hacer contacto con el piso del silo bolsa (tomando la precaución de no sobrepasar el límite para no perforar la bolsa). Luego de insertar el tubo plástico se introdujeron en el mismo las pastillas de fosfina. En cada punto de aplicación se tomó la precaución de distribuir las pastillas en el perfil de la masa de granos. En caso de aplicar todas las pastillas agrupadas, en contacto entre ellas, durante la gasificación podría producirse una reacción exotérmica violenta. Esto se evitó al ir retirando paulatinamente el tubo plástico y mientras se dejada caer algunas pocas pastillas a través del mismo (aproximadamente 5 pastillas), permitiendo que cada grupo de pastillas quede cubierto con grano. También se controló que las pastillas no queden en contacto con la superficie de la bolsa, para evitar daños en el plástico durante la gasificación.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

### ***Medición de la concentración del fumigante***

La medición de la concentración del gas se realizó con una bomba manual y ampollas de vidrio con material sensible a la presencia del gas fumigante, el cual cambia de color (de blanco a marrón oscuro) en una escala graduada (Figura 2). La medición se realizó con frecuencia diaria desde el momento de la aplicación hasta que la concentración del gas cayó de 150 ppm.

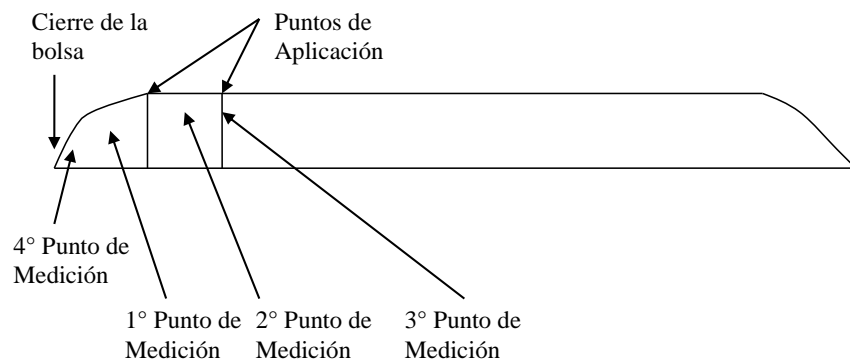


Figura 2. Medición de fosfina en silo bolsa por medio de tubo colorimétrico.

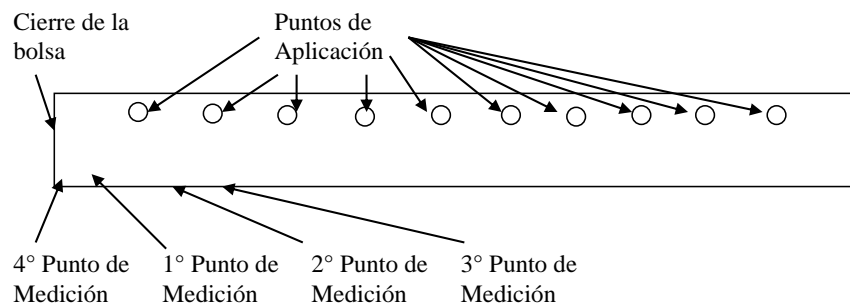
El éxito del tratamiento con fosfina de la bolsa depende de lograr mantener la concentración deseada (200 ppm) durante el tiempo de exposición mínimo (5 días) en toda la masa de granos. Para un silo bolsa sano, es decir sin roturas de importancia en su superficie, la zona más crítica sería el area cercana al cierre de la bolsa. Este sector es el menos confiable respecto del mantenimiento de la concentración del gas, debido a que en algunos casos las tareas del cierre y sellado de la bolsa son deficientes. El otro extremo, el comienzo de la bolsa, presenta por lo general menores problemas para mantener la hermeticidad, ya que el cierre queda aprisionado por la misma masa de granos. La medición del gas se realizó en el lado opuesto del silo bolsa a donde realizó la aplicación. De esta forma, los puntos de medición se establecieron en la zona del silo bolsa donde más tiempo demora en difundir el gas. La medición de la concentración se realizó en 4 lugares diferentes de cada bolsa tratada (Figura 3):

1. Cerca del extremo del cierre de la bolsa.
2. Entre los 2 primeros puntos de aplicación (cerca del extremo de cierre de la bolsa).
3. A la altura de uno de los puntos de aplicación.
4. En el extremo del cierre de la bolsa.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.



A. Vista lateral de la distribución de los puntos de aplicación y de medición en el silo bolsa



B. Vista en superficie de la distribución de los puntos de aplicación y de medición.

Figura 3. Esquema de los puntos de aplicación de las pastillas de fosfuro y los puntos medición de fosfina en los silo bolsas, en perspectiva lateral (A) y en superficie (B).

En simultáneo con las mediciones de concentración de fosfina se realizaron mediciones diarias de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la temperatura de la masa de granos.

### ***Mortalidad de los insectos***

Para evaluar el efecto de la concentración de fosfina lograda sobre los insectos se introdujeron en los silo bolsas celdas con insectos vivos. Luego de finalizado el ensayo se



Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

retiraron las celdas y se contaron los insectos muertos para determinar nivel de mortalidad o control. Para estar seguros que la mortalidad de los insectos fuera atribuida al efecto de la fosfina, y no a la concentración de CO<sub>2</sub>, se repitió el mismo experimento en la bolsa testigo.

La semana previa del ensayo se confeccionaron las celdas con insectos vivos. Cada celda fue armada con un tubo plástico de aproximadamente 15,0 cm de longitud. Los extremos del tubo fueron tapados con una malla fina de tul (Figura 4). Los tubos se llenaron con trigo, y en cada uno de ellos se pusieron 10 gorgojos vivos (*Sitophilus oryzae*).



Figura 4. Tubos con rellenos de trigo con 10 insectos vivos.

En el interior de un caño de diámetro ligeramente superior fueron colocados 3 de estos tubos (Figura 5). El caño se encontraba totalmente perforado para permitir el intercambio gaseoso con el interior de los tubos que contenían los insectos. Los caños fueron introducidos en los silo bolsas, en los mismos puntos donde se realizó la medición de la concentración de fosfina (Figura 3).

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.



Figura 5. Detalle de los caños que contenían los tubos con insectos en su interior. Se puede observar la perforación de los caños y el corte en el silo bolsa por donde se introdujeron los caños.

## Resultados y discusión

### *Concentración de fosfina*

La Figura 6 muestra la concentración de fosfina alcanzada en el silo bolsa tratado con la mayor dosis ( $6,0 \text{ g/m}^3$  de fosfuro de aluminio) desde el inicio del experimento (31 de enero) hasta 10 días después. En general, se pudo observar que el pico de concentración se produjo 1 o 2 días después de la aplicación. Se puede apreciar que la concentración de fosfina medida en el lado opuesto a los puntos de aplicación superó las 200 ppm durante un lapso de 6 días (llegando a un pico de 450 ppm el día 2 de febrero), cuando se midió frente a uno de los puntos de aplicación. Cuando la medición se realizó entre 2 puntos de aplicación la concentración de fosfina se mantuvo por encima de las 200 ppm solo

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

durante 4 días. La concentración objetivo no se alcanzó cerca del cierre de la bolsa. Las mediciones realizadas demostraron que se llega a las 200 ppm solo por 1 o 2 días, siendo esta combinación de concentración y tiempo de exposición insuficiente para lograr el control de los huevos de insectos. Como era de esperar, la medición de la concentración de fosfina sobre el mismo lado de la bolsa donde se realizó la aplicación de las pastillas fue mayor y se mantuvo por encima de las 200 ppm durante un periodo de tiempo más prolongado. En la misma figura (Figura 6) se puede observar que, luego de 7 días de iniciado el experimento, la concentración de fosfina en todos los puntos de medición estaba entre 400 y 450 ppm (aún en las mediciones cercanas al cierre de la bolsa). Al final del periodo de medición (10 de febrero) la concentración de fosfina estaba entre las 200 y 250 ppm.

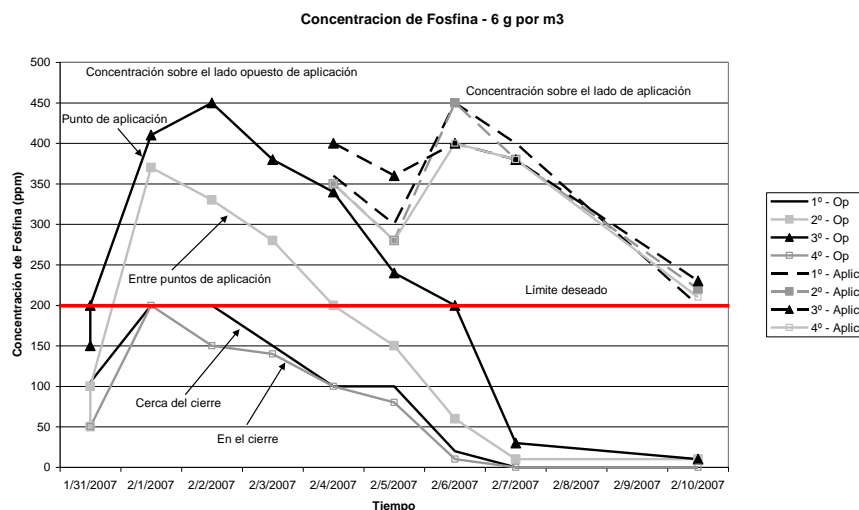
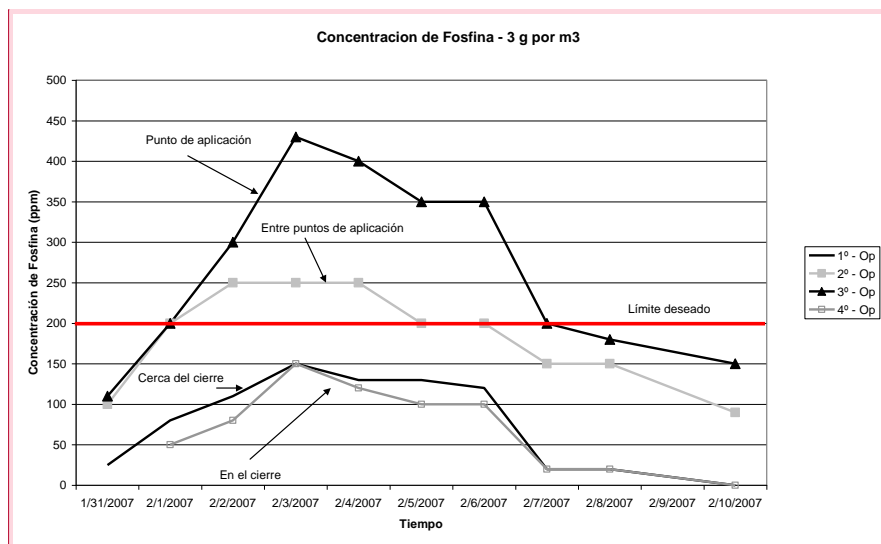


Figura 6. Cambio en la concentración de fosfina en los diferentes puntos de medición del silo bolsa a través del tiempo. Tratamiento: 6,0 g de fosfuro de aluminio por m<sup>3</sup>. Referencias: 1° = próximo al punto de aplicación; 2° = entre puntos de aplicación; 3° = cerca del cierre de la bolsa; 4° = en el cierre de la bolsa; Op. = medición sobre el lado opuesto a la aplicación; Aplic. = medición sobre el mismo lado de aplicación.

La Figura 7 muestra el cambio en la concentración de fosfina en la bolsa tratada con la menor dosis (silo bolsa A). En esta figura solo se graficó la concentración medida en el lado opuesto a la aplicación de las pastillas. De manera similar a lo observado en el experimento de mayor dosis, la concentración más alta se registró 3 días después de la aplicación. El punto de medición que registró mayor concentración de fosfina fue el próximo al punto de aplicación, donde se puede apreciar que la concentración se mantuvo por encima de las 200 ppm durante 6 días (del 1 al 7 de febrero). Cuando la medición se efectuó entre 2 puntos de aplicación, la concentración de fosfina alcanzó o estuvo por

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

encima de las 200 ppm durante 5 días (del 1 al 6 de febrero). Al igual que en el experimento de mayor dosis, la concentración de fosfina cerca del cierre del silo bolsa fue sustancialmente menor que en el resto de la bolsa, alcanzando un pico de 150 ppm al tercer día, para luego bajar de las 100 ppm al séptimo día.



**Comentado [L1]:** Concentración de fosfina 3 g/m<sup>3</sup>. Colocar punto en las referencias luego de la p de op.

Figura 7. Cambio en la concentración de fosfina en los diferentes puntos de medición del silo bolsa a través del tiempo. Tratamiento: 3,0 g de fosforo de aluminio por m<sup>3</sup>. Referencias: 1° = próximo al punto de aplicación; 2° = entre puntos de aplicación; 3° = cerca del cierre de la bolsa; 4° = en el cierre de la bolsa; Op. = medición sobre el lado opuesto a la aplicación.

Reed y Pan (2000) estudiaron la dinámica de fosfina en silos metálicos sellados (llenos de trigo y vacíos) y sin hermetizar (lleno de trigo), para diferentes condiciones de humedad y temperatura del grano. Bajo condiciones similares a los evaluados en este ensayo (13,2% de humedad y 25,0 °C), la concentración máxima de fosfina en el silo sellado fue de menos de 70,0% del potencial (o PT = potencial teórico de dosis aplicada de fosfina; 1,0 g/m<sup>3</sup> de fosfina aplicada es igual a 718 ppm), mientras que en el silo sellado sin grano estaban por encima de 90,0%. Esto indica que una proporción significativa de la fosfina es adsorbida por el grano. En el silo sin sellar, se alcanzó una concentración de 10,0% a 12,0% del PT.

El tratamiento de mayor dosis mostró una evolución del gas similar al silo sellado (máxima concentración de fosfina en 1 - 2 días). Sin embargo, los niveles máximos de fosfina alcanzados son bajos en comparación con el PT, tanto en la medición del punto de aplicación (31,0% de 1436 ppm aplicados (2,0 g/m<sup>3</sup>)) como entre 2 puntos de aplicación (26,0% de PT), con una disminución continua en los niveles de fosfina en los días subsiguientes. Por otro lado, los niveles máximos de fosfina medidos cerca del final del silo bolsa fueron 14,0% de PT, similar valor que para un silo no hermético. Esto indicó que el cierre de la bolsa utilizada en este tratamiento no tiene un alto nivel de

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

hermeticidad. Esto no solo se evidencia por los bajos niveles de fosfina obtenidos, sino también por la rápida disminución de la concentración del gas.

En el tratamiento de menor dosis, la concentración máxima en el punto de aplicación (60,0% de PT) y, en menor grado entre puntos de aplicación (35,0% de PT), son significativamente mejores. También se observó una mayor hermeticidad en el cierre de la bolsa (20,0% PT). En todos los puntos de medición la tasa de caída de fosfina fue más atenuada en el tiempo. Esto indica que, en general el Silo bolsa A presentó una mejor hermeticidad que el silo bolsa B.

En la Figura 7 se observa que la liberación de la mayor parte de la fosfina sólo se retrasó unos pocos días. La alta tasa de liberación de fosfina permitió que existan grandes diferencias de concentración a pocos metros de distancia (hay unos 4,0 metros desde el punto de aplicación hasta la distancia media entre los puntos de aplicación, del otro lado de la aplicación), produciendo una rápida propagación inicial. Sin embargo, existe una brecha entre el máximo de fosfina (y posterior caída) del punto más alejado de la aplicación (2 días) y el máximo de fosfina (y posterior caída) en el sitio de aplicación fosfina (5 días). Esto sugiere que la duración del tratamiento debería ser al menos 10 días de duración (5 para alcanzar la concentración máxima en todos los sectores y luego 5 días más para exponer una concentración de 200 ppm o mayor).

Las diferencias en la concentración de fosfina alcanzaron cerca del punto aplicación y en los puntos de aplicación (tanto en el lado opuesto de la aplicación de fosfina), son más grandes en el silo bolsa A (180 ppm). Esto puede indicar que en un silo bolsa con un buen grado de hermeticidad, la velocidad de difusión del gas se muestra como un factor limitante para alcanzar un PT homogéneo en toda la bolsa. Esta diferencia de concentración podría ser incluso mayor, si se establece una mayor distancia entre los puntos de aplicación.

De las figuras 7 y 8 se observó que la mayor parte de la masa de granos recibió la dosis objetivo (5 días a 200 ppm o más), en ambos silo bolsas. Esto indica la factibilidad de alcanzar hermeticidad en el silo bolsa. También se visualizaron diferencias de hermeticidad entre los 2 silo bolsas, especialmente debido a un sellado deficiente del sistema de cierre, que provocaron fugas del producto fumigante. Como en este caso, por lo general los silo bolsas se cierran plegando el plástico sobre sí mismo, y luego se cubre el extremo con tierra o cualquier objeto pesado. Una metodología más eficiente para el cierre de la bolsa (el termosellado, o un cierre entre 2 listones de madera clavado y enrollados) son más recomendables. Además de realizar un trabajo adecuado en el cierre de la bolsa, también se recomienda aumentar la dosis de fosfina en la zona cercana al extremo de la bolsa, para compensar cualquier posible pérdida de hermeticidad (por ejemplo, dosificar el doble o el triple de la concentración en los últimos 4,0 metros de silo bolsa).

Además, una reaplicación de la dosis en el cierre de la bolsa después de 3 días ayudaría a mantener una concentración eficaz.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

### ***Mortandad de los insectos***

La concentración de CO<sub>2</sub> de los silo bolsas durante los tratamientos estaba por debajo del 3,5% (promedio de 1,5% en el silo bolsa de A, 2,5% en el silo bolsa B y silo bolsa testigo), concentración claramente insuficiente para lograr, por sí misma, el control de insectos.

La Tabla 1 muestra los resultados del efecto de diferentes tratamientos con fosfuro de aluminio (3,0 g/m<sup>3</sup> y 6,0 g/m<sup>3</sup> y testigo) en la mortalidad de los insectos adultos. El estudio encontró que, incluso cuando en los extremos de cierre del silo bolsa no se alcanzó la concentración objetivo (200 ppm) durante el tiempo de exposición deseado (5 días), se logró controlar el 100,0% de los adultos, incluso en el tratamiento de la dosis más baja. A su vez, el silo bolsa testigo mostró un porcentaje de mortalidad de entre 13,0% - 33,0%. Esta mortalidad puede asociarse a condiciones de almacenamiento desfavorables, como la baja humedad relativa (humedad baja del grano en la bolsa) y alta fluctuación de la temperatura de la masa de grano, sobre todo en las capas superiores. Evans (1983) muestra el efecto combinado de temperatura y humedad relativa en la supervivencia de adultos de *S. oryzae*. Cuando fueron expuestos a una humedad relativa de 70,0% y 45,0%, con una temperatura de 30,0 °C, el tiempo de vida se redujo de 30 a 19 semanas, pero cuando la temperatura fue de 13,0 °C no se encontraron diferencias. Rodríguez et al. (2002 b), bajo similares condiciones (12,5% de humedad y alta temperatura del grano), observaron la mortalidad total de gorgojos adultos antes de los 45 días de almacenaje. El efecto letal de los bajos niveles de fosfina en el extremo de cierre de silo bolsa indicaría que el grado de resistencia en la población de insectos a la fosfina no fue alto. Nayak et al. (2003, 2007) señalan que con 200 ppm de fosfina se puede lograr el control de las poblaciones de adultos susceptibles en horas; incluso en poblaciones más resistentes (Australia) se requerirán 2 días. Cuando se trata de poblaciones con alta resistencia (China) pueden necesitarse tiempos de exposición más prolongados (16 días) a dicha concentración para lograr un control. Aunque sólo se evaluó la mortalidad de adultos, hay referencias que indican un control de todas las etapas de *S. oryzae* (incluidos los huevos y pupas), al ser expuestos a 200 ppm durante 5 días. Mills y Athie (2000), lograron un control similar con una dosis de 350 ppm en sólo 72 horas (temperatura de 25,0 °C y humedad relativa de 60,0%), lo que indicaría que con un tiempo de 120 h de exposición a una dosis más baja sería suficiente. Para controlar una población resistente requerirá aumentar la dosis de 600 a 700 ppm durante 5 días, o mantener la dosis objetivo durante al menos 7 días (Nayak et al., 2001), combinación que se logró sólo en algunas áreas de los silo bolsas tratados. Varios estudios sostienen que el incremento del CO<sub>2</sub> en el granel podría ser un beneficioso para el control con fosfina (Ren et al., 1994). Athie et al. (1998) informaron de que el CO<sub>2</sub> aumenta la toxicidad del fumigante en las poblaciones de varias especies de gorgojos resistentes a la fosfina. Kashi y Bond (1975) encontraron que la absorción de fosfina y la mortalidad de *Sitophilus granarius* y *Tribolium confusum* aumentó con una concentración de 4,0% de CO<sub>2</sub>. El efecto de bajas dosis de CO<sub>2</sub> aumenta el metabolismo

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

de los insectos. La respiración de los insectos puede aumentar en un 50,0% debido al incremento del nivel de CO<sub>2</sub> a 3,0%, o al 300,0% cuando la concentración de CO<sub>2</sub> se eleva a 5,0% (Mueller, 1994). Esto indicaría que, incluso cuando los silo bolsas tenían un bajo nivel de CO<sub>2</sub> (3,0%), cantidad que no puede causar la mortalidad por sí misma, esta podría potenciar el efecto letal de la fosfina. Esta situación implica que la fumigación de granos en silo bolsas tendría 2 beneficios potenciales: 1) la hermeticidad del sistema; 2) un efecto letal adicional de la fosfina, debido a la presencia de CO<sub>2</sub> en concentración de aproximadamente 3,0%.

Tabla 1. Mortandad de insectos en las celdas ubicadas a diferentes profundidades (superior, media e inferior) en 3 sitios diferentes del silo bolsa (cercano al punto de aplicación, entre 2 puntos de aplicación, y próximo al cierre de la bolsa) en el testigo y los tratamientos con 3,0 g/m<sup>3</sup> y 6,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio, a los 10 días de iniciado el experimento.

Tratamiento	Lugar	Profundidad	Repetición			Promedio (%)
			1(%)	2(%)	3(%)	
Testigo		Superior	20	10	40	23
		Media	20	20	60	33
		Inferior	20	20	0	13
3 gr / m <sup>3</sup> *	Punto aplicación	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100
	Entre puntos aplicación	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100
	Cierre de la bolsa	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100
6 gr / m <sup>3</sup> *	Punto aplicación	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100
	Entre puntos aplicación	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100
	Cierre de la bolsa	Superior	100	100	100	100
		Media	100	100	100	100
		Inferior	100	100	100	100

\* Las concentraciones de 3,0 g/m<sup>3</sup> y 6,0 g/m<sup>3</sup> de fosfuro de aluminio marca Phostoxin se corresponden a 1,0 g/m<sup>3</sup> y 2,0 g/m<sup>3</sup> de fosfina, respectivamente.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

## Conclusiones

- La concentración de fosfina en ambos tratamientos alcanzó o superó las 200 ppm en gran parte del silo bolsa, durante los 5 días requeridos para el control de huevos de la mayoría de los insectos plagas. Por lo tanto, se puede concluir que el tratamiento con  $3,0 \text{ g/m}^3$  de fosfuro de aluminio (266 pastillas en la totalidad de la bolsa) fue suficiente para lograr el objetivo propuesto.
- La zona cercana al cierre del silo bolsa presentó problemas de fuga de gas, impidiendo que la concentración de fosfina llegue a las 200 ppm y se mantenga en esos valores durante 5 días.
- Para asegurarse que la concentración de fosfina sea la adecuada en la totalidad de la bolsa resulta necesario extremar los cuidados en el cierre de la misma, y así lograr la mayor hermeticidad posible. A su vez, resultaría conveniente incrementar la dosis de producto en la zona de cierre del silo bolsa.
- La concentración de fosfina alcanzó mayores valores en las zonas cercanas a los puntos de aplicación. Sin embargo, una distribución de los puntos de aplicación de 5,0 m lineales a lo largo de la bolsa resultó eficiente, lográndose el pico de concentración en la zona más alejada (entre 2 puntos de aplicación y del lado opuesto de la bolsa) a los 3 - 4 días de iniciado el tratamiento. El tratamiento de control de insectos con fosfina debe, entonces, realizarse en un periodo de tiempo no inferior a los 9 días.
- La concentración de fosfina decae lentamente luego del cuarto día de la aplicación, registrándose valores de 150 ppm en algunas zonas del silo bolsa luego de 10 días de tratamiento. Por dichos motivos es importante recomendar que se tomen precauciones para manipular el grano en silo bolsas que han sido recientemente tratados con este producto.
- La mortalidad de insectos adultos fue del 100,0 %, aún en el silo bolsa tratado con la menor dosis ( $3,0 \text{ g/m}^3$  de fosfuro de aluminio), mientras que en la bolsa testigo (sin tratar) la mortalidad fue de 13,0% a 33,0%.

## Agradecimientos

Se agradece, a través del señor Enrique Villa y del Ing. Guillermo Romero, la cooperación de la empresa Fugran SA por la donación de la fosfina y el material de medición utilizado en este ensayo. Se agradece también a los dueños y administradores del establecimiento “El Monerío” de Balcarce, en especial al Ing. Lucas Kelly por facilitar las bolsas con trigo para la realización de este ensayo.

## Referencias



Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

Annis P.C. 1987. Towards rational controlled atmosphere dosage schedules: a review of current knowledge, pp. 128 - 148. En: Donahaye E. y Navarro S. (Eds.), Proceedings of the 4<sup>th</sup> international working conference on stored - products protection, Tel Aviv, Israel.

Annis P.C. y Morton R. 1996. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. *Journal of stored products research*, 33(2): 115 - 124.

Anon. 1998. Phytosanitary procedures. Phosphine fumigation of stored products to control stored - product insect pests in general. PM 3/18 (2) english. European and mediterranean plant protection organization, (EPPO), Paris, Francia, 4 p.

Athie I.; Gomes R.A.; Bolonhezi S.; Valentini S.R. y de Castro F.M. 1998. Effects of carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored - grain insects. *Journal of stored products research*, 34(1): 27 - 32.

Bailey S.W. 1965. Air - tight storage of grain; its effect on insect pests - IV *Rhyzopertha dominica* (F.) and some other Coleoptera that infest stored grain. *Journal of stored products research*, 1: 25 - 33.

Banks H.J. 1991. Influence of water and temperature on release of phosphine from aluminum phosphide - containing formulations. *Journal of stored products research*, 27: 41 - 56.

Banks H.D. y Fields P. 1995. Physical methods for insect control in stored ecosystems, pp. 353 - 409. En: Jayas D.; White N. y Muir W (Eds.), *Stored grain ecosystems*, Marcel Dekker Inc., Nueva York, EE.UU.

Bartosik R.; Rodríguez J. y Maier D.E. 2001. Effects of CO<sub>2</sub> dosage and exposure time on the mortality of adult and immature stages of *Sitophilus oryzae*. ASAE, N°: 01 - 6110, St. Joseph, Michigan.

Bartosik R.; Cardoso M.L. y Rodríguez J. 2008. Early detection of spoiled grain stored in hermetic plastic bags (silo - bags) using CO<sub>2</sub> monitoring, pp. 550 - 554. En: Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 21 - 26 de septiembre, Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu, China.

Bartosik R.; Rodríguez J.; Malinarich H y Cardoso L. 2009. Almacenaje de maíz, trigo, soja y girasol en bolsas plásticas herméticas, pp. 2 - 14. En: Casini C.; Rodríguez J.C. y Bartosik R. (Eds.), *Almacenamiento de granos en bolsas plásticas*, INTA Manfredi, Córdoba, 180 p.

Bogliaccini A. 2001. Almacenamiento hermético. Revista granos, año VI - N°XXVII. En: Rodríguez J. C.; Bartosik R.E. y Malinarich H.D. 2002. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: Sistema silobag, informe final de trigo. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmTrigo.pdf>. Accedido en julio del 2009.

Bond E.J. 2007. Manual of fumigation for insect control. FAO plant production and protection, Vol. 54. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5042e/x5042E00.htm>. Accedido en junio del 2009.

Burges H.D. y Burrell N.J. 1964. Cooling bulk grain in the British climate to control storage insects and to improve keeping quality. *J. sci. food agric.*, 15: 32 - 50.

Calderón M. y Navarro S. 1980. Synergistic effect of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> mixture on stored grain insects, pp. 79 - 84. En: Shejbal J. (Ed.), *Controlled atmosphere storage of grains*,

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

Elsevier, Amsterdam.

Cao Y. y Wan D. 2001. Relationship between phosphine resistance and narcotic knockdown in *Tribolium castaneum* (Herbst), *Sitophilus oryzae* (L.) and *S. zeamais* (Motsch.), pp. 609 - 616. En: Donahaye E.J.; Navarro S. y Leesch J.G. (Eds.), Proc. int. conf. controlled atmosphere and fumigation in stored products, Fresno. Executive printing services, Clovis, CA, EE.UU.

Cardoso L.; Bartosik R. y Rodriguez J. 2007. Monitoreo de la calidad de granos almacenados en silo - bolsa. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce>. Accedido en junio del 2009.

Cardoso L.; Bartosik R.; Rodriguez J. y Ochandio D. 2009. Factores que afectan la concentración de dióxido de carbono en el aire intersticial de soja almacenada en bolsas plásticas herméticas, pp. 41 - 46. En: Casini C.; Rodriguez J.C. y Bartosik R. (Eds.). Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. INTA Manfredi, Córdoba, 180 p.

Casini C. 2008. Las bolsas plásticas en la actual campaña. Disponible en: [www.agrofederal.com](http://www.agrofederal.com). Accedido en junio del 2009.

Casini C. 2009. Conservación de granos, almacenamiento en bolsas plásticas. *Revista agromercado*, 288: 4 - 6.

Casini C. y Santa Juliana D.M. 2009. Determinación del efecto de la humedad del maíz sobre la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, en bolsas plásticas, pp. 153 - 160. En: Casini C.; Rodriguez J.C. y Bartosik R. (Eds.). Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. INTA Manfredi, Córdoba, 180 p.

Collins P.J.; Daghli G.J.; Nayak M.K.; Ebert P.; Schlipalius D.; Chen W.; Pavic H.; Lambkin T.M.; Kopittke R.A. y Bridgeman B.W. 2001. Combating resistance to phosphine in Australia, pp. 593 - 607. En: Donahaye E.J.; Navarro S. y Leesch J. (Eds.), Proceedings of the international conference on controlled atmosphere and fumigation in stored products 2000, Fresno, CA, EE.UU.

Daghli G.J.; Collins P.J.; Pavic H. y Kopittke R.A. 2002. Effects of time and concentration on mortality of phosphine resistant *Sitophilus oryzae* (L) fumigated with phosphine. *Pest management science*, 58: 1015 - 1021.

Darby J.A. y Caddick L.P. 2007. Review of grain harvest bag technology under Australian conditions. Technical report N°: 105. CSIRO Entomology. Disponible en: <http://www.csiro.au/resources/HarvestBagReport.html>. Accedido en junio del 2009.

Donahaye E.; Navarro S.; Rinmdner M. y Azrieli A. 1996. The combined of temperature and modified atmospheres on *Tribolium castaneum*. *Journal of stored products research*, 32 (3): 225 - 232.

Evans D.E. 1983. The influence of the relative humidity and thermal acclimation on the survival of adult grain beetles in cooled grain. *Stored products research*, 19: 79 - 83.

FAO. 2009. Circular técnica N° 39 - Pérdidas, mermas y deterioros de los granos en la postcosecha. Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/x5408s/x5408s00.htm#Contents>. Accedido en junio del 2009.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

Kashi K.P. y Bond E.J. 1975. The toxic action of phosphine: role of carbon dioxide on the toxicity of phosphine to *Sitophilus granarius* (L.) and *Tribolium confusum* du Val. *Journal of stored products research*, 11: 9 - 15.

Mills K.A. y Athié I. 2000. Control of immature stages of phosphine susceptible and resistant strains of *Sitophilus oryzae* (L.), by phosphine fumigation. *Brazilian journal of food technology*, 3: 171 - 176.

Mitcham E.; Martin T. y Zhou S. 2006. Controlled atmosphere mode of action. Bulletin of entomological research. *Cambridge university press*, 96: 213 - 222.

Mueller D.K. 1994. A new method of using low levels of phosphine in combination with heat and carbon dioxide. *Fumigants and pheromones*, 33: 14.

Nayak M.K.; Collins P.J.; Pavic H. y Cao Y. 2003. Developments in phosphine resistance in China and possible implications for Australia, pp. 156 - 159. En: Wright E.J.; Webb M.C. y Highley E. (Eds.). *Stored grain in Australia 2003: Proceedings of the Australian postharvest technical conference*, 25 - 27 de junio, CSIRO Stored grain research laboratory, Canberra.

Nayak M.K.; Collins P.J. y Pavic H. 2007. Developing fumigation protocols to manage strongly phosphine - resistance rice weevils, *Sitophilus oryzae* (L.), pp. 267 - 273. En: Donahaye E.J.; Navarro S.; Bell C.; Jayas D.; Noyes R. y Phillips T.W. (Eds.), *Proc. int. conf. controlled atmosphere and fumigation in stored products*, 8 - 13 de agosto, Gold - Coast, Australia.

Navarro S. y Noyes R.T. 2001. *The mechanics and physics of modern grain aeration management*. CRC Press, Boca Ratón, 449 p.

Ochandio D.C. 2008. Factores que afectan la concentración de CO<sub>2</sub> en soja almacenada en bolsas plásticas herméticas. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP. Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 61 p.

Reed C. y Pan H. 2000. Loss of phosphine from unsealed bins of wheat at six combinations of grain temperature and grain moisture content. *Journal of stored products research*, 36: 263 - 279.

Ren Y.L.; O'Brien I.G. y Whittle C.P. 1994. Studies on the effect of carbon dioxide in insect treatment with phosphine, pp. 173 - 177. En: Highley E.; Wright E.J.; Banks H.J. y Champ B.R. (Eds.), *Stored product protection: Proceedings of the 6<sup>th</sup> international working conference on stored product protection*, 17 - 23 de abril, Canberra, Australia

Rodríguez J.; Bartosik R.E. y Malinarich H.D. 2002 a. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag, informe final de maíz. Disponible en:

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmMaiz.pdf>.

Accedido en junio del 2009.

Rodríguez J.C.; Bartosik R.E. y Malinarich H.D. 2002 b. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag, informe final de trigo. Disponible en:

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmTrigo.pdf>.

Accedido en junio del 2009.

Rodríguez J.C.; Bartosik R.E. y Malinarich H.D. 2002 c. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag, informe final de girasol. Disponible en:

<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmGirasol.pdf>.

Publicado en: Cardoso L.; Bartosik R. y Milanesio D. 2009. Phosphine concentration change during fumigation in hermetic plastic bags (silo - bags). En: Proceedings of the International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference, Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, 1 - 4 septiembre, Rosario, Argentina.

Accedido en junio del 2009.

Rodríguez J.C.; Bartosik R.E. y Malinarich H.D. 2002 d. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag, informe final de soja. Disponible en:  
<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmSoja.pdf>.

Accedido en junio del 2009.

Rodríguez J.C.; Bartosik R.E.; Malinarich H.; Exilart J. y Nolzco M. 2005. Almacenaje de soja y girasol en bolsas plásticas. Disponible en:  
<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/oleaginosa/varios01.pdf>. Accedido en junio del 2009.

Subramanyam B. y Hagstrum D.W. 1995. Integrated management of insects in stored products. CRC Press, Boca Ratón, pp. 92 - 94.

Taylor R.W.D. 1994. Methyl bromide - Is there any future for this noteworthy fumigant? *Journal of stored products research*, 30: 253 - 260.

Vicini L. 2006. Los silos bolsa en los acopios. Disponible en:  
[www.cosechaypostcosecha.org](http://www.cosechaypostcosecha.org). Accedido en julio del 2009.