

Título:

Fumigación de Bolsas Plásticas con Fosfina

(Informe de Actividades)

De: Ing. Ricardo Bartosik

EEA INTA Balcarce

Grupo de Postcosecha de Granos

Te: 02266-43-9100

e-mail: rbartosik@balcarce.inta.gov.ar

Dirección: ruta 226 km 73,5 (7620)

Balcarce

Para: Ing. Guillermo Romero

Fugran SA

Te: 03476-49-5284

e-mail: garomero@fugranarg.com.ar

Fecha: 9 de Abril de 2007

Resumen Ejecutivo

Tradicionalmente, el almacenamiento de granos en bolsas plásticas se realizó embolsando granos frescos provenientes del campo, por lo que los problemas de desarrollo de insectos en el interior de las bolsas plásticas no resultaba un problema de importancia. Sin embargo, al difundirse este sistema de almacenamiento entre los acopios y la industria aparecieron nuevos desafíos. Estos suelen embolsar granos que fueron recibidos y en muchos casos almacenados en estructuras de almacenamiento tradicionales por un periodo más o menos prolongado de tiempo. Debido a estas circunstancias los granos suelen estar infestados con insectos al momento de realizar el embolsado.

La fumigación con fosfina constituye una alternativa válida para el control de insectos en granos almacenados en bolsas plásticas. Uno de los aspectos claves para una fumigación exitosa es lograr la concentración deseada durante un determinado tiempo de exposición. La hermeticidad del sistema de almacenamiento en bolsas plásticas garantiza que las pérdidas del gas fumigantes sean mínimas durante la duración del tratamiento, lo que permitiría realizar un trabajo de fumigación eficiente.

El objetivo general de este experimento fue determinar una metodología racional de fumigación con fosfina para el control de insectos en granos almacenados en bolsas plásticas herméticas.

Los objetivos específicos fueron: 1) determinar la cantidad de pastillas de fosfina adecuadas para lograr una concentración efectiva del gas para el control de huevos (200 ppm) durante todo el tiempo de exposición recomendado (5 días); 2) 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 de la bolsa; 3) estudiar la dinámica de la concentración del gas fumigante durante el tratamiento (tiempo que se tarda en lograr la concentración adecuada, y como esta va decayendo en el tiempo); y 4) determinar el nivel de control de insectos adultos (mortalidad).

Durante los meses de enero y febrero de 2007 en dos bolsas de trigo de 200 t de capacidad cada una, se introdujeron pastillas de fosfina marca Phostoxin en concentraciones de 3 y 6 gr/m³ de fosforo de aluminio (266 y 532 pastillas de Phostoxin, respectivamente, o 1 y 2 gr/m³ de fosfina, respectivamente). La aplicación de las pastillas se realizó cada 5 m lineales de la bolsa. La concentración de fosfina se midió diariamente en diferentes puntos de la bolsa durante los diez días posteriores al ensayo (haciendo hincapié en la zona de cierre de la bolsa). Además de la medición de la concentración del fumigante en la bolsa también se evaluó el efecto de los tratamientos sobre la mortalidad de insectos adultos (*Sitophilus orizae*), mediante la introducción de celdas con insectos vivos en el interior de las bolsas. Una tercera bolsa sin tratamiento con fosfina fue utilizada como testigo.

Las conclusiones de este trabajo fueron las siguientes: 1) La concentración de fosfina en ambos experimentos alcanzó o superó las 200 ppm en gran parte de la 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 gr/m³ de fosforo de aluminio (266 pastillas en la totalidad de la bolsa) fue suficiente para lograr el objetivo propuesto; 2) la zona cercana al cierre de la 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; 3) 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 para lograr la mayor hermeticidad posible. A su vez, resultaría conveniente incrementar la dosis de producto en la zona de cierre de la bolsa; 4) 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 m lineales a lo largo de la bolsa resultó eficiente, lográndose el pico de concentración en la zona más alejada (entre dos puntos de aplicación y del lado opuesto de la bolsa) a los tres-cuatro días de iniciado el tratamiento. El tratamiento de control de insectos con fosfina debe entonces realizarse en un período de tiempo no inferior a los 9 días; 5) la concentración de fosfina decae lentamente luego del cuarto día de la aplicación, registrándose valores de 150 ppm en algunas zonas de la bolsa luego de 10 días de tratamiento. Por dichos motivos es importante recomendar que se tomen precauciones para manipular el grano en bolsas que han sido recientemente tratadas con este producto; y 6) la mortalidad de insectos adultos fue del 100%, aún en la bolsa tratada con la menor dosis (3 gr/m³ de fosfuro de aluminio), mientras que en la bolsa testigo (sin tratar) la mortalidad fue solo de 13 a 33%.

Fumigación de Bolsas Plásticas con Fosfina

Introducción

Tradicionalmente, el almacenamiento de granos en bolsas plásticas se realizó embolsando granos frescos provenientes del campo, por lo que los problemas de desarrollo de insectos en el interior de las bolsas plásticas no resultaba un problema de importancia. Los insectos plagas de los granos almacenados no encuentran condiciones favorables para su desarrollo cuando el cultivo está en pie, por lo que el nivel de infestación de los cultivos recientemente cosechados es muy bajo. Por otra parte la bolsa constituye una barrera física contra la entrada de insectos. Por lo tanto, cuando se embolsan granos libres de insectos, si la bolsa no se rompe, los granos almacenados en bolsas plásticas herméticas no sufren niveles importantes de infestación durante el almacenamiento.

Investigaciones realizadas en los Estados Unidos demuestran que la infestación se produce a partir de insectos sobrevivientes en residuos de granos remanentes de la cosecha anterior en el interior del silo. Otra fuente de infestación es la migración de los insectos, provenientes de otros silos o sobrevivientes en granos residuales en los alrededores del acopio, hacia el interior del silo. La tercera fuente de infestación es la contaminación del grano fresco durante alguna etapa desde la cosecha hasta el almacenamiento definitivo, por causa de insectos sobrevivientes en residuos de granos (grano residual en la cosechadora, en la boquilla de los camiones de transporte, en el poso de noria, etc).

En los últimos años la tecnología del almacenamiento de granos en bolsas plásticas excedió el ámbito del productor, siendo en la actualidad ampliamente utilizada como parte integral de su estructura de manejo de granos por acopiadores y la industria. Los acopios y la industria suelen embolsar granos que fueron recibidos y en muchos casos almacenados en estructuras de almacenamiento tradicionales por un periodo más o menos prolongado de tiempo. Debido a estas circunstancias los granos suelen estar infestados con insectos al momento de realizar el embolsado.

El almacenamiento de granos en bolsas plásticas se considera un sistema hermético. Los granos confinados en un ambiente hermético respiran, consumiendo O₂ y generando CO₂. Por este motivo al sistema de almacenamiento en bolsas plásticas también se lo considera como un sistema de almacenamiento con atmósferas bio-modificadas.

El nivel de actividad biológica en el interior de la bolsa determina el nivel de modificación de la atmósfera. Los factores que más afectan la respiración de los granos son humedad, temperatura y porcentaje de granos dañados. Los granos húmedos respiran más que los granos secos, los granos con temperatura entre 18°C y 30°C respiran más que los granos por debajo de 18°C, y los granos con alto porcentaje de granos partidos respiran más que los granos sanos o enteros.

En un estudio realizado en la EEA INTA Balcarce durante el invierno-primavera de 2006 se ha determinado que cuando los granos de trigo y soja son almacenados a humedad de recibo o menor, la actividad biológica en la bolsa es baja, generándose atmósferas levemente modificadas (entre 1,5 a 4% de CO₂). Los estudios de control de

insectos con atmósferas modificadas indican que para lograr un nivel efectivo de control se requieren una concentración de por lo menos 20% de CO₂ durante un tiempo de exposición de 2 a 4 semanas. A concentraciones mayores de 20% el tiempo de exposición necesario para lograr un control efectivo es menor. A concentraciones menores de 20% no se logra controlar los insectos, aunque se pueden esperar ciertos efectos de disminución de la capacidad de desarrollo de los mismos. En consecuencia, si se embolsa grano seco con cierto nivel de infestación de insectos, la concentración de CO₂ que se genera dentro de la bolsa no es suficiente para su efectivo control.

La fumigación con fosfina constituye una alternativa válida para el control de insectos en granos almacenados en bolsas plásticas. Uno de los aspectos claves para una fumigación exitosa es lograr la concentración deseada durante un determinado tiempo de exposición. La hermeticidad del sistema de almacenamiento en bolsas plásticas garantiza que las pérdidas del gas fumigantes sean mínimas durante la duración del tratamiento, lo que permitiría realizar un trabajo de fumigación eficiente.

Objetivo General:

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

Objetivos Específicos:

- Determinar la cantidad de pastillas de fosfina adecuadas para lograr una concentración efectiva del gas para 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 de la bolsa.
- Estudiar la dinámica de la concentración del gas fumigante durante el tratamiento (tiempo que se tarda en lograr la concentración adecuada, y como esta va decayendo en el tiempo).
- Determinar el nivel de control de insectos (mortalidad).

Descripción del Ensayo

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

Para la realización de este ensayo se seleccionaron tres silo-bolsas llenos de 200 t de trigo cosechado durante diciembre de 2006 a similares contenidos de humedad (entre 12,8 y 13,4%). El bajo contenido de humedad del grano dentro de los silo-bolsas garantizó una bajo nivel de CO₂ dentro de la bolsa (menos de 3%), de esta manera se evitó que la concentración de CO₂ tuviera un efecto en la mortalidad de los insectos.

Dos silo-bolsas se utilizaron para los tratamientos de fumigación (3 gr/m³ de fosfuro de aluminio y 6 gr/m³ de fosfuro de aluminio), mientras que el tercero se utilizó como testigo.

Cálculo de la Dosis de Aplicación:

Teniendo en cuenta un peso hectolítrico de 750 kg/m³ de grano, el volumen total estimado fue de 266 m³ (200 t / 0,75 t/m³).

- A. (menor dosis) – 1 pastilla por m³ (3 grs / m³ de fosfuro de aluminio o 1 gr / m³ de fosfina) - Cantidad total de pastillas = 266 (798 gr)
- B. (mayor dosis) – 2 pastilla por m³ (6 grs / m³ de fosfuro de aluminio o 2 gr / m³ de fosfina) - Cantidad total de pastillas = 532 (1596 gr)

Metodología de Aplicación

Se decidió realizar una aplicación cada 5 m lineales de 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 m, por lo que se determinaron 12 puntos de aplicación en la extensión total de la bolsa (12 x 5 = 60). Para ello se midió 2,5 m desde el extremo de la bolsa, constituyendo este punto el primer punto de aplicación. A partir de allí se midió 5 m para determinar la posición del segundo punto de aplicación, y así sucesivamente hasta llegar al otro extremo de la bolsa (Figura 1). De esta manera, la mayor distancia que tuvo que difundir el gas dentro de la bolsa desde su punto de aplicación fue de 2,5 m.

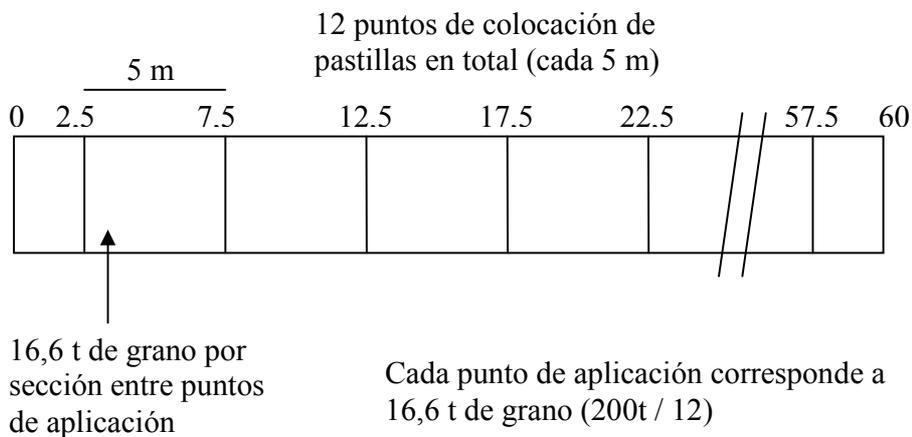


Figura 1. Detalle de los puntos de colocación de las pastillas de fosfina en la bolsa de trigo.

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

- A. (menor dosis) – 266 pastillas en 60 m - Cantidad de pastillas por punto de aplicación = $266 / 12 = 22$ pastillas
- B. (mayor dosis) – 532 pastillas en 60 m - Cantidad de pastillas por punto de aplicación = $532 / 12 = 44$ pastillas

Las pastillas se insertaron dentro del silo-bolsa con un tubo plástico de 40 mm de diámetro. Luego de realizar un corte vertical de aproximadamente 60 mm sobre la pared lateral del silo-bolsa se introdujo el tubo plástico en forma diagonal hacia el centro de la

masa de granos y hasta hacer contacto con el piso de la bolsa (tomando la precaución de no sobrepasa el límite para no perforar la bolsa). Luego de insertar el tubo plástico se introdujeron en el mismo las pastillas de fosfina. Se tomó la precaución de colocar las pastillas de fosfina en todo el perfil de la masa de granos en cada punto de aplicación. Esto se hizo para evitar una reacción exotérmica violenta al dejar todas las pastillas juntas en contacto entre ellas. Esto se logró al retirar levemente el tubo plástico luego de dejar caer algunas pocas pastillas en el mismo (aproximadamente 5 pastillas), permitiendo que ese grupo de pastillas quede cubierto con grano. También se evito que las pastillas queden en contacto con la superficie de la bolsa, para evitar daños en el plástico con motivo de la reacción exotérmica de las pastillas al liberar el gas.

Medición de la Concentración de 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 las 150 ppm.

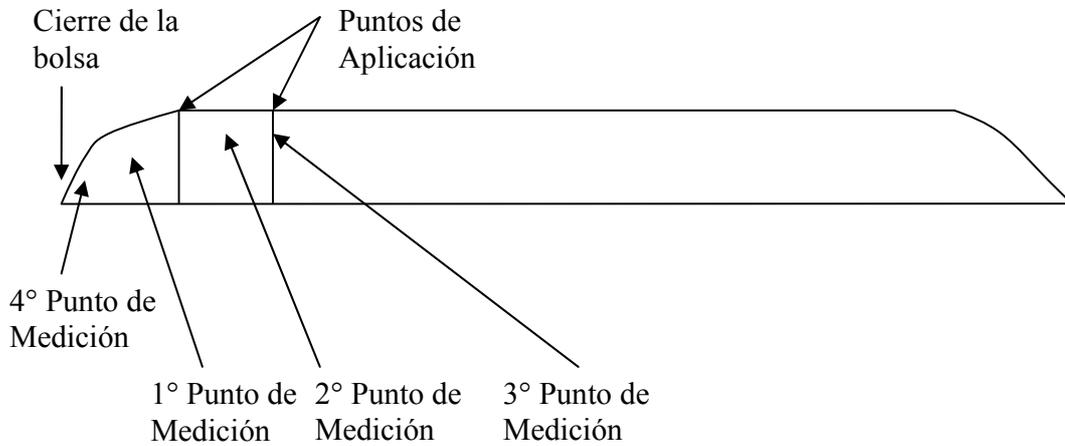


Figura 2. Detalle de una ampolla de medición donde se observa la marca de 200 ppm de concentración de fosfina.

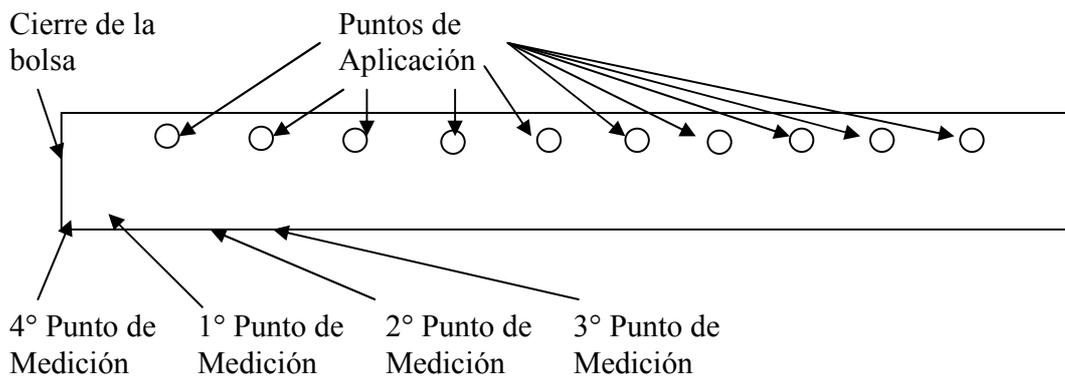
El éxito del tratamiento con fosfina de la bolsa depende de lograr mantener la concentración deseada (200 ppm) durante el tiempo de exposición mínimo (5 días) en toda la masa de granos. En una bolsa sana, es decir sin roturas de importancia en su superficie, se determinó que la zona más crítica sería la zona cercana al cierre de la bolsa. Esta zona sería la que menor grado de hermeticidad podría llegar a tener, debido a deficientes técnicas de cerrado de la bolsa. El otro extremo, el comienzo de la bolsa, presenta por lo general menores problemas para mantener la hermeticidad, ya que el cierre queda tapado y aprisionado por la misma masa de granos. La medición del gas se realizó en el lado opuesto de la bolsa al que se realizó la aplicación de las pastillas de fosfina, para asegurarse que la medición se realizó en la zona que más tardaría el gas en difundir. La medición de la concentración se realizó en cuatro lugares diferentes de cada bolsa tratada (Figura 3):

1. Cerca del extremo del cierre de la bolsa.
2. Entre los dos primeros puntos de aplicación (cerca del extremo de cierre de la bolsa).

3. Sobre uno de los puntos de aplicación.
4. En el extremo del cierre de la bolsa.



A. Vista lateral de la distribución de los puntos de aplicación y de medición



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 fosfina y los puntos medición del gas en las bolsas en perspectiva lateral (A) y en superficie (B).

En simultáneo con las mediciones de concentración de fosfina se realizaron mediciones de concentración de CO₂ y de la temperatura de la masa de granos durante la duración del ensayo.

Mortalidad de Insectos

Para evaluar el efecto de la concentración de fosfina lograda en el interior de las bolsas sobre los insectos se introdujeron en las bolsas celdas con insectos vivos. Luego de finalizado el ensayo se 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 CO₂, también 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 150 mm 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 orizae*).



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

Tres de estos tubos fueron colocados en el interior de un caño de diámetro ligeramente superior (Figura 5). El caño se encontraba totalmente perforado para permitir el paso del gas hacia el interior de los tubos conteniendo los insectos. Los caños conteniendo los tubos con insectos vivos fueron introducidos en las bolsas plásticas en los mismos puntos donde se realizó la medición de la concentración de fosfina (Figura 3).



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

Resultados

Concentración de Fosfina

La Figura 6 muestra la concentración de fosfina alcanzada en la bolsa tratada con la mayor dosis (6 gr/m³ 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 produce uno o dos días después al de aplicación. Se puede apreciar que la concentración de fosfina medida en el lado opuesto al de aplicación superó las 200 ppm durante 6 días (llegando a un pico de 450 ppm el día 2 de febrero) cuando se midió sobre uno de los puntos de aplicación, mientras que la medición entre dos puntos de aplicación se mantuvo por encima de las 200 ppm solo 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 un o dos días, siendo esta combinación de concentración y tiempo de exposición insuficiente para lograr el control de huevos de insectos. Como era de esperar, la medición de la concentración 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 período 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 (aun en las mediciones cercanas al cierre de la bolsa). Al final del período de medición (10 de febrero) la concentración de fosfina estaba entre las 200 y 250 ppm.

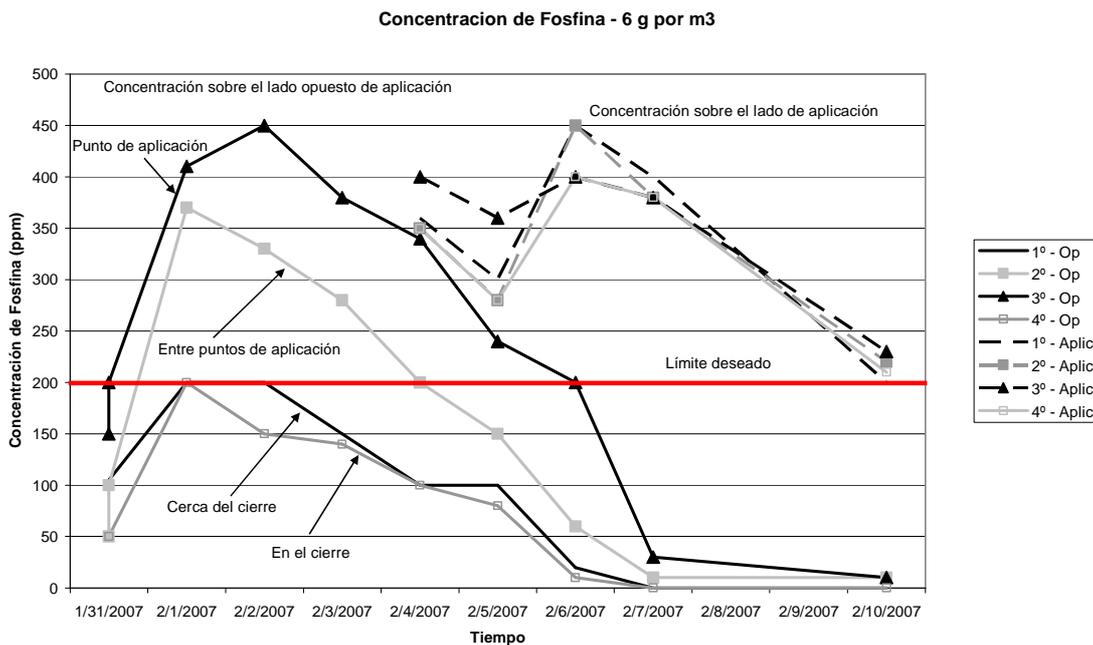


Figura 6. Cambio en la concentración de fosfina en los diferentes puntos de medición de la bolsa a través del tiempo. Tratamiento: 6 gr de fosfuro de aluminio por m3. Referencias: 1° = próximo al punto de aplicación; 2° = entre puntos de aplicación; 3° = cerca del cierre de la bolsa; 4° = en el cierre 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 dosis menor (3 gr/m3 de fosfuro de aluminio). 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 tres 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 de febrero al 7 de febrero). Cuando la medición se efectuó entre dos puntos de aplicación, la concentración de fosfina alcanzó o estuvo por encima de las 200 ppm durante 5 días (1 de febrero al 6 de febrero). Al igual que en el experimento de mayor dosis la concentración de fosfina cerca del cierre de la bolsa fue sustancialmente menor que en el resto de la

bolsa (alcanzando un pico de 150 ppm al tercer día, el cual bajo de las 100 ppm el séptimo día).

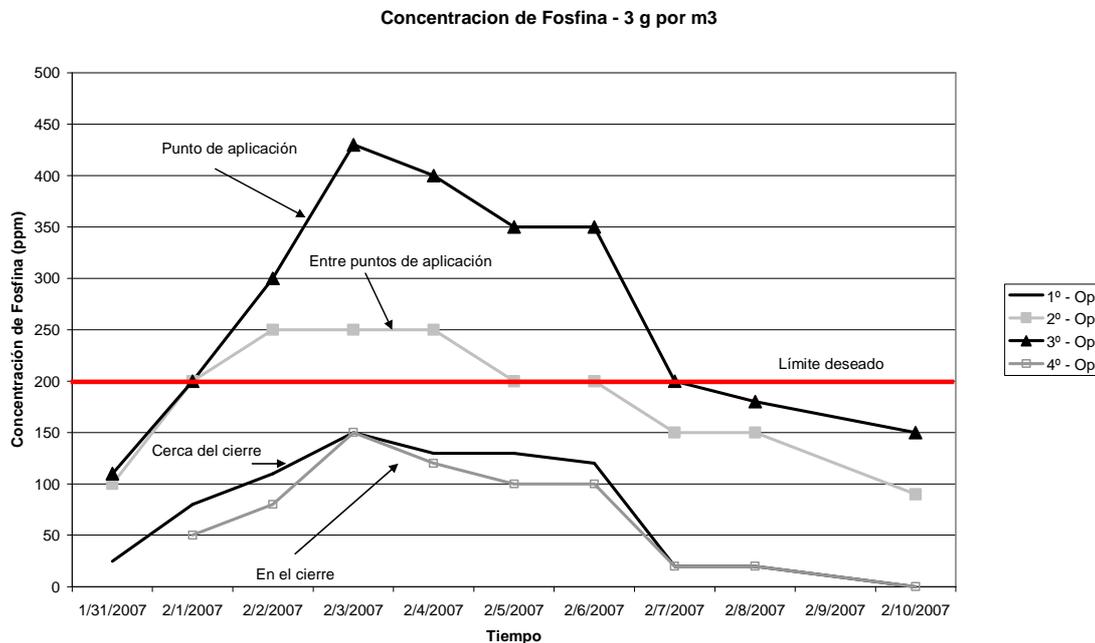


Figura 7. Cambio en la concentración de fosfina en los diferentes puntos de medición de la bolsa a través del tiempo. Tratamiento: 3 gr de fosfuro de aluminio por m3. Referencias: 1° = próximo al punto de aplicación; 2° = entre puntos de aplicación; 3° = cerca del cierre de la bolsa; 4° = en el cierre de la bolsa; Op. = medición sobre el lado opuesto a la aplicación.

De las Figuras 6 y 7 se pudo observar que la mayor parte de la masa de granos recibió el tratamiento deseado (5 días a 200 ppm o más), lo cual aseguró el control de los insectos adultos y de los huevos. Esto se debe a que la hermeticidad de la bolsa crea condiciones adecuadas para la fumigación del grano con fosfina. Sin embargo, en la zona próxima al cierre de la bolsa la concentración del gas fue inferior a la deseada. Esto se debe a deficiencias en el sistema de cerrado de las mismas, lo cual crea deficiencias en la hermeticidad del sistema causando la fuga del producto fumigante. La mayoría de las veces las bolsas se cierran plegando el plástico sobre si mismo, doblándolo hacia arriba y echándole tierra o algún objeto pesado (hierros o cubiertas en desuso). En este sentido se recomienda prestar especial atención a las operaciones de cierre de la bolsa. Conviene sellar el extremo con la máquina de termo-sellado. Otra posibilidad es sellar el extremo haciendo un cierre entre dos listones de madera clavados y enrollados. Además de realizar una adecuada tarea en el cierre de la bolsa, se recomienda también incrementar la dosis en la zona del cierre para compensar por alguna posible pérdida de hermeticidad (por ejemplo aplicar el doble o triple de concentración de pastillas en los últimos 4 m de la bolsa).

Respecto de la dinámica de la concentración del gas dentro de la bolsa, se pudo observar que el pico de concentración en el lugar más lejano al punto de aplicación (aproximadamente 4 m) se produjo a los 3-4 días del momento de la aplicación (mayor a 400 ppm en ambos tratamientos). A partir de ese momento la concentración comienza a bajar lentamente durante los restantes 7 días, siendo la concentración en algunos lugares de la bolsa de 150 ppm al finalizar el tratamiento. De esto se desprende que a duración del tratamiento debe ser de por lo menos 9 días de duración (4 para lograr la concentración máxima, y luego 5 días más para exponer los huevos a una concentración de 200 ppm o mayor). Además, conviene advertir que 10 días después del momento de aplicación la concentración en la mayor parte de la bolsa fue de 150 ppm o mayor (en ambos tratamientos), por lo que se debe recomendar extremos cuidados respecto de la extracción de granos en los días próximos al tratamiento.

Mortandad de Insectos

La Tabla 1 muestra los resultados del efecto los diferentes tratamientos de control con fosforo de aluminio (3 y 6 gr/m³) y el testigo sobre la mortalidad de los insectos adultos. En base a los resultados obtenidos se puede apreciar que hubo un número de insectos en el testigo que resultaron muertos por condiciones ajenas a los tratamientos a evaluar (muerte natural por envejecimiento, efecto de la modificación de gases en la bolsa, cambios de temperatura, etc). La proporción de muertes atribuida a estos efectos fue de 13 a 33% de la población. El estudio reveló que aunque en los extremos de cierre de la bolsa no se alcanzó la concentración deseada (200 ppm) durante el tiempo de exposición deseado (5 días), las concentraciones alcanzadas fueron suficientes como para controlar el 100% de los adultos, aún en el tratamiento de menor dosis y en la ubicación cercana al cierre de la bolsa.

Tabla 1. Mortandad de insectos en las celdas ubicadas a diferentes profundidades (superior, media e inferior) en tres sitios diferentes de la bolsa (cercano al punto de aplicación, entre dos puntos de aplicación, y próximo al cierre de la bolsa) en el testigo y los tratamientos con 3 y 6 gr / m³ 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 ³ * | 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 ³ * | 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 y 6 gr/ m³ de fosfuro de aluminio marca Phostoxin se corresponden a 1 y 2 gr / m³ de fosfina, respectivamente.

Conclusiones

- La concentración de fosfina en ambos experimentos alcanzó o superó las 200 ppm en gran parte de la 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 gr/m³ de fosfuro de aluminio (266 pastillas en la totalidad de la bolsa) fue suficiente para lograr el objetivo propuesto.
- La zona cercana al cierre de la 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 para lograr la mayor hermeticidad posible. A su vez, resultaría conveniente incrementar la dosis de producto en la zona de cierre de la 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 m lineales a lo largo de la bolsa resultó eficiente, lográndose el pico de concentración en la zona más alejada (entre dos puntos de aplicación y del lado opuesto de la bolsa) a los tres-cuatro días de iniciado el tratamiento. El tratamiento de control de insectos con fosfina debe entonces realizarse en un período 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 de la bolsa luego de 10 días de tratamiento. Por dichos motivos es importante recomendar que se tomen precauciones para manipular el grano en bolsas que han sido recientemente tratadas con este producto.
- La mortalidad de insectos adultos fue del 100%, aún en la bolsa tratada con la menor dosis (3 gr/m³ de fosfuro de aluminio), mientras que en la bolsa testigo (sin tratar) la mortalidad fue solo de 13 a 33%.

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.