



www.ozona.com.ar

Características de eficacia y fumigación del ozono **En maíz almacenado**

Stephen A. Kellsa, Linda J. Masona, Dirk E. Maierb, Charles P. Woloshukc, * Departamento de Entomología, Universidad de Purdue, 1158 Lilly Hall, West Lafayette, IN 47907, EE.UU.

b

Departamento de Ingeniería Agrícola y Biológica, Universidad de Purdue, 1146 Edificio de Ingeniería Agrícola, West Lafayette, IN 47907, Estados Unidos c

Departamento de Botánica y Patología Vegetal, Universidad de Purdue, 1155 Lilly Hall, West Lafayette, IN 47907, EE.UU.

Abstract

Este estudio evaluó la eficacia del ozono como fumigante para desinfectar maíz almacenado.

El tratamiento de 8,9 toneladas de maíz con 50 ppm de ozono durante 3 días dieron como resultado 92-100% de mortalidad de los adultos de:

Escarabajo, *Tribolium castaneum* (Herbst),

Gorgojo de maíz adulto, *Sitophilus zeamais* (Motsch.) E indio larvario

La polilla de la harina, *Plodia interpunctella* (Hübner) y redujo en un 63% el nivel de contaminación del hongo *Aspergillus parasiticus* Speare en la superficie del grano.

La fumigación de maíz en el ozono tuvo dos fases distintas.

La fase 1 se caracterizó por la rápida degradación del ozono y el movimiento lento a través del grano.

Fase 2, el ozono fluyó libremente a través del grano con poca degradación y se produjo una vez que los elementos responsables de la degradación del ozono se saturaron.

La velocidad de saturación dependía de la velocidad de la corriente de ozono / aire.

La velocidad aparente óptima para la penetración profunda de ozono en la masa de grano fue de 0,03 m / s, una velocidad que es alcanzable en estructuras de almacenamiento típicas con ventiladores y motores corrientes.

En esta velocidad el 85% del ozono penetró 2,7 m en la columna de grano en 0,8 d durante la Fase 1 .

Dentro de 5 d se consiguió una velocidad de degradación estable de 1 ppm / 0,3 m.

La velocidad óptima para la Fase 2 fue de 0,02 m / s. En este velocidad, el 90% de la dosis de ozono penetró 2,7 m en menos de 0,5 d.

Estos datos demuestran la utilidad del uso del ozono en la gestión del maíz almacenado y también de otros granos con la misma problemática.

2001 Elsevier Science

Ltd. Todos los derechos reservados.



WWW.OZONA.COM.AR

1. Introducción

Más de 400 millones de toneladas de grano se almacenan cada año en los EE UU. Los insectos y los hongos crean graves problemas de calidad en los granos almacenados y pérdidas anuales de almacenamiento que se estiman en más de U\$S 500 millones (Scott, 1991).

La única manera de eliminar completamente las plagas de un grano comestible sin dejar residuos del pesticida, es la fumigación.

Actualmente sólo hay dos fumigantes registrados para alimentos almacenados, bromuro de metilo y fosfina.

Debido al impacto ambiental, el gobierno de los Estados Unidos ha ordenado que el bromuro de metilo se elimine por completo para el año 2005, con una reducción parcial en 1999.

La fosfina está actualmente en proceso de re-registro por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1993). Asumiendo que la Fosfina lo logre a través del proceso de re-registro, sería el único fumigante autorizado para granos comestibles almacenados. Con un solo fumigante, la resistencia a los insectos se convierte en un riesgo mayor. Desafortunadamente algunos insectos de productos almacenados ya exhiben algunos niveles de resistencia a la fosfina y algunos muestran resistencia al bromuro de metilo (Zettler et al., 1989, Zettler y Cuperus, 1990).

Perdida la efectividad, y debido a la resistencia a los fumigantes restantes además de la tendencia de los consumidores a resistirse a los químicos residuales, requiere el desarrollo de estrategias de control adicionales.

El ozono (O₃) puede ser generado por descargas eléctricas en el aire y se utiliza actualmente en industria para desinfectar agua y aire contra microorganismos y virus, como medio para reducir el olor, y para color, y contaminantes ambientales en aplicaciones industriales (Kim et al., 1999).

El aspecto atractivo del ozono es que se descompone rápidamente (vida media de 20-50 min) a oxígeno molecular sin dejar residuos.

En 1982, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) clasificó el ozono para tratar el agua embotellada como "generalmente reconocido como seguro" (GRAS) (FDA, 1982). Una extensión de esta declaración de GRAS a otros usos agrícolas fue archivada con la FDA y está actualmente confirmada (Graham, 1997).

La generación eléctrica de ozono elimina los problemas de manipulación, almacenamiento y eliminación de los plaguicidas de pos cosecha utilizados convencionalmente.

Este atributo hace del ozono un candidato atractivo para controlar insectos y hongos en el grano almacenado; Sin embargo, se han publicado pocos estudios sobre su utilización como insecticida. Erdman (1980) observó mortalidad de larvas de escarabajo rojo de harina, *Tribolium castaneum* (Herbst), y el escarabajo confuso de la harina, *Tribolium confusum* (du Val), cuando son expuestos a un ambiente de ozono de 45 ppm. En un estudio de laboratorio, 5 ppm de ozono resultaron en 100%

mortalidad de escarabajos de grano de dientes adultos, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) y escarabajo de harina después de tiempos de exposición de 3 y 5 d, respectivamente (Mason et al., 1997).



WWW.OZONA.COM.AR

El ozono es un agente oxidante fuerte que se ha utilizado eficazmente para controlar el crecimiento de hongos y reducir la contaminación por micotoxinas (Kim et al., 1999). A bajas concentraciones de ozono sobre superficies limpias del grano evitan el crecimiento posterior de hongos, aunque se requerían dosis mayores para matar hongos en superficies contaminadas (Rice et al., 1982).

El ozono (29 ppm) fue eficaz para reducir o eliminar la aflatoxina de la semilla de algodón y la harina de cacahuete (Dollear et al., 1968; Dwarakanath Et al., 1968).

El tratamiento con ozono también redujo el efecto tóxico del maíz contaminado con aflatoxina Turkey pouts (McKenzie et al., 1998).

Cinco ppm de ozono inhibieron el crecimiento superficial, la esporulación y producción de micotoxinas por cultivos de *Aspergillus flavus* Enlace: Fr y *Fusarium moniliforme* Sheldon (Mason et al., 1997).

Anteriormente, Strait (1998) estableció que el ozono, después de la fumigación de granos a pequeña escala contenedores de almacenamiento (18 kg) con maíz amarillo, dispersos en toda la masa de grano fue tóxicos a los insectos dentro de esa masa.

Una concentración de 50 ppm durante 3 días dio como resultado 100% de mortalidad de insectos adultos, escarabajos de la harina y los gorgojos del maíz, *Sitophilus zeamais* (Motsch.),

También fueron reducidos grandemente los surgimiento de polillas larvarias de la comida india, *Plodia interpunctella* (Hu"bner).

Las primeras aplicaciones con ozono a través del grano fue impedida por un fenómeno descrito como la demanda de ozono del medio (Kim et al., 1999), que en este caso fue el maíz. Los componentes químicos en la superficie del grano impedían que reaccione con el ozono. Sin embargo, una vez que el grano ha sido expuesto al ozono, el posterior movimiento de ozono a través del grano fue rápido con muy poca impedimento.

Porque muchos factores influyen en la fumigación exitosa, incluyendo el desempeño del equipo y condiciones, definiendo las capacidades y limitaciones de la penetración de ozono será la eficacia sobre los granos e insectos, variables importantes para la fumigación a gran escala de instalaciones comerciales.

Los objetivos de este estudio fueron cuantificar la eficacia de la fumigación con ozono en una masa de grano (hasta 8,9 toneladas) en condiciones de campo, y determinar las características de movimiento del ozono a través de profundidades de grano de hasta 3 m en ambos ambientes laboratorio y campo.

2. Materiales y Metodos

2.1. Generador de ozono

El ozono fue producido electrostáticamente por un prototipo de generador de ozono construido por Heating Recovery Systems (Carmel, IN). La unidad tenía dos cabezas de generador, cada una construida de placas de acero estratificadas (30cm × 12cm) que comprenden cinco cámaras. La aplicación de 8000V a través de las placas creó una serie de arcos eléctricos continuos en cada cámara. Dos reóstatos (uno por cada cabeza del generador) que regulaban la cantidad de arco controlaban la cantidad de ozono producido. En el voltaje máximo del generador, el generador produjo concentraciones de ozono entre 20 ppm (0.054 m³ / s) y 50 ppm (0.019 m³ / s).



WWW.OZONA.COM.AR

El aire fue forzado a través de los cabezales generadores por ventiladores centrífugos de 23-92 W (1 / 32-1 / 8 hp). La velocidad aparente (m / s) a través del grano se define como la tasa total de flujo de aire (m³ / s) dividida por la superficie de la sección transversal de la estructura de almacenamiento (m²). La velocidad del aire se midió a la salida del generador con un anemómetro de vano de 5,1 cm (DA-4, Davis Instruments, Hayward, CA) o un anemómetro de alambre caliente (Testo # 415, Davis Instruments, Hayward, CA).

2.2. Penetración de masa de grano en el ozono: estudio de campo

El gas ozono se canalizó hasta la parte superior de un contenedor de grano de acero galvanizado de 12,7 toneladas de capacidad mediante conductos de acero galvanizado (15,2 cm de diámetro). Todas las costuras en el conducto se sellaron con cinta de silicona y conducto, con las juntas de tubería de transición del generador sellado con cinta aislante solamente. El ozono fue forzado hacia abajo a través del grano para salir del plenum. El ozono se midió con un analizador de ozono (Model1008-HC, DiasibiEnvironmental, Glendale, CA) que tenía un intervalo de detección de 0,001-70,0 ppm a una velocidad de muestreo de 2 l / min. Tubos de teflón (0,64 cm o.d. \approx 6,1 m) a un colector de muestreo de teflón con 11 válvulas de acero inoxidable para múltiples conexiones al analizador de ozono. El tubo de teflón proporcionó lugares de muestreo en el espacio de cabeza y plenum, así como en el centro de la masa de grano a 0,30, 0,81, 1,5 y 1,8 m de la superficie del grano. Las mediciones en la pared se tomaron a 1,5 y 1,8 m de la superficie del grano. Las concentraciones de ozono en el contenedor de grano se midieron al menos cada 24 h de operación. El campo 374 S.A. Kells et al. / Journal of Stored Products Research 37 (2001) 371-382 se llevó a cabo durante los meses de julio, agosto y septiembre, en los que se realizaron pruebas en insectos y Hongos.

2.3. Penetración de masa de grano en el ozono: estudio de laboratorio

Las columnas (0,57 m de diámetro \approx 3 m) se construyeron con cuatro barriles de acero (cada uno de 208 litros) atornillados de extremo a extremo con las tapas y los fondos retirados. Un suelo de acero perforado fijado en cuatro barras de acero (1,27 cm de diámetro) se soldó a 15 cm del fondo de la columna para formar un plenum. Se fijó una tapa a la parte superior de la columna con una correa de aluminio de 2,5 cm en forma de L que se atornilló en los lados de la columna. Una junta de cinta de espuma de célula cerrada selló la tapa con la columna después de que se llenó con maíz amarillo de calidad alimentaria.

El generador de ozono se conectó a la parte superior de la columna (a través de la tapa) con 15 cm de diámetro. Galvanizado (113 litros). Todas las costuras en el conducto y la columna se sellaron con silicona y / o ductotape. Se realizaron simulacros de experimentos en el campo, se realizó un control de ozono en las columnas y se colocó en el espacio del cabezal y en el plano, asimismo a 0,3 m de la pared de columnas en los siguientes grados: 0,30, 0,9, 1,5, 2,1 y 2,7m. Glendale, CA).

El generador de ozono funcionó continuamente hasta que se completaron las lecturas para esa columna. Se usaron dos columnas separadas (cada una repetición) por velocidad. Las concentraciones de ozono se midieron 1 - 4 veces al día.



www.ozona.com.ar

2.4. Insectos y hongos

Las tres especies de insectos de productos almacenados utilizados en los ensayos de eficacia se elevaron como se ha descrito anteriormente (Strait, 1998). Se colocaron veinte larvas de la polilla de maíz de la India de la última etapa, se colocaron 50 escarabajos adultos de la harina roja (RFB) y 50 gorgojos del maíz adultos (MW) en jaulas separadas (10cm3cmo.d) que contenían aproximadamente 100 granos . Aspergillus parasiticus Speare La cepa ATCC 24551 produce una averufina, un metabolito en la vía biosintética de la aflatoxina que es fácilmente identificable porque este metabolito naranja se acumula cuando se cultiva en medio de agar dextrosa de patata (PDA). Los conidios cosechados de una colonia mantenida en PDA se suspendieron en Triton X-100 al 0,05% a $2,5 \times 10^7$ conidios por ml y se añadieron 1 ml a 30 microgránulos de maíz y se dispersaron en una hendidura. El maíz inoculado se colocó en jaulas similares a las utilizadas para insectos.

Se colocaron diez jaulas para cada especie de insecto y A. parasiticus en un recipiente de control y 10 en el ozono tratado, observando los estudios de campo. Los animales fueron colocados verticalmente en un punto por debajo de la superficie y cubiertos con aproximadamente 2 cm de maíz. El experimento se repitió tres veces en tratamientos de 50 ppm de ozono para 3d y 25 ppm para 5d. Después del tratamiento, se retiraron las jaulas de los recipientes y se determinó el número de insectos vivos y muertos. El maíz en las jaulas se lavó con 100 ml de Triton X-100 al 0,05% para eliminar hongos superficiales. El lavado se diluyó en serie y luego el medio PDA se colocó en placas para formar las unidades formadoras de colonias (UFC) que se cultivaron. Los análisis estadísticos se realizaron mediante procedimientos SAS (SAS Institute, 1990). Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de mortalidad (insectos) o en el número de CFU (hongos) entre los tratamientos y el control.

Tabla 1

Efectos del ozono sobre la mortalidad de insectos en 8.9 toneladas de maiz

Especie	PPM ozono	Exp. En días	Na	Porcentaje mortalidad	
				tratado	control
IMM	25	5	25	77	13.6
	50	3	10	94.5	9.2
MW	25	5	30	99.9	1.1
	50	3	30	100	3.2
RFB	25	5	30	91.4	4.5
	50	3	30	92.2	5.6

a) Na Numero de jaulas

- ✓ IMM indian meal moth larvae;
- ✓ MW Maize weevil adults;
- ✓ RFB red flour beetle adults



3. Resultados y discusión

3.1. Eficacia del ozono contra los insectos

Dos o tres días son necesarios para completar una fumigación de grano con fosfina y estudios de laboratorio han indicado que 50 ppm de ozono para 3 d mataron insectos adultos comúnmente encontrados en el grano almacenado (Strait, 1998). En condiciones de campo, los tratamientos de fumigación con ozono a 50 ppm para 3 dy 25 ppm para 5d aumentaron significativamente la mortalidad de IMM, MW y RFB en comparación con el control (Tabla 1). Se observaron niveles de mortalidad superiores al 90%, con excepción del IMM en el maíz tratado a 25ppm durante 5d. A 50ppm, los MW eran más susceptibles que los RFB, sin embargo la mayoría de los RFB sobrevivientes después del tratamiento con ozono mostraron comportamientos alterados como más de un par de piernas que no se movían o una falta de movimiento coordinado en todas las piernas. Strait (1998) observó efectos similares de comportamiento y mortalidad tardía después de que los insectos sobrevivieron a los tratamientos iniciales con ozono. Los granos en las jaulas estaban enteros e intactos. Para determinar el efecto de los granos rotos sobre la mortalidad de insectos IMM, las jaulas se llenaron con granos enteros o agrietados. Casi el 60% de IMM en maíz agrietado sobrevivió a un tratamiento de ozono de 50 ppm para 3d en contraste con sólo 5% en grano entero. Esta disminución de la eficacia puede deberse a la reducción del flujo de aire causado por la mayor cantidad de material fino o más sitios de reacción de ozono debido al germen expuesto y al endosperma. Las poblaciones naturales de insectos también fueron suprimidas por el tratamiento con ozono. Dos semanas antes de la ozonización, los IMM se detectaron mediante trampas de feromona en ambos compartimientos; Sin embargo, no se atrapó ninguna polilla en el tratamiento con ozona en el siguiente tratamiento. Por el contrario, las trampas en el control absorbieron 62 y 57 polillas en la primera y segunda semana, respectivamente. Además, el número de escarabajos peludos (*Typhaea stercorea* (L.)) y el escarabajo de grano extranjero (*Ahasverus advena* (Waltl)) capturado en las trampas de la sonda de falla fueron más bajos en el compartimiento tratado con ozono en comparación con el testigo (datos no mostrados).

Tabla 2
Efectos del ozono sobre la viabilidad de los parasitos *Aspergillus*

PPM ozono	Exp. En días	Na	UFC	
			tratado	control
25	5	30	43,7	51,5
50	3	30	16,1	43.0

b) Na Numero de jaulas



www.ozona.com.ar

3.2. Eficacia del ozono contra *A. parasiticus*

El número de colonias viables de *A. parasiticus* en la superficie del grano se redujo en un 63% cuando el grano se expuso a 50 ppm de ozono durante 3 días (Tabla 2), mientras que 25 ppm para 5 d no permitió reducir significativamente la viabilidad de esporas. A las 50 ppm, el 99% de las colonias recuperadas del grano tratado con ozono eran la cepa ATCC 24551 de *A. parasiticus*. Por el contrario, muchas otras especies de hongos también sobrevivieron al tratamiento con ozono de 25 ppm, como se indica por el gran número que crece en placas de dilución. Estos datos indican que una fumigación de ozono de 50 ppm dirigida a una infestación de insectos debería tener el beneficio añadido de reducir las poblaciones de hongos en la superficie del grano.

3.3. Rendimiento del generador de ozono

El flujo de aire máximo del generador que producía 50 ppm de ozono era de 0,021 m³ / s (o velocidad de salida de 1,14 m / s). Esto produjo una velocidad de aire aparente máxima de 0,0036 m / s a través de la masa de maíz en los depósitos de estudio de campo y aproximadamente 0,056 m / s en las columnas de laboratorio.

El cálculo teórico de la velocidad a través de la columna de laboratorio dada la capacidad del ventilador del generador fue de 0,081 m / s. Sin embargo, la velocidad real se redujo debido a algunas fugas de aire del generador, ductos y barriles, y debido a una mayor caída de presión real a través del maíz que las ecuaciones teóricas pronosticadas.

El rendimiento de los generadores en el laboratorio y en los experimentos de campo se vio afectado por factores ambientales, como la temperatura, la humedad relativa y la densidad del aire. Generalmente, a medida que el día progresaba desde la mañana hasta la tarde, la velocidad (y el volumen de aire) a través de la producción aumentó aproximadamente un 10% debido a la disminución de la densidad del aire más cálido de la tarde.

A su vez, el aumento del volumen de aire a través del generador de ozono redujo la concentración de ozono en 5-8 ppm. Debido a la variabilidad en el rendimiento, la concentración de ozono a cualquier profundidad se registró como un porcentaje del ozono medido en el nivel de 0.3 m en el grano. El nivel de 0,3 m se seleccionó como punto de referencia porque las concentraciones eran similares a las del espacio de cabeza y fluctuaban menos.

Las concentraciones deseadas de ozono se mantuvieron durante condiciones ventosas en el estudio de campo. Sin embargo, el viento a veces causó fluctuaciones en la concentración de ozono a diferentes profundidades en el grano, resultando en mayores concentraciones en el fondo de la tolva de grano comparado con el medio de la papelera. Estas fluctuaciones fueron temporales, ya que el flujo de ozono es continuo.

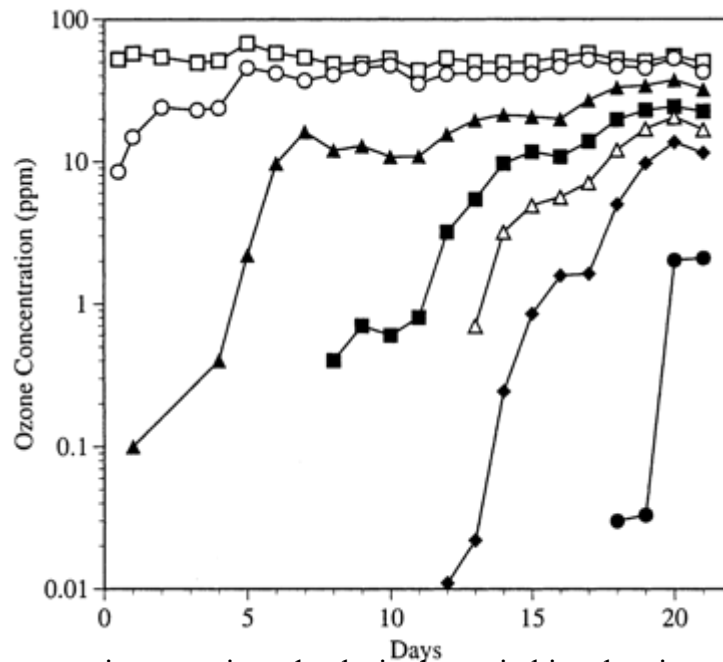


Fig. 1. Ozone concentration at various depths in the grain bin when introduced to the headspace at apparent velocities of 0.0036 m/s. Headspace (\square), 0.3 m center (o), 0.9 m center (m), 1.5 m center (\wedge), 1.8 m center (*), 1.5 m south wall (&), and 1.8 m south wall (n).

El contenedor restableció rápidamente las concentraciones adecuadas. La capacidad del ozono para mantener la concentración de fumigación durante las condiciones de aire forzado es una ventaja considerable sobre las fumigaciones pasivas con fosfina.

3.4. Penetración de la masa de grano en el ozono

El generador produjo 50 ppm de ozono a 0,0030-0,0036 m / s de velocidad aparente en el estudio de campo con 8,9 toneladas de maíz en un contenedor de capacidad de 12,7 toneladas. El ozono fue detectado dentro de 0,5d a 0,3m de profundidad en el centro, 1d a 0,9m de centro, 12d a 1,5m de centro, 18d a 1,8m de centro, 8d a 1,5m de pared sur, y después de 13d a 1,8m de la pared sur del contenedor (Figura 1). Además, el ozono penetró más rápidamente en la periferia (pared sur) de la masa de maíz que en el centro, presumiblemente debido al mayor nivel de material fino en el núcleo de la masa de maíz. Después de 20 días, las lecturas en el centro de la masa de grano alcanzaron 10 y 1,5 ppm a 1,5 y 1,8 m, respectivamente, y el 70% de la producción del generador se midió a una profundidad de grano de 0,9 m. El generador de ozono se ajustó después de 21 d para producir 25 ppm y se detectó ozono en la parte inferior del recipiente (datos no mostrados).

El principal objetivo de esta fumigación de ozono era introducir 50 ppm de ozono en una masa de grano lo más rápido posible. Se seleccionó esta dosis porque los experimentos de laboratorio previos para determinar los efectos dosis / tiempo del ozono sobre la mortalidad de los insectos indicaron que 50 ppm durante 3 días dieron como resultado una mortalidad del 100% de RFB y MW adultos y redujeron considerablemente la aparición de larvas IMM (Strait, 1998). Introducción de ozono a través de la parte superior de la papelera es preferible porque la mayoría de los insectos suelen estar en el espacio de cabeza y los 2 m superiores de



WWW.OZONA.COM.AR

la masa de grano. Esta área en el contenedor también tiene el mayor potencial de daño causado por hongos debido a un potencial mayor contenido de humedad del grano resultante de condensación y fugas. Un estudio anterior indicó que la fumigación de ozono del grano tiene dos fases distintas (Strait, 1998). El maíz no tratado previamente con ozono tiene sitios inherentes en su superficie que reaccionan con el ozono durante la fumigación inicial (Fase 1). El ozono se degrada al reaccionar con estos sitios y los elimina. Este fenómeno ha sido descrito como la demanda de ozono del medio (Kim et al., 1999). Una vez que estos sitios han reaccionado con el ozono (Fase 2), la tasa de degradación del ozono disminuye.

Encontrar la velocidad óptima que se requiere para la aplicación de la fumigación es necesaria para promover el ozono como fumigante eficaz. La finalización de la Fase 1 no se logró con el generador de ozono utilizado en el estudio de campo. Sin embargo, las columnas de menor diámetro en el laboratorio (0,57 frente a 3 m) permitieron velocidades de aire más altas con el generador de ozono establecido para 50 ppm. Se seleccionaron tres velocidades para evaluar la capacidad (y el tiempo requerido) para que el ozono penetre en la masa de grano. Las tres velocidades fueron 0,02, 0,03 y 0,04 m / s. A una velocidad de 0,02 m / s, más del 75% del ozono introducido en la parte superior de la columna penetró a una profundidad de 2,7 m dentro de 3,7 d (IC del 95%: 3,6, 3,8) (Figura 2A). En el mismo número de días (3,7 d), las concentraciones de ozono fueron 93, 86 y 80% a 0,9, 1,5 y 2,1 m, respectivamente. Cuando la velocidad aparente se incrementó a 0,03 y 0,04 m / s, se alcanzó la misma cantidad de ozono (75% del ozono introducido en la parte superior de la columna) a una profundidad de 2,7 m dentro de 1,3 \pm 0,1 d. En este momento, las concentraciones de ozono fueron 94, 88 y 81% para ambos 0,03 y 0,04 m / s a 0,9, 1,5 y 2,1 m, respectivamente (Fig. 2B y C).

Se requirieron velocidades aparentes superiores a 0,02 m / s durante la fase 1 de fumigación para penetrar efectivamente el grano y establecer concentraciones estables de ozono en todas las profundidades medidas en el grano. Las velocidades aparentes de 0,03 m / s o más permitieron que más del 85% del ozono penetrara 2,7 m de grano (Fig. 2A y B). La velocidad creciente de 0,2 a 0,3 m / s disminuyó de 3 a 0,8 d el periodo de tiempo requerido para alcanzar más del 75% de la concentración de ozono a 2,7 m.

Será necesario caracterizar la dinámica del movimiento del ozono a través de los distintos tipos de grano antes de que los generadores de ozono puedan ser desarrollados para su uso en grandes depósitos comerciales. Nuestros datos experimentales con maíz indicaron que las concentraciones de ozono se estabilizaron en una relación lineal entre la concentración y la profundidad en la columna de grano. Hemos denominado esta relación lineal la tasa de degradación estable. Basándose en el flujo de aire y la degradación del ozono, una tasa de degradación estable de 1 ppm de ozono por 0,30 m de profundidad es una tasa alcanzable durante la fase 1 de fumigación. Para determinar el tiempo necesario para lograr esta tasa de degradación estable, se calculó el punto en el tiempo cuando la pendiente lineal es igual a 1 ppm por 0,3 m, a cada velocidad y día.

Para 0.02 m/s_{SEP}

$$y' = 7.2(95\% \text{ CI} : - 8.5, -5.7) \text{ Log } x + 9.6(95\% \text{ CI} : 8.7, 10.6); P < 0.001;$$

para 0.03 m/s

$$y' = 7.4(95\% \text{ CI} : -8.5, -6.3) \text{ Log } x + 6.2(95\% \text{ CI} : 5.5, 6.9); P < 0.001;$$

y para 0.04 m/s

$$y' = 7.6(95\% \text{ CI} : -8.7, -6.4) \text{ Log } x + 6.0(95\% \text{ CI} : 5.4, 6.7); P < 0.001;$$

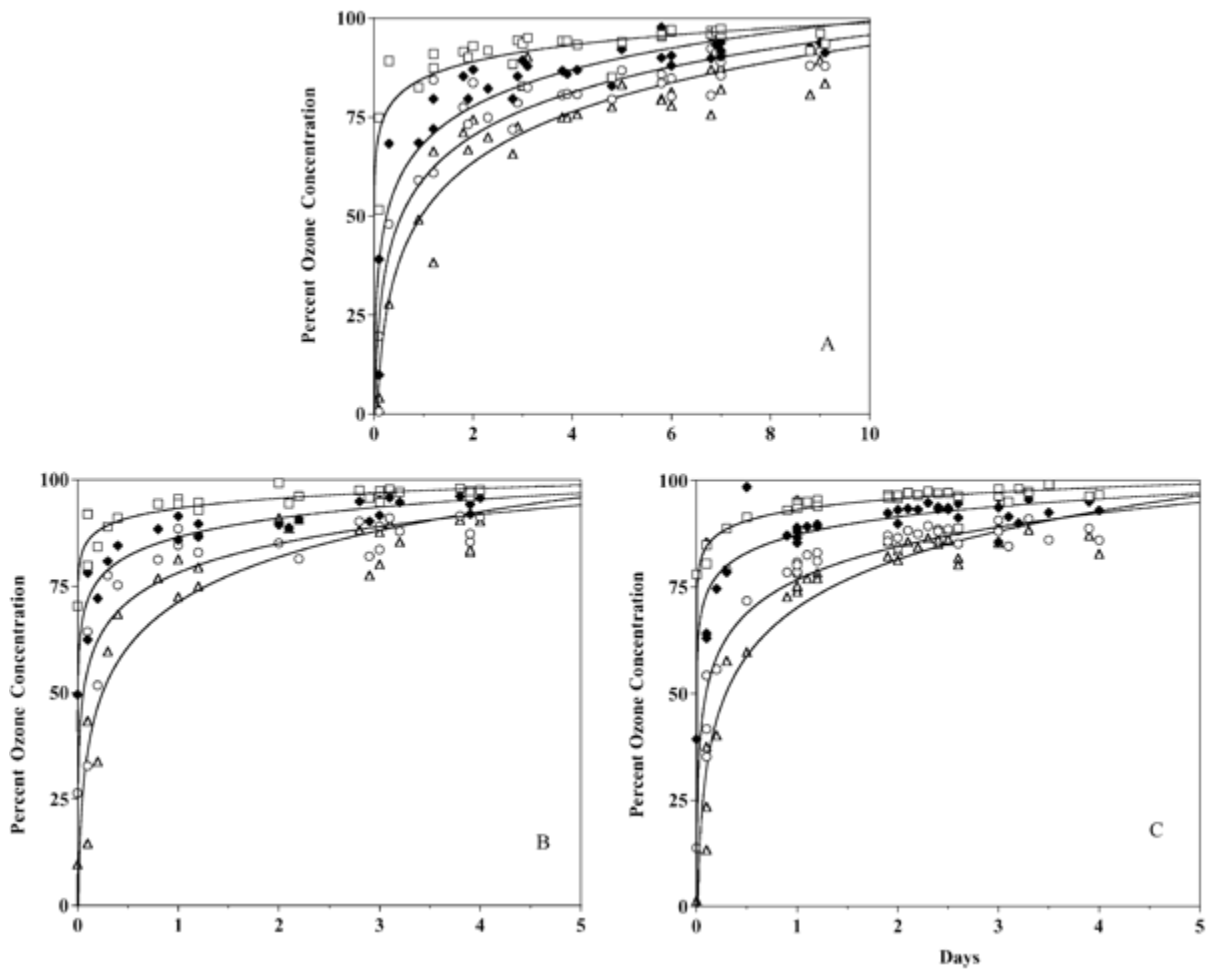


Fig. 2. Concentración de ozono a diversas profundidades en la columna de grano cuando se introduce en el espacio de cabeza a velocidades aparentes de: (A) 0,02 m / s; (B) 0,03 m / s; Y (C) 0,04 m / s. Los datos recogidos a 0,9 m (&), 1,5 m (^), 2,1 m centro (*) y 2,7 m (n) son la concentración de ozono en relación con la de 0,3 m.

Con el tiempo, los cambios en la degradación del ozono entre velocidades de 0,03 y 0,04 m / s no fueron significativos (Fig. 3). Entre 0,02 y 0,03 (o 0,04) m / s las pendientes no fueron significativas, pero hubo una diferencia significativa en la intercepción.

El cambio en la degradación del ozono en el tiempo fue similar a las tres velocidades, pero tardó más tiempo en alcanzar una tasa de degradación estable de 1 ppm por 0,3 m a 0,02 m / s que a 0,03 o 0,04 m / s. Una velocidad de aire de 0,02 m / s requirió 15,5 \pm 1,7 d para alcanzar una tasa de degradación estable de 1 ppm por 0,3 m, pero sólo 5,0 \pm 2,1 d a 0,03 y 4,6 \pm 1,9 a 0,04 m / s (Figura 3). Estos cálculos indican que una velocidad aparente de 0.03 m / s es necesaria para empujar el frente de ozono a través del grano en un tiempo razonable. Se hicieron cálculos de velocidad del aire (datos no mostrados) para una.

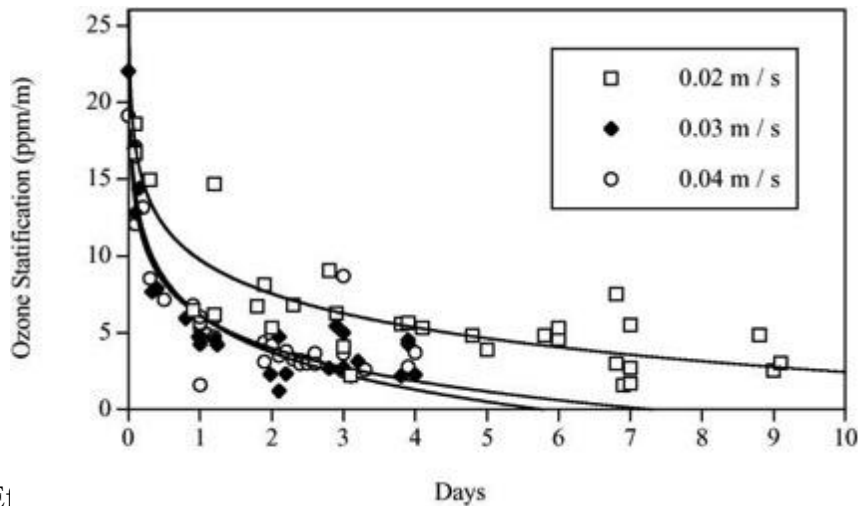


Fig. 3. El grano (concentración de ozono versus profundidad).

la columna de

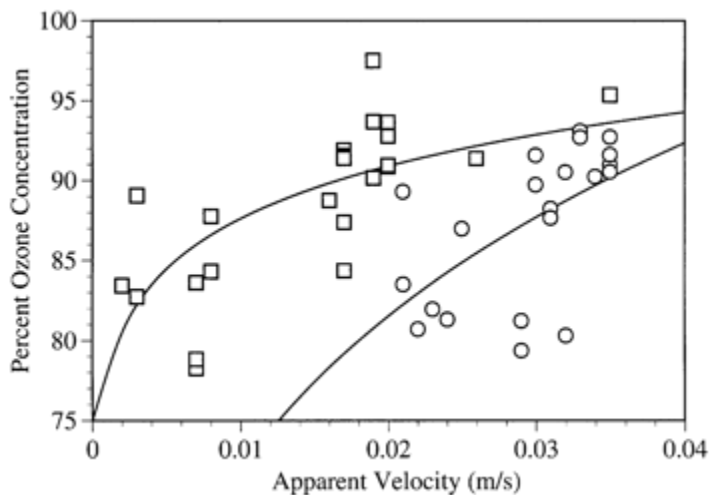
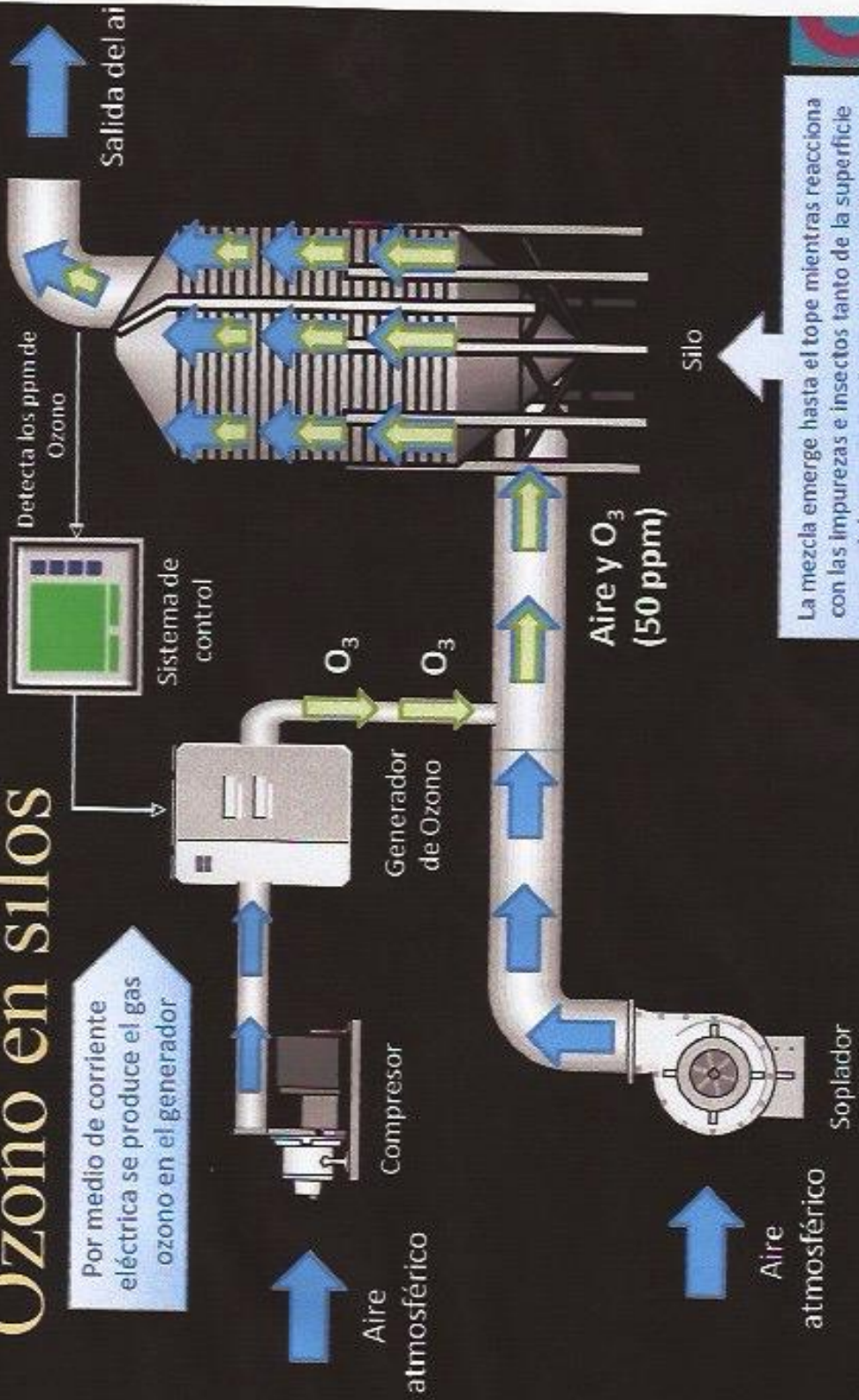


Fig. 4. Concentración de ozono a 2,7 m con respecto a 0,3 m de profundidad durante fumigaciones de Fase 1 (*) y Fase 2 (&) cuando se introdujo ozono en el espacio de cabeza a varias velocidades aparentes.

MANEJO DE GRANOS CIRCUITO ABIERTO

Ozono en silos

Por medio de corriente eléctrica se produce el gas ozono en el generador



La mezcla emerge hasta el tope mientras reacciona con las impurezas e insectos tanto de la superficie del grano como de las paredes del silo