

**INYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA EL CONTROL DE INSECTOS EN
BOLSAS PLÁSTICAS HERMÉTICAS**

David Mario Milanesio

Tesis presentada como requisito para optar al grado de

INGENIERO AGRÓNOMO

**Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Mar Del Plata**

Balcarce, Argentina

2010

**INYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA EL CONTROL DE INSECTOS EN
BOLSAS PLÁSTICAS HERMÉTICAS**

David Mario Milanesio

Comité Asesor

.....

Ricardo Bartosik Ing. Agr.

Director de tesis

.....

Juan Rodríguez Ing. Agr.

Asesor

.....

Leandro Cardoso Ing. Agr.
Asesor

**INYECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA EL CONTROL DE INSECTOS EN
BOLSAS PLÁSTICAS HERMÉTICAS**

David Mario Milanesio

Aprobada por:

.....

Ricardo Bartosik Ing. Agr.
Director de tesis

.....

Juan Rodríguez Ing. Agr.
Asesor

.....

Leandro Cardoso Ing. Agr.
Asesor

.....
Dora Carmona Ing. Agr.
Delegada del Decano

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	4
1.2 Objetivos	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Sistemas de almacenamiento hermético y fumigación.	5
2.1.1 Bolsa plástica hermética.	6
2.1.2 Fumigación.	7
2.1.3 Concentraciones y tiempo de exposición de las atmósferas modificadas.	8
2.2 Insectos en el almacenaje.	10
2.2.1 Efecto de la temperatura sobre los insectos.	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Características del ensayo.	13
3.2 Mediciones y observaciones.	18
3.2.1 Caracterización de la calidad del grano.	18
3.2.2 Medición de temperatura y CO ₂ inicial.	19
3.2.3 Medición de CO ₂ durante la inyección.	20
3.2.4 Medición de CO ₂ luego de la inyección.	20
3.2.4.1 Cálculo de eficiencia de purgado.	20
3.2.5 Control de mortandad de insectos.	21

4. RESULTADOS	22
4.1 Fase purgado.	22
4.1.1 Lado anterior derecho.	22
4.1.2 Lado posterior izquierdo.	23
4.1.3 Tiempo en alcanzar el 80% de CO ₂ en la bolsa.	23
4.1.4 Evolución del CO ₂ en el tiempo.	24
4.2 Evolución de ct-producto.	26
4.2.1 Lado anterior derecho.	26
4.2.2 Lado posterior izquierdo.	26
4.3 Mortalidad de insectos.	27
4.3.1 Testigo.	27
4.3.2 Mortalidad de insectos en la bolsa tratada.	27
4.4 Temperatura y humedad del grano en la bolsa testigo y en el tratamiento.	28
5. DISCUSIÓN	30
5.1 Fase de purgado.	30
5.2 Mantenimiento.	30
5.3 Control de insectos.	32
6. CONCLUSIÓN	34
7. BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de CO ₂ y O ₂ a través del tiempo en bolsas de trigo, maíz, soja y girasol con dos humedades.	6
Tabla 2. Gorgojos vivos en las tres repeticiones y en los tres niveles, en la bolsa testigo y promedio de mortandad para las tres repeticiones.	27
Tabla 3. Recuento de gorgojos vivos en tres estaciones de control (1,5; 10 y 20 m de distancia desde la aplicación), en tres niveles dentro de la bolsa (superior, medio e inferior) y porcentaje de mortandad promedio.	28
Tabla 4. Temperatura y humedad en tres estratos, superior, medio e inferior del silo bolsa testigo.	29
Tabla 5. Temperatura y humedad en tres estratos, superior, medio e inferior del silo bolsa tratado.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de caño porta celda perforado con las tres celdas (a) y detalle de celdas interna con gorgojos (b).	13
Figura 2. a) Imagen de tubos porta celdas armados; b) imagen de trigo con gorgojos; c) celdas internas armadas.	14
Figura 3. Punto de inyección, estaciones de monitoreo de CO ₂ , puntos de purgado y sitios de inserción de celdas con insectos en la bolsa con tratamiento de CO ₂ .	14
Figura 4. Sitio de inserción de tubos porta celdas con insectos en la bolsa testigo.	15
Figura 5. Detalle de la colocación de los tubos porta celdas con insectos. a) disposición de los tubos porta celdas en un sitio de inserción; b) tubos porta celdas insertadas en el grano y c) sellado de la bolsa.	15
Figura 6. Imagen de la lanza; a) lanza instalada; b) detalle del extremo inferior de la lanza.	16
Figura 7. Caños de purgado; a) extremo izquierdo; b) extremo derecho.	17
Figura 8. Armado e inyección a) descarga de termos; b) termos CO ₂ , gasificador y mangueras; c) lanza de inyección conectada.	17
Figura 9. Diagrama de la bolsa con las tres zonas de muestreo de grano.	18
Figura 10. Diagrama con detalle de la zona de muestreo (a) y del calador separado por estratos (b).	19
Figura 11. Diagrama del sensor de temperatura (a) y fotografía del medidor de gases (b).	19
Figura 12. Estación de medición marcada con el número 3.	20

Figura 14. Evolución del CO ₂ en la fase de purgado para las distintas posiciones del lado anterior derecho de la bolsa.	22
Figura 15. Evolución del CO ₂ en la fase de purgado para las distintas posiciones del lado posterior izquierdo de la bolsa.	23
Figura 16. Tiempo requerido para alcanzar al menos 80% de concentración a distancias crecientes (m) desde el punto de inyección.	24
Figura 17. Evolución de la concentración de CO ₂ en el tiempo en las distintas estaciones de medición en el lado Anterior derecho.	25
Figura 18. Evolución de la concentración de CO ₂ en el tiempo en las distintas estaciones de medición en el lado posterior izquierdo.	25
Figura 19. Evolución de ct – producto (% hs) para las distintas estaciones del lado anterior derecho de la bolsa.	26
Figura 20. Evolución de ct – producto (% horas) para las distintas estaciones del lado posterior izquierdo de la bolsa.	27

RESUMEN

Nuestro país sufre un déficit en la capacidad de almacenamiento que fue estimado entre 22 y 30 millones de toneladas. Para suplir este déficit, se adoptó el almacenamiento de granos en bolsas plásticas herméticas, comúnmente conocidas como silo-bolsas.

Existen más de 20 especies plagas de los granos almacenados, entre ellos insectos y ácaros, los cuales pueden atacar el grano almacenado en las bolsas herméticas. Por otra parte, los consumidores demandan cada vez más granos con alta sanidad e inocuidad, por lo que los métodos alternativos de control cobran relevancia.

El objetivo de este trabajo fue determinar una metodología racional de fumigación con dióxido de carbono (CO_2) para el control de insectos en granos almacenados en bolsas plásticas herméticas. La experiencia se realizó durante el mes de Agosto de 2009 en Balcarce, provincia de Bs. As, Argentina, utilizando dos bolsas herméticas de tamaño real llenas de trigo. En una se inyectó CO_2 , y la otra se dejó como testigo. En ambas bolsas herméticas se instalaron celdas porta insectos, con el fin de evaluar la letalidad del tratamiento, y en la bolsa tratada se hizo un seguimiento de la concentración de CO_2 durante las fases de purgado y mantenimiento.

Durante la inyección se lograron alcanzar valores superiores al 80% de CO_2 en el interior de la bolsa en 200 minutos. Dicha concentración fue bajando desuniformemente en la bolsa a lo largo del periodo de medición, logrando valores de ct-producto superiores e inferiores a los 12600 % hora (concentración-tiempo recomendada para el correcto control de insectos plagas). Esto fue atribuido a posibles roturas en el piso de la bolsa hermética que resultó en fugas localizadas del gas.

Los conteos de insectos muertos dieron como resultados un 100% de mortandad en la bolsa hermética tratada, y 88% en el testigo, lo cual evidenció que la temperatura de almacenamiento (aproximadamente 12°C) también tuvo un efecto sobre la mortandad.

Esta experiencia permitió comprobar que es posible la inyección de CO_2 en bolsas herméticas a campo, pero ante la posibilidad de eventuales roturas en la misma (fallas en la hermeticidad) es necesario replantear un mecanismo de re-inyección para mantener niveles de control con CO_2 en la bolsa. Otra opción recomendada es determinar con anterioridad si la bolsa a tratar tiene un nivel de hermeticidad suficiente como para lograr las condiciones de control sin la necesidad de re-inyección del gas.

Palabras claves: Atmósfera modificadas, fumigación, CO₂, bolsas herméticas.

ABSTRACT

Our country there is a deficit in the capacity of storage that was estimated between 22 and 30 million tons. To cover this deficit, the country adopts the storage of grains in plastic hermetic bags, commonly known as silo-bag.

There are more than 20 species of insects and mites that typically can affect the stored grain, even when it is stored in the hermetic plastic bags. On the other hand, there is an increasing demand for safe and free of pesticides grains, which triggers the importance of alternative insect control methods.

The goal of this study was to determine a rationale methodology for treating grain stored in silo-bags with carbon dioxide (CO₂) in order to control insects. The field test was carried out during August-September 2009 in Balcarce, Buenos Aires province, Argentina, using two hermetic plastic bags of real scale size, filled with wheat. In both bags, cages containing live insects were inserted in the grain mass in order to evaluate the mortality effect of the treatment. In addition to that, the change in CO₂ concentration during time was monitored during both, the purging and maintenance stages.

During the purging stage, it was possible to overpass 80% CO₂ concentration in the bag in 200 minutes. This concentration decreased in a non-uniform fashion during the maintenance stage. As a result, there were obtained ct-product values higher and lower than 12600 %h (recommended ct-product value to obtain 100% mortality). The uneven treatment could be caused by non- visible openings or perforation in the plastic cover, which locally affected the permeability of the bag.

Insect mortality was of 100% in the treated bag, and 88% in the control. This indicated that the storage temperature (approximately 12°C) also affected insect mortality.

This study demonstrated that it is possible to inject CO₂ in a silo-bag for insect control in the field. However, due to the possibility of leakage through perforations in the plastic cover (airtightness failure) it is necessary to consider a maintenance injection of the gas, in order to guarantee an effective concentration. Other recommended action is to perform, previously to the treatment, a hermeticity test of the silo-bag. This would indicate whether a given silo-bag is airtight enough to perform a CO₂ treatment without

re-injecting the fumigant gas.

Keywords: Modified atmosphere, fumigation, CO₂, hermetic bag.

1. INTRODUCCIÓN

La adopción de nuevas tecnologías y la reasignación en el uso del suelo (incremento del área sembrada observado en los últimos años) han derivado en cambios importantes en la estructura agropecuaria que permitieron incrementar la producción y los saldos exportables de nuestro país, llegando la producción total del año 2007 a 46 millones de toneladas.

Sin embargo, el comportamiento climático adverso sufrido por gran parte del área triguera nacional en la campaña 2008, con escasez de lluvias en el período óptimo de implantación de trigo, además de provocar la menor siembra de cereal, disminuyó el potencial productivo y las expectativas de rendimientos.

Este comportamiento climático generó que el área implantada fuera 4,7 millones de hectáreas, un valor inferior al esperado. Al finalizar la cosecha se pudo apreciar también que una caída sustancial del rendimiento contribuyó a la disminución de la producción estimada para dicha campaña. Las causas de la caída en el rendimiento fueron relacionadas a la sequía durante el ciclo del cultivo y las altas temperaturas sufridas, a lo que se agrega algún daño por heladas y la baja dosis de fertilizantes utilizado. A causa de la reducción de la superficie sembrada y del rendimiento la producción de trigo alcanzó los 8,3 millones toneladas, valor sensiblemente inferior a las predicciones realizadas al comienzo de la campaña (SAGPyA, 2009).

Haciendo un análisis de las campañas anteriores, en las cuales los cultivos no fueron severamente afectados por el clima ni por expectativas negativas del sector, se puede concluir que la producción total de nuestro país ronda los 95 millones de toneladas (SAGPyA, 2009), y la producción de trigo normalmente sería de 14 millones de toneladas.

Se estima que la capacidad total de acopio en instalaciones fijas estaría entre 65 y 73 millones de toneladas (acopios, cooperativas, industria, puertos y a campo), por lo que el déficit de almacenamiento, surgido de comparar el volumen de producción con la capacidad del acopio, estaría entre 22 y 30 millones de toneladas (PRECOP, 2008).

Los problemas ocasionados por el déficit de almacenaje incluyen la imposibilidad de

manejar mercadería a campo por parte de los productores, e incapacidad de recibir toda la mercadería disponible en el momento de la cosecha por parte de los acopiadores, agroindustria y exportadores. Esta situación frecuentemente resulta en pérdidas de calidad y cantidad de granos, retraso en la cosecha y altos costos en la operatoria de las plantas.

Por su parte también existe un déficit importante en la capacidad de transporte, situación que se vuelve especialmente crítica en el momento de la cosecha, debido a que una gran proporción de la misma debe remitirse al acopio y agroindustria a causa de la falta de capacidad de almacenamiento en origen. La gran demanda de transporte en época de cosecha resulta en incrementos sustanciales del costo del flete. Las pérdidas de calidad y cantidad causadas por cosechar el grano en forma tardía por no tener disponibilidad de acopio y/o transporte, el incremento de costos de operatoria de las plantas de acopio en el momento pico de cosecha e incrementos en los fletes, termina por afectar la rentabilidad de los establecimientos agropecuarios.

Desde mediados de la década de los '90 los productores, en su afán de solucionar los problemas de déficit de almacenaje, han adaptado un sistema tradicionalmente usado en ganadería para el almacenaje de grano húmedo ensilado, para almacenar grano seco. Esta técnica consiste en el almacenamiento de granos en bolsas plásticas herméticas, comúnmente conocidas como silo-bolsa. Las bolsas están confeccionadas con un material tricapa de 235 micrones de espesor y sus dimensiones típicas son de 60 metros de largo por 2.74 metros de diámetro, pudiendo almacenar alrededor de 200 toneladas de trigo por bolsa (Rodríguez *et al.*, 2002).

La difusión de esta técnica ha sido tan importante que más de 35 millones de toneladas de grano fueron almacenadas en bolsas plásticas herméticas en el ciclo de producción 2007/08, mientras que para el 2008/09 fue embolsado un número de toneladas sensiblemente inferior (30 a 40 % menos) debido a la mencionada caída en la producción causada por la sequía (Bartosik, 2009 *comunicación personal*).

Algunas de las ventajas del sistema de almacenamientos de grano seco en bolsas plásticas herméticas incluyen versatilidad para dimensionar la capacidad de almacenamiento de acuerdo a las necesidades de la campaña, aptitud para ser utilizada en sistemas de segregación de granos por calidad, para preservar la identidad del grano y para implementar sistemas de trazabilidad. Otra ventaja de las bolsas es la alta capacidad operativa de las máquinas utilizadas para el embolsado y la extracción de grano, las cuales permiten mantener el ritmo de trabajo de las modernas

cosechadoras. Finalmente, el sistema de bolsas herméticas permite al productor almacenar el grano en su propio establecimiento, pudiendo planificar las ventas de acuerdo a la variación de precios y costos que generalmente resultan más convenientes fuera de la época de cosecha. A su vez, recientes investigaciones llevadas a cabo por el grupo de Poscosecha de la EEA Balcarce, INTA, han desarrollado un sistema de monitoreo confiable de las condiciones de almacenamiento del grano embolsado, basado en la medición de dióxido de carbono (Croce, 2008; Bartosik *et al.*, 2008; Ochandio, 2009). Estas ventajas han permitido que la tecnología del embolsado aumente su difusión no solamente en el país, sino también en el extranjero.

La producción de cereales y la protección hasta su consumo o uso como semilla ha sido la mayor preocupación del hombre desde el inicio de la agricultura, hace aproximadamente 10.000 años. Las pérdidas de alimentos en la poscosecha estimadas por la FAO varían en un rango de 9% para Estados Unidos hasta un 50% en algunos países en desarrollo. La mayoría de estas pérdidas están asociadas con la invasión de la masa de granos por los artrópodos y hongos del almacenamiento (Casini *et al.*, 2008).

Existen más de 20 especies plagas de los granos almacenados, siendo los invertebrados, insectos y ácaros los que representan el mayor porcentaje. Se ha establecido que bajo ciertas condiciones, los insectos pueden ingresar a la bolsa junto con el grano y desarrollarse directamente en el almacenamiento. Esto se produce cuando el grano es embolsado seco, situación en la cual la generación de CO₂ es insuficiente como para lograr un control de los insectos, sobre todo en la época cálida del año cuando el régimen de temperaturas favorece el desarrollo de los mismos. Trabajos previos han tratado la problemática del control de insectos mediante la metodología tradicional de fumigación con gas fosfina (Cardoso *et al.*, 2009). Una alternativa a los métodos químicos de control de insectos es el uso de atmósferas modificadas. En tal sentido, la inyección de N₂ o CO₂ en bolsas para el control de insectos tiene el potencial de ser utilizado para almacenar productos orgánicos, donde la utilización de pesticidas no es permitido. Además de los productores orgánicos, otros potenciales beneficiarios de esta tecnología serían los productores y procesadores de granos que tienen como destino el consumo humano directo, tales como maíz pisingallo, maíz para industria, arroz, trigo para panificación y otros productos donde la presión de los consumidores tiende a reducir la aplicación de pesticidas. El presente trabajo intenta explorar la posibilidad de utilizar la hermeticidad del sistema de almacenamiento en bolsa para generar una atmósfera rica en CO₂ mediante la

inyección del gas, y lograr un ambiente adecuado para el control de insectos.

1.1 Hipótesis

1) el sistema de almacenamiento de granos en bolsas plásticas permite una eficiente introducción del gas fumigante (CO₂)

2) el nivel de hermeticidad del sistema hace factible alcanzar una relación ct-producto de 12600 (recomendada para el control de insectos) sin tener que volver a realizar una re-inyección del gas fumigante.

1.2 Objetivo general

Determinar una metodología racional de fumigación con dióxido de carbono para lograr condiciones de control de insectos en granos almacenados en bolsas plásticas herméticas.

Objetivos Específicos:

- Determinar una metodología apropiada de introducción del dióxido de carbono a las bolsas plásticas herméticas, a los efectos de lograr una concentración mínima de 80% y una apropiada distribución del gas en un corto período de tiempo.
- Caracterizar la distribución del dióxido de carbono dentro de la bolsa durante la inyección.
- Caracterizar la dinámica de la concentración del dióxido de carbono en el tiempo luego de la inyección.
- Cuantificar la cantidad de dióxido de carbono a inyectar para lograr la concentración deseada durante el tiempo de exposición requerido(12600 ct -

producto).

- Evaluar el efecto de tiempo de exposición y concentración del dióxido de carbono sobre la mortalidad de gorgojos adultos (*Sitophilusoryzae*).

2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- **Sistemas de almacenamiento hermético de granos y fumigación**

Un sistema de almacenamiento hermético es aquel que permite que se genere una atmósfera modificada, reduciendo la concentración de O_2 y aumentando la concentración de CO_2 . Para ello se utilizan estructuras selladas y herméticas (Navarro y Donahaye, 2005).

Para que un sistema de almacenaje sea exitoso los granos deben almacenarse en condiciones de humedad segura (para prevenir el desarrollo de hongos), pero además es necesario que se creen dentro del granel condiciones desfavorables al desarrollo de insectos. El principio básico de los sistemas de almacenaje hermético, es la eliminación del oxígeno disponible hasta un nivel que suprima o inactive la capacidad de reproducción y/o desarrollo de insectos plagas y hongos. Los procesos respiratorios de los integrantes bióticos (granos, insectos y hongos) del granel consumen el oxígeno existente en el ambiente produciendo CO_2 . Como el almacenaje hermético impide el pasaje de aire y gases entre el interior y el exterior del recipiente, una vez que la atmósfera se modifica, no se vuelven a crear condiciones favorables para el desarrollo de plagas, asegurándose su conservación en el tiempo (Rodríguez, 2001).

Los sistemas de almacenamiento hermético se pueden clasificar en dos tipos diferentes: de atmósfera modificada y de atmósfera controlada.

El objetivo de la atmósfera modificada (AM) es alcanzar una composición de gases rica en CO_2 y baja en O_2 , de manera no controlada, durante un tiempo de exposición necesario para el control de plagas y mantener la calidad de la mercancía (Navarro y Donahaye, 2005). En este caso la modificación de la atmósfera se consigue gracias a la propia respiración de los componentes bióticos del granel.

Atmósfera controlada (AC) es una modificación controlada de la composición de los gases atmosféricos (O_2 , N_2 y CO_2), utilizando gases por lo general producidos artificialmente (CO_2 o N_2) los cuales son inyectados en la estructura hermética. Este método está destinado a corregir los cambios causados por los pequeños escapes de gases (que causan el aumento de O_2 o la disminución de contenido de CO_2 en la estructura), que son casi imposibles de evitar y que de lo contrario harían que sea muy difícil mantener la atmósfera deseada (Navarro y Donahaye, 2005).

- **Bolsas plásticas herméticas**

El nivel de actividad biológica en el interior de la bolsa determina el nivel de modificación de la atmósferaintergranaria. Los componentes bióticos del granel respiran a expensas de consumir materia seca y O₂, produciendo CO₂, H₂O y calor. Los factores que más afectan la respiración de los componentes bióticos son humedad y temperatura del grano, 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 (Ochandio, 2009).

Bartosiket *al.*(2008) han 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 4 y 18% de CO₂)..

A continuación se muestran valores medidos de CO₂ y O₂ en bolsas plásticas herméticas de trigo, girasol, maíz y soja, a diferentes humedades de almacenamiento.

Tabla 1. Concentración de CO₂ y O₂ a través del tiempo en bolsas de trigo, maíz, soja y girasol con dos humedades.

Trigo	5 días		100 días	
Humedad	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %
12,5%	4,4	14,7	13,0	10,5
16,4%	18,9	5,5	22,8	5,5
Girasol	34 días		125 días	
Humedad	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %
8,4%	16,5	5,1	18,9	4,5
16,4%	70,3	4,9	69,9	4,6
Maíz	35 días		79 días	
Humedad	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %
14,8%	9,7	10,3	18,2	2,1
19,5%	0,0	19,2	18,5	2,6
Soja	30 días		160 días	
Humedad	CO ₂ %	O ₂ %	CO ₂ %	O ₂ %
12,5%	3,5	15,5	7,5	9,9
15,6%	5,7	7,7	16,2	2,4

Fuente: Bartosiket *al.*, 2008

En un estudio más extenso Cardoso *et al.*(2008) determinaron que en un gran número de bolsas de trigo con humedad de recibo (14%) o inferior la concentración de CO₂ fue, en promedio, inferior a 5%.

Los estudios de control de insectos con atmósfera modificadas indican que para lograr un nivel efectivo de control se requieren concentraciones 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 logran controlar los insectos, aunque se pueden esperar ciertos efectos de disminución de la capacidad de desarrollo de los mismos (Bank y Annis, 1990).

Estas observaciones indicarían que 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. Si el nivel de infestación de insectos fuera importante se lograría una alta concentración de CO₂ que limitaría la actividad de los mismos y probablemente produciría su control. Sin embargo, en dicha situación el nivel de daño en el grano almacenado sería significativo, por lo que se debería aplicar otros métodos de control antes de llegar a esa infestación (Bartosik, 2009 *comunicación personal*).

- **Fumigación**

El principal fumigante para granos almacenados es la fosfina, la cual se genera a través de fosfuro de aluminio o fosfuro de magnesio. Debido a su facilidad de uso y bajo costo, la fosfina es el método de control más difundido en el mundo. En Argentina la industria del manejo de granos recomienda una concentración de 200 ppm de fosfina durante 5 días de exposición (Parra, 2009).

Existen otros fumigantes, tales como el bromuro de metilo y el PROFUME, pero su difusión en el control de insectos en granos almacenados es mucho menor que la fosfina ya sea por problemas ligados a cuestiones ambientales, regulaciones de gobierno o por costos.

En tal sentido como el uso de pesticidas químicos tradicionales está siendo restringido o limitado debido a cuestiones ligadas a la salud humana y al medio ambiente, y como se está generando resistencia en los insectos a los productos químicos tradicionales, la comunidad científica internacional recomienda reconsiderar el uso de métodos de control alternativo, tales como el sistema de atmósfera modificada.

- **Concentraciones y tiempo de exposición de las atmósferas modificadas**

El método de atmósfera modificada (modificación en los niveles normales de los gases como el CO₂, N₂, O₂ del aire) es de especial interés para implementar un sistema alternativo de control de insectos. Aunque este método ha sido investigado, su uso comercial hasta hace poco ha sido algo limitado. Las posibles razones para su falta de aprobación comercial radican en su costo elevado (en la comparación con la fosfina). Sin embargo, las comparaciones de costo entre la fumigación con fosfina y los métodos alternativos deben ser ponderados contra la aprobación del consumidor. En cuanto a su confiabilidad, la investigación extensiva sobre los efectos de atmósferas modificadas sobre insectos ha suministrado una base firme para la tecnología, y su potencial de reemplazar la fumigación convencional en gran parte (Gob. Israel, 2002).

Como se mencionó anteriormente, las atmósferas controladas se basan en la inyección de N₂ o de CO₂. La inyección de N₂ es un método de control libre de pesticidas. El N₂ es un gas en condiciones normales y es el principal constituyente de la atmósfera (78% por volumen de aire seco). Esta concentración es resultado del balance entre la fijación del nitrógeno atmosférico por acción bacteriana, eléctrica (relámpagos) y química (industrial), y su liberación a través de la descomposición de materias orgánicas por medio de bacterias o por combustión. En estado combinado, el nitrógeno se presenta en diversas formas. Es constituyente de todas las proteínas (vegetales y animales), así como también de muchos materiales orgánicos. Su principal fuente mineral es el nitrato de sodio (Lenntech, 2008).

El sistema de atmósfera modificada con N₂ se basa en el barrido del O₂ a través de la inyección de N₂. La ventaja de este sistema es que el N₂ puede ser producido por un generador portátil, el mismo usa un cedazo molecular de carbón (CMS) para separar el oxígeno del aire y producir nitrógeno puro (Nitroswing®, 2009).

La inyección de CO₂ es un método de control de insectos al igual que el N₂ libre de pesticidas. Las propiedades de éste gas son: incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido. Su estructura molecular consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno. El CO₂ se produce por diversos procesos: por combustión u oxidación de materiales que contienen carbono, como el carbón, la madera, el aceite o algunos alimentos; por la fermentación de azúcares y por la descomposición de los carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos. Comercialmente el dióxido de carbono se recupera de los gases de hornos de calcinación, de los procesos de fermentación, de la reacción

de los carbonatos con los ácidos, y de la reacción del vapor con el gas natural, una fase de la producción comercial de amoníaco. El dióxido de carbono se purifica disolviéndolo en una solución concentrada de carbonato alcalino y luego calentando la disolución con vapor. El gas se recoge y se comprime en cilindros de acero para su comercialización (Gina, 2008).

Durante el tratamiento de control, la composición gaseosa del aire intragrano es alterada por la inyección del gas creando un ambiente con baja concentración de oxígeno que resulta letal para las plagas. El CO₂ afecta varias características fisiológicas, metabólicas, biológicas y de comportamiento de los insectos. Una de las causas principales de la toxicidad del CO₂ en los insectos es el efecto que tiene sobre el estímulo de apertura de los espiráculos que regulan la respiración. Este hecho induce de forma indirecta la pérdida de agua y posterior desecación del insecto. También produce acidificación en los fluidos internos, lo que crea modificaciones en muchas vías metabólicas afectando al crecimiento, desarrollo y reproducción (Unidad Mixta Irta, 2008).

El tratamiento con CO₂ es ventajoso porque no deja residuos tóxicos después de la fumigación. Los granos absorben CO₂ cuando están expuestos a altas concentraciones, pero la eliminación del gas se produce rápidamente cuando el grano es expuesto al aire ambiente (Mitsuda *et al.*, 1973). Niveles elevados de CO₂ (al menos los niveles normalmente utilizados para el control de insectos) no afectan el poder germinativo ni la calidad de los granos (White *et al.*, 1990).

A diferencia de los fumigantes químicos tales como bromuro de metilo y la fosfina, que son tóxicos para los insectos a bajas concentraciones (a niveles de ppm), el CO₂ necesita concentraciones 10000 veces superiores (a niveles de porcentaje) para crear un ambiente letal para los insectos.

Debido al tiempo de exposición relativamente largo necesario para el control, surge un concepto básico para los métodos de aplicación de atmósfera modificada, la combinación de dos fases distintas: una de "purgado" inicial para el establecimiento de la composición de gas deseado, y una fase de "mantenimiento" siguiente en la que la composición de gas deseada es mantenida mediante reposición gradual del gas perdido durante el período de exposición deseado (Banks y Annis, 1977). Este concepto es diferente para el caso de estructuras completamente herméticas, en las cuales solo se inyecta el gas al inicio del tratamiento (Banks *et al.*, 1980). Por lo tanto, para una efectiva fumigación con CO₂, las instalaciones de almacenamiento deben ser

herméticas o se debe agregar CO₂ de manera continua o periódica para mantener la concentración letal.

En la práctica el éxito del control de insectos con CO₂ depende de la uniformidad de distribución de gas en el granel y del mantenimiento de la concentración letal durante un tiempo mínimo de exposición (Banks *et al.*, 1980).

La relación de la concentración con el tiempo de exposición da origen al concepto de ct – producto, este valor es el producto entre concentración, en porcentaje, de gas fumigante y el tiempo de exposición Banks y Annis (1980), recomendaron que el valor que se debe alcanzar para un control total de los insectos está próximo a 12600 ct-producto. En un trabajo desarrollado por Bartosik *et al.* (2001), se demostró que hay diferencias en el control con un mismo valor de ct-producto. Existen dos estrategias para lograr un adecuado control de los insectos, alta concentración de gas (superior a 70%) durante un período corto de tiempo (4-5 días), o baja concentración de gas (40 %) durante un período más prolongado de tiempo (15-30 días) (Bartosik *et al.*, 2001). Se logró diferenciar que es más efectivo un tratamiento largo con niveles bajos de CO₂ (cerca al 40%), que exposiciones cortas con alto nivel de CO₂ (superior al 70%). En ambos casos la concentración mínima de CO₂ debería ser mantenida en todas las partes de la bolsa plástica hermética.

Si bien en el trabajo de Bartosik *et al.* (2001) la mínima concentración considerada fue 40%, existen trabajos previos en los cuales se demuestra que hasta concentraciones cercanas al 20% resultan en control de huevos y disminución en el nivel de actividad de los adultos (Bank y Annis, 1990).

- **Insectos en el almacenaje**

Las principales especies plagas de los granos almacenados son el Gorgojo del Arroz (*Sitophilus oryzae*), Taladrillo de los Granos (*Rhizopertha dominica*), Carcoma Achatado (*Cryptolestes pusillos*), Carcoma Dentado (*Oryzaephilus surinamensis*), Tribolio Castaneo (*Tribolium castaneum*), Acaro de la Harina (*Acarus siro*), Palomita de los Cereales (*Sitotrogacerealella*), Gorgojo del Maíz (*Sitophilus zeamais*) y Gorgojo de los Cereales (*Sitophilus granarium*) (FAO, 2009), siendo *Sitophilus oryzae* uno de los de mayor presencia y más resistentes a tratamientos de atmósfera modificada con CO₂.

Estas especies se caracterizan por tener cuatro estadios diferenciados, huevo, larva, pupa y adulto. Los huevos, larvas y pupas fueron más resistentes que los adultos a las atmósferas con alto CO₂ para distintas combinaciones de tiempo de exposición, concentración y temperatura (Bartosik *et al.*, 2001).

Tradicionalmente, el almacenamiento de los 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 se consideraba como de gran importancia. Por otra parte, la bolsa constituye una barrera física contra la entrada de insectos, por lo que los granos almacenados en bolsas plásticas herméticas no sufren niveles importantes de infestación durante el almacenamiento, siempre que las bolsas no sufran roturas.

En general se ha establecido que la infestación del grano fresco ocurre durante alguna etapa desde la cosecha hasta el almacenamiento definitivo, por causa de insectos sobrevivientes en residuos de granos (grano residual en la cosechadora, acoplado autodescargable, embolsadora, etc.). Sin embargo, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, se ha demostrado la presencia de insectos plaga de los granos almacenados infestando en el campo en bajos niveles (Manfredi, 2006). Además, estudios preliminares realizados por investigadores de INTA, han demostrado la presencia de estos insectos en el campo en la zona núcleo maicera. En estas regiones el grano embolsado podría estar ya infestado desde el campo, por lo que los productores deben realizar diferentes tratamientos de control del grano almacenado (Bartosik, 2009 *comunicación personal*).

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 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 período más o menos prolongado de tiempo. En los sistemas de acopio tradicionales (silos y celdas) la infestación generalmente se produce a través de insectos sobrevivientes en residuos de granos de la campaña anterior. Debido a estas circunstancias los granos suelen estar infestados con insectos al momento de realizar el embolsado.

- **Efecto de la temperatura sobre los insectos**

La temperatura juega un papel importante en el comportamiento y desarrollo de especies como *Sitophilus oryzae*. Por encima de 50°C la muerte de los insectos se produce en minutos, por encima de 35°C se produce la detención del desarrollo de los insectos en el almacenamiento. Las temperaturas dentro del rango 32-35°C y 25-19°C son las óptimas y sub óptimas para el crecimiento y desarrollo de los insectos en el almacenaje, respectivamente. Temperaturas inferiores a los 15°C causan que los insectos mueran en días, o al menos que su desarrollo resulte afectado (Fields, 1992).

El trigo se cosecha al inicio del verano, por lo que durante un periodo largo de tiempo (4-5 meses) el grano estará almacenado a temperatura dentro de un rango óptimo o sub óptimo para el desarrollo de insectos (Abaloneet *al.*, 2009). En la etapa invernal es común que la temperatura del grano en la bolsa se encuentre por debajo de 15°C, lo cual provocaría la detención del desarrollo de los insectos, evitando el daño económico del producto. En Argentina no se permite la comercialización de granos con insectos vivos, siendo obligatorio su control (SAGPyA, 2004), por lo que si el grano que se almacenó en el silo-bolsa contiene insectos vivos, y este será comercializado en la época cálida del año, es muy posible que el productor o acopiador deba realizar algún tipo de control de insectos previo a su comercialización.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características del ensayo

El trabajo fue realizado durante el mes de agosto y septiembre del año 2009 en el establecimiento “El Monerio” cercano a la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina, ubicado a 37° 45´ de latitud sur y 58° 18´ de longitud oeste y a una altitud de 130 m s.n.m.

El experimento fue llevado a cabo en dos bolsas plásticas herméticas con trigo entre 10,2 y 11,8 % de humedad. Una bolsa se utilizó para el tratamiento con CO₂, mientras que la otra se utilizó como testigo. El ensayo fue conducido en bolsas aparentemente sanas y de correcta confección protegidas por cerco eléctrico perimetral. La longitud de ambas bolsas fue de 50 metros aproximadamente con un diámetro de 2,74 metros, conteniendo una cantidad cercana a 180 tn de trigo cada una.

Se elaboraron porta celdas de caños de pvc de 7,5 cm de diámetro por 150 cm de largo. En el laboratorio, cada caño fue perforado en espiral con el fin de permitir el intercambio de gases entre el interior del mismo y el medio exterior. En uno de los extremos se colocó un taco de madera puntiagudo con la función de facilitar su inserción en la bolsa. El otro extremo permaneció abierto, lugar por donde se colocaron las tres celdas internas que contenían los gorgojos (Figuras 1a y 2a). Cada caño se cargo con tres celdas internas (Figura 1b) abarcando, una vez insertado en la masa de granos, tres estratos en la bolsa, superior, medio e inferior (Figura 1a).

Porta celdas perforado

Trigo + Gorgojos

Celdas Internas

a)

b)

Malla de tul

Figura 1. Esquema de caño porta celda perforado con las tres celdas (a) y detalle de celdas interna con gorgojos (b).



a)

b)

c)

Figura 2. a) Imagen de tubos porta celdas armados; b) imagen de trigo con gorgojos; c) celdas internas armadas.

Las celdas internas fueron elaboradas con caño de pvc de 3,5 cm de diámetro por 15 cm de largo. En el interior se relleno con trigo y 10 gorgojos adultos (*Sitophilus oryzae*) (Figura 2b), los extremos se cerraron con malla de tul, la cual impedía el paso de los insectos pero a la vez dejaba en contacto el medio interior con el exterior para un adecuado intercambio de gases (Figura 2c).

El día 14/08/09 fueron instaladas 12 porta celdas con insectos, en cuatro puntos de la bolsa destinada al tratamiento con CO₂ (3 porta celdas por sitio). Los lugares de colocación de las celdas fueron en el punto de inyección, a diez metros del punto de inyección, a veinte metros del punto de inyección y el último en el extremo de cierre de la bolsa, aproximadamente a veinticinco metros del punto de inyección. (Figura 3).

Figura 3. Punto de inyección, estaciones de monitoreo de CO₂, puntos de purgado y sitios de inserción de celdas con insectos en la bolsa con tratamiento de CO₂.

En la bolsa testigo se colocaron celdas con insectos en un solo punto de la bolsa (mitad de la bolsa) (Figura 4). Se instalaron 3 tubos porta celdas dispuestos en forma de abanico (cada celda fue previamente rotulada) (Figura 4).

Celdas con Insectos

3

1

Figura 4. Sitio de inserción de tubos porta celdas con insectos en la bolsa testigo.

2

Figura 4. Sitio de inserción de tubos porta celdas con insectos en la bolsa testigo.

Una vez colocadas las celdas se selló herméticamente la superficie de la bolsa con cinta adhesiva de plomo y adhesivo siliconado para restablecer la hermeticidad (Figura 5a, b y c).



a)

b)

c)

Figura 5. Detalle de la colocación de lostubos porta celdas con insectos. a) disposición de lostubos porta celdas en un sitio de inserción; b) tubos porta celdas insertados en el grano y c) sellado de la bolsa.

Posterior a la instalación de las celdas en la bolsa con el tratamiento de CO_2 , en la mitad de la bolsa se insertó una lanza de hierro galvanizado de 180 cm de longitud y de 2,5 cm de diámetro. La misma fue construida en el Laboratorio de Postcosecha de Granos de la Unidad Integrada Balcarce. En el tercio inferior la lanza tiene perforaciones para permitir la inyección de CO_2 hacia la masa de granos. En el otro extremo se agregó un acople con rosca de media pulgada, donde se conecto posteriormente una serpentina, que conduciría el CO_2 del condensador a la lanza (Figura 6).



a)

b)

Figura 6. Imagen de la lanza de inyección; a) lanza instalada; b) detalle del extremo inferior de la lanza.

Para el cálculo de estimación de los litros de CO₂ requerido para alcanzar el 80% de concentración en una bolsa de 50 metros que contiene aproximadamente 180 tn de grano, se consideró que la densidad volumétrica del trigo es 770 kg/m³. Para obtener el volumen total de la bolsa (V_t) se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Eq 1} = V_t = t / d = 180 \text{ tn} / 0,77 \text{ tn/m}^3 = \mathbf{233,7 \text{ m}^3}.$$

Donde t = toneladas almacenadas, tn y d = densidad (tn/m³)

El trigo tiene un espacio poroso del 40% (ASAE 2001), por lo que el volumen de aire intergranario (VAI) se calculó:

$$\text{Eq 2} = \text{VAI} = V_t * \% p = 233,7 \text{ m}^3 * (40\%/100) = \mathbf{93,5 \text{ m}^3}.$$

Donde % p = porcentaje de porosidad de la masa de grano, % y V_t= volumen total de la bolsa, m³.

El objetivo es lograr 80% de CO₂ en el espacio intergranario, por lo que el volumen

de gas a inyectar (VGI) es :

$$\text{Eq 3} = \text{VGI} = \text{VAI} * (\text{concentración deseada (\%)} / 100);$$

$$\text{VGI} = 93,5\text{m}^3 * (80/100) = \mathbf{74.8\text{m}^3}$$

El cálculo realizado para estimar los litros de CO₂ (l CO₂) necesarios para alcanzar el 80% de concentración es:

$$\text{Eq 4} = \text{litros CO}_2 = \text{Volumen de CO}_2 (\text{m}^3) / \text{volumen de CO}_2 \text{ por litro}$$

$$= (74.8 \text{ m}^3 / 0,5134 \text{ m}^3/\text{l}) = \mathbf{146,6 \text{ l CO}_2}.$$

El purgado del aire intersticial durante la inyección de CO₂ se realizó a través de 4 caños de pvc (de 2,47 cm de diámetro por 120 cm de largo) colocados en ambos extremos de la bolsa (Figura 7).

a)



b)



Figura 7. Caños de purgado; a) extremo izquierdo; b) extremo derecho

La inyección del CO₂ fue realizada por personal especializado de la empresa Air Liquide (Mar del Plata, Argentina) (Figura 8). Se utilizaron dos termos que contenían el

CO₂ en forma líquida (Figura 8) y mangueras para unir el termo al gasificador o evaporador y este a la bolsa. La función del gasificador es pasar el CO₂ almacenado en forma líquida a estado gaseoso.



a)

b)

c)

Figura 8. Armado e inyección a) descarga de termos; b) termos CO₂, gasificador y mangueras; c) lanza de inyección conectada

La inyección de CO₂ continuó hasta que se superó el 80% de concentración en los extremos de la bolsa, ya que estos eran los puntos más alejados del sitio de inyección del gas. Inmediatamente después que se logró la concentración deseada se procedió a interrumpir la inyección y a la extracción de la lanza y los 4 caños de purgado, sellando herméticamente cada una de las perforaciones con cinta adhesiva de plomo.

Por último, transcurrido el proceso de medición se procedió a retirar el día 08/09/09 las celdas con insectos de ambas bolsas, sellando cada abertura utilizando cinta adhesiva de plomo para preservar la hermeticidad del sistema y la calidad del cereal almacenado.

3.2 Mediciones y observaciones

3.2.1 Caracterización de la calidad del grano

Previo al inicio del ensayo se tomaron muestras de cereal en tres zonas de la bolsa (centro y ambos extremos) introduciendo un calador de 1,8 mts de longitud (Figura 9). Las muestras tomadas se vertieron en un catre con el fin de estratificar la muestra en tres niveles, superior, medio e inferior (Figura 10). Posteriormente se almacenaron en bolsas herméticas tipo ziploc correctamente identificadas, con el objetivo de determinarle humedad y peso hectolítrico en laboratorio.

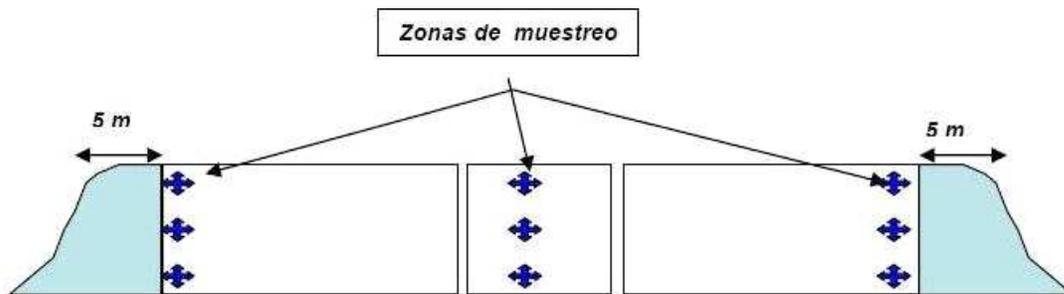


Figura 9. Diagrama de la bolsa con las tres zonas de muestreo de grano.

- a)
- b)

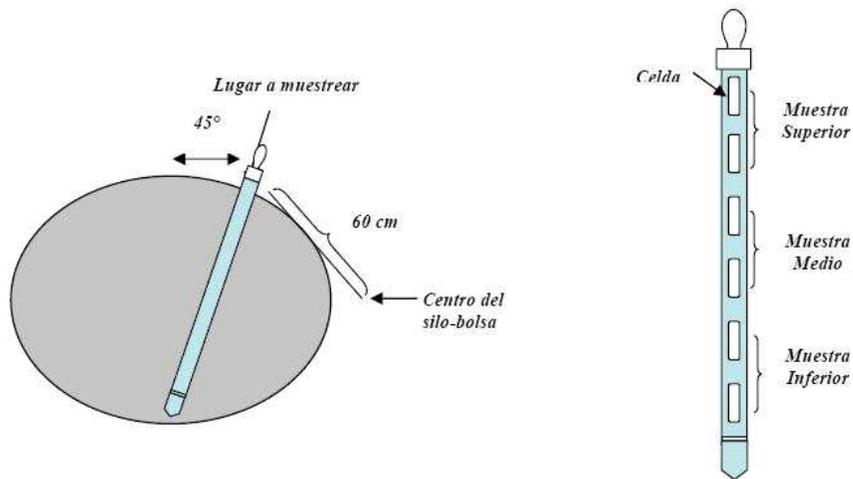


Figura 10. Diagrama con a) detalle de la zona de muestreo y b) calador separado por estratos.

3.2.2 Medición de temperatura y CO₂ inicial

Se midió temperatura de la masa de granos con una sonda con termocuplas en tres estratos, que representan la temperatura del grano en la parte superior, media e inferior. Se midió también la concentración de CO₂ y O₂ en los tres estratos. La medición de CO₂ se realizó con un medidor portátil de gases (Checkpoint PBI, Dan

Sensor, Dinamarca) (Figura 11).



Medidor portátil

Sensor

Tubopvc

b)

a)

Figura 11. a) Diagrama del sensor de temperatura y b) fotografía del medidor de gases.

3.2.3 Medición de CO₂ durante la inyección

Una vez iniciada la inyección, se procedió a tomar secuencialmente lecturas de CO₂ con el medidor portátil de gases (Figura 12), cada 10 minutos hasta el momento en el que se alcanzó superar el 80% de concentración de CO₂ en todos los sitios de medición, momento en que se consideró finalizada la etapa de inyección del gas.



Figura 12. Estación de medición marcada con el número 3.

3.2.4 Medición de CO₂ luego de la inyección



Al finalizar el proceso de inyección

se comenzó con secuencia de mediciones cada una hora, durante las primeras 9 horas, continuándose luego cada 24 hs durante 15 días.

3.2.4.1 Cálculo de eficiencia de purgado

La eficiencia de purgado (EP) fue calculada en base a lo propuesto por Bartosik *et al.* 2001, como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Eq 5} = EP &= [CF * Vd / Vg] * 100 \\ &= [0.86 * 93 \text{ m}^3 / 136 \text{ m}^3 \text{ CO}_2] * 100 = \mathbf{58.8\%} \end{aligned}$$

Donde CF es la concentración final del CO₂, en decimales, Vd es el volumen del espacio poroso en m³ (Eq 2). Vg es el volumen inyectado de gas.

3.2.5 Control de mortalidad de insectos

Finalizadas las mediciones de CO₂ el día 08/09/09, y retirados los tubos porta celdas, en el Laboratorio de Poscosecha de Granos de la EEA Balcarce se registró la mortandad de insectos en las diferentes secciones de la bolsa, a través del conteo de

insectos muertos (Figura 13).



a)

b)

Figura 13. a) Muestra de trigo con gorgojos y b) gorgojo adulto vivo.

Luego de realizar el conteo de mortalidad de adultos, las muestras de trigo extraídas de las celdas fueron incubadas para acelerar posibles eclosiones de huevos sobrevivientes en estufa durante 30 días a 30 °C y luego se volvió a controlar presencia de insectos.

4. RESULTADOS

4.1 Fase de purgado

Durante la fase de inyección se consumieron 270 litros de CO₂ para lograr una concentración de al menos 86%. De acuerdo a la ecuación de eficiencia de purgado (Eq 5), la eficiencia fue de 58.8% cuando se consideró una concentración final de 86%, mientras que cuando la concentración final se consideró del 100% (concentración final alcanzada en todos los puntos, salvo el de la estación 5 del lado posterior izquierdo) la eficiencia de purgado fue de 68%.

- **Lado anterior derecho**

La inyección comenzó a las 11:15hs. En la estación de muestreo 1 (1 m desde el punto de inyección) el nivel de CO₂ rápidamente alcanzó valores cercanos al 100% a las 13:00hs. La estación 2 (3 m) se comportó de manera similar a la anterior, alcanzando en el mismo tiempo el 100% de CO₂. La estación 3 (10 m) alcanzó valores de 100% a las 14:30 hs. La estación 4 (15 m) logró alcanzar el 100% de concentración del gas a las 14:45 hs. Por último la estación 5 (20 m) alcanzó un nivel máximo de 98% de CO₂ a las 16:05hs (Figura 14.)

Figura 14. Evolución del CO₂ en la fase de purgado para las distintas posiciones del lado anterior derecho de la bolsa.

Las pequeñas disminuciones en la concentración observadas durante la fase de purgado (Figuras 14 y 15) entre las 12:30 y 13:00 hs y entre las 13:30 y 14:00 hs, fueron por causa de problemas de congelamiento en el sistema de gasificación del CO₂. Estos problemas fueron solucionados reduciendo el flujo de salida de CO₂ del cilindro, evitando de esta manera el congelamiento del sistema y logrando una inyección constante y estable de CO₂.

- **Lado Posterior Izquierdo**

En la estación de muestreo 1 (1 m) el nivel de CO₂ rápidamente alcanzó valores cercanos al 100% a las 13:00hs. La estación 2 (3 m) alcanzó el 100% de CO₂ a las 13:17 hs. La estación 3 (10 m) alcanzó valores de 100% a las 15.15 hs. La estación 4 (15 m) logró alcanzar el 100% de concentración del gas a las 16:00 hs. Por último, la estación 5 (20 m) alcanzó un nivel máximos de 86% de CO₂ a las 16:10hs. Este punto fue el que más tardó en superar el umbral de 80% de concentración y una vez superado se dio por concluida la fase de purgado (Figura 15).

Figura 15. Evolución del CO₂ en la fase de purgado para las distintas posiciones del lado posterior izquierdo de la bolsa.

- **Tiempo en alcanzar el 80% de CO₂ en la bolsa**

En la figura 16 podemos ver el tiempo que tardó cada uno de los puntos de medición en el alcanzar la concentración objetivo de 80%. Como era esperable, a mayor distancia desde el punto de inyección, mayor tiempo demandado para alcanzar el 80% de concentración. Los puntos más cercanos (1 metro de distancia) lograron la concentración objetivo en menos de 1 hora, mientras que los puntos más lejanos (20 metros de distancia) demandaron entre 4 y 4 ½ horas. De las observaciones de la figura 16 se puede apreciar que por cada 5 metros de incremento de la distancia desde el punto de aplicación el tiempo necesario para lograr el 80% de concentración aumentó 1 hora.

Figura 16. Tiempo requerido para alcanzar al menos 80% de concentración a distancias creciente (m) desde el punto de inyección.

- **Evolución del CO₂ en el tiempo (fase de mantenimiento)**

En la figura 17 se muestra la evolución de la concentración de CO₂ en el lado anterior derecho de la bolsa. En este caso se puede apreciar que a 1 m de distancia desde la aplicación, y especialmente a 3 m, la concentración de CO₂ cayó rápidamente por debajo de 40% a las 80 y 10 horas, respectivamente. Esto indicaría algún problema de hermeticidad de la bolsa en dicha zona. Si bien la bolsa fue revisada y no se observaron roturas aparentes, es posible que en la parte inferior de la bolsa, en contacto con el piso, hayan existido perforaciones invisibles por las cuales se escapó el gas. En el extremo de la bolsa (15 y 20 m) la concentración de CO₂ se mantuvo por encima de 40% durante 200 hs, y por encima de 20% durante más de 300 hs.

1 metro
3 metros
10 metros
15 metros
20 metros

1 metro
3 metros
10 metros
15 metros
20 metros

Figura 17. Evolución de la concentración de CO₂ en el tiempo en las distintas estaciones de medición en el lado anterior derecho

1 metro
3 metros
10 metros
15 metros
20 metros

Figura 17. Evolución de la concentración de CO₂ en el tiempo en las

distintas estaciones de medición en el lado anterior derecho

En la figura 18 se muestra la evolución de CO₂ a través del tiempo del lado posterior izquierdo. Al comienzo de la fase de mantenimiento la concentración de CO₂ es máxima para cada punto (cercano al 100%). La concentración comienza a descender inmediatamente después de finalizada la inyección de manera relativamente rápida hasta alcanzar valores entre 40 y 60% a las 100 horas. Luego, la tasa de pérdida de CO₂ parece decrecer por lo que la caída de concentración se hace menos pronunciada. A las 400 horas de finalizada la inyección la concentración de CO₂ en el lado posterior izquierdo de la bolsa estuvo entre 20 y 40 %.

Figura 18. Evolución de la concentración de CO₂ en el tiempo en las distintas estaciones de medición en el lado posterior izquierdo.

- **Evolución de ct – producto**

- **Lado anterior derecho**

Tres de las cinco estaciones de muestreo superaron el valor de 12600% hsct – producto. La primera en hacerlo fue la estación 5, alcanzando dicho valor en un tiempo cercano a las 207 horas. La estación 4 superó dicho valor a las 255 horas y la estación 3 en 329 horas. Las estaciones 1 y 2 no lograron superar el valor de 12600 ct – producto al finalizar el ensayo, alcanzando la primera un valor de 10100 ct – producto en 400 horas, y la segunda 6300 ct – producto (Figura 19). Cabe mencionar que el ct-producto se dejó de computar cuando la concentración de CO₂ cayó por debajo de 20% (establecida como mínima concentración efectiva).

Objetivo de control

Figura 19. Evolución de ct – producto (% hs) para las distintas estaciones del lado anterior derecho de la bolsa

4.2.2 Lado posterior izquierdo

La tendencia de la evolución del parámetro ct-producto para el sector posterior izquierdo fue similar al anterior derecho. Las cinco estaciones de muestreo superaron el valor de 12600 ct – producto. Las primeras en hacerlo fueron la estación 20, 15 y 10 metros, alcanzando dicho valor en un tiempo cercano a las 180 horas. Las estaciones 1 y 3 metros superaron dicho valor a las 280 horas aproximadamente. (Figura 20).

Objetivo de control

Figura 20. Evolución de ct – producto (% horas) para las distintas estaciones del lado posterior izquierdo de la bolsa.

4.3 Mortalidad de Insectos

- **Testigo**

La mortalidad promedio de las celdas de insectos en el testigo fue de 87%, 87% y 90% para las repeticiones I a III, respectivamente. Los resultados se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Gorgojos vivos en las tres repeticiones y en los tres niveles en la bolsa testigo y promedio de mortalidad para las tres repeticiones.

Testigo	Repeticiones		
	I	II	III
Superior	2	3	0
Medio	0	0	1
Inferior	2	1	2
Promedio	1,33	1,33	1
Mortandad %	87	87	•

4.3.2 Mortalidad de insectos en la bolsa tratada

Las celdas extraídas de la bolsa tratada a 1,5; 10 y 20 m desde el punto de inyección del lado posterior derecho no dieron recuento positivo de insectos vivos en ningún nivel, indicando 100% de mortalidad. Se detallan los resultados en la tabla 3.

Tabla 3. Recuento de gorgojos vivos en tres estaciones de control (1,5; 10 y 20 m de distancia desde la aplicación), en tres niveles dentro de la bolsa (superior, medio e inferior) y porcentaje de mortandad promedio.

Distancia desde punto de inyección	Repetición		
	I	II	III
1,5 metros			
Superior	0	0	0
Medio	0	0	0
Inferior	0	0	0
Promedio	0	0	0
Mortandad %	100	100	100
10 metros			
Superior	0	0	0
Medio	0	0	0
Inferior	0	0	0
Promedio	0	0	0
Mortandad %	100	100	100
20 metros			
Superior	0	0	0
Medio	0	0	0
Inferior	0	0	0
Promedio	0	0	0
Mortandad %	100	100	100

4.4 Temperatura y humedad del grano en la bolsa testigo y en el tratamiento.

En las tablas 4 y 5 se detallan los valores de temperatura y humedad de los granos en diferentes estratos en la bolsa testigo y tratamiento, respectivamente. Como es de esperar, la temperatura del grano en ambas bolsas fue similar (entre 12 y 14 °C) ya que se encontraban ubicadas en la misma localidad y la medición se realizó en el mismo período de tiempo. Por otra parte se puede apreciar que la humedad de la bolsa testigo fue entre 10,2 y 10,5% mientras que la bolsa tratada estuvo en un rango de 11,5 a

11,8% ligeramente superior. Ambas bolsas contenían trigo con humedad sensiblemente inferior a la humedad de recibo (14%).

Tabla 4. Temperatura y humedad en tres estratos, superior, medio e inferior del silo bolsa testigo.

Testigo	Temp	H°
Superior	13	10.5
Medio	12	10.2
Inferior	14	10.3

Tabla 5. Temperatura y humedad en tres estratos, superior, medio e inferior del silo bolsa tratado.

Tratada	Temp	H°
Superior	13	11.8
Medio	12	11.5
Inferior	12	11.6

Discusión

5.1 Fase de purgado

Observando las figuras 14 y 15 (purgado de la bolsa plástica) se puede apreciar que a mayor distancia del punto de inyección, el tiempo en alcanzar una concentración superior al 80% de CO₂ aumenta. A medida que aumenta la concentración en el punto de inyección el gas avanza hacia los extremos, desplazando el O₂ en el interior de la bolsa plástica desde el punto de inyección (centro de la bolsa) hasta el punto de purgado (extremos de la bolsa). Este genera un retraso en alcanzar altos niveles de CO₂ en los extremos de la bolsa plástica. El tiempo total de inyección para lograr una concentración mínima de 80% en la totalidad de la bolsa fue de 255 minutos.

Teniendo en cuenta el consumo total de CO₂ (270 litros) y el tiempo total de inyección efectivo (200 minutos descontando las interrupciones mencionadas), obtenemos una tasa de inyección de 141 litros/h. Estos valores pueden compararse con los obtenidos por Bartosik *et al.* 2001, donde inyectaron CO₂ en un silo de chapa. En ese trabajo fueron utilizados 179 litros de CO₂ a una tasa de inyección de 269 litros/h, con una eficiencia de purgado del 69% y con una pérdida durante el purgado de 82,7 litros/h. El tiempo de purgado fue de 40 minutos.

5.2 Mantenimiento

Una vez alcanzado el nivel objetivo, la concentración de CO₂ desciende a medida que las horas pasan, con una tasa promedio de 0,165 puntos porcentuales por hora. Analizando estación por estación se obtienen valores que van desde el 0,130 hasta 0,200 puntos porcentuales por hora, indicando 4 puntos porcentuales de pérdida por día aproximadamente. Dichas variaciones pueden ser explicadas por falta de hermeticidad en determinadas partes de la bolsa. Comparando con un trabajo similar realizado en una estructura hermética denominada "Volcanic cube" por Navarro *et al.* (2000) vemos que la pérdida porcentual por día llega al 3%, valores similares a los encontrados en el silo bolsa de este ensayo. Por otra parte, otros trabajos indican que las bolsas plásticas en general son mucho más herméticas que los silos de chapa. Las pérdidas de CO₂ registradas una vez alcanzado 60% de CO₂ en un silo convencional sin reinyección

fueron de 23 puntos porcentuales por día (Bartosik *et al.*, 2001). En un trabajo realizado por Alagusundaram (1993) en silos (40 tn) sin sellar, se informó que la pérdida por día puede variar entre el 20 y el 50%.

Estos datos evidencian que la hermeticidad del sistema es clave para asegurar un adecuado tratamiento.

En Australia se ha adoptado un método para medir la hermeticidad de bolsas plásticas, llamado test de caída de presión. Este es un sistema fácil de aplicar, se requiere de equipamiento simple y es rápido de llevar a cabo. Este test no identifica el lugar de las roturas, ni el tamaño de las mismas, solo da el nivel de hermeticidad (Chantler 1984; Andrewset *al* 1994; Annis 2001; Banks 1997; Newmanet *al* 2003). Este test fue desarrollado para evaluar la hermeticidad de las estructuras de almacenaje fijas (Banks, 1984) y consiste en medir el tiempo en el que la presión generada en el interior de una estructura de almacenamiento disminuye a la mitad de su valor inicial. Valores de 3 a 5 minutos para alcanzar la mitad de la presión son considerados como altos y garantizan una buena hermeticidad del sistema.

En Australia se llevó a cabo una experiencia de test de hermeticidad utilizando 4 bolsas plásticas de 100 tn confeccionadas correctamente, evitando roturas y con un correcto sellado. Se tomaron las mediciones de caída de presión en el tiempo, y como resultado se obtuvo que dos de las bolsas registraron un tiempo de 20 minutos de media estándar de caída de presión, y las otras dos arrojaban tiempos por arriba de 5 minutos. A los 6 meses de almacenamiento en el campo se realizó una nueva medición en la que dos de las bolsas superaban los 5 minutos y una los 4 minutos. Esto demuestra que la hermeticidad de las bolsas plásticas puede ser muy buena, pero disminuye con el tiempo (DarbyyCaddick, 2009). Posteriormente se llevó a cabo un relevamiento a campo sobre 30 bolsas plásticas. En este caso solo unas pocas lograban mantener la presión, y solo una alcanzaba valores de 2 minutos. Estos valores nuevamente confirman el hecho que la hermeticidad de las bolsas a campo es variable y que puede disminuir en el tiempo (DarbyyCaddick, 2009).

Un trabajo sobre fumigación con fosfina en bolsas plásticas desarrollado por Cardoso *et al.* (2009), indica que la caída en los niveles de fosfina es relativamente rápido cerca del punto de cierre de la bolsa, demostrando que la hermeticidad de las mismas puede ser baja si la confección no es óptima. Este diagnóstico coincide con el relevamiento a campo realizado en Australia y anteriormente mencionados.

Analizando los resultado obtenidos en el presente trabajo se puede observar que los

valores ct – producto alcanzados aumentan en los sitios más lejanos al punto de inyección (centro de la bolsa). Esto puede estar relacionado con alguna rotura cercana a dicho punto, lo que causó que los niveles de CO₂ descendieran más rápidamente en el centro de la bolsa una vez sellada la bolsa plástica, cuando se retiró la lanza de inyección. Sin embargo, en las zonas con mayor hermeticidad supuesta (extremos), los valores de ct – producto logrados se aproximaron a 12600. Bank y Annis (1990) comprobaron que con valores cercanos a este se obtenía un control efectivo sobre plagas en los granos almacenados en los cuatro estadios de los insectos (huevo, larva, adulto y pupa), siempre que la concentración efectiva no bajara de 20%. En base a estos resultados, es de tener en cuenta que se lograron condiciones de control de insectos en las estaciones de 15 y 20 metros de ambos lados, mientras que en el resto de la bolsa la concentración se redujo por debajo de 20% antes de acumular las horas de exposición necesarias. Esto indicaría que, para lograr un control efectivo de todas las especies en todos sus estadios se debería trabajar con bolsas con mayor nivel de hermeticidad, o bien considerar una reinyección del gas para mantener su concentración.

Por los motivos expuestos anteriormente surge como recomendación realizar algún tipo de test de hermeticidad a las bolsas previo a un tratamiento de inyección de gas. Esto permitiría determinar con antelación la factibilidad del tratamiento o la necesidad de una posible reinyección del gas fumigante luego de la fase del purgado (inyección de mantenimiento).

5.3 Control de insectos

En el presente trabajo se observó que el total de los adultos de *Sitophilus orizae* colocados en las celdas resultaron muertos con el tratamiento aplicado (mortalidad de 100%). En forma coincidente, Bartosik *et al.* (2001) lograron el control total de adultos de *Sitophilus orizae* con valores de ct-producto desde los 6400 a los 15000, siendo el estadio de adulto el más sensible al CO₂.

La combinación de alta concentración de CO₂ en la bolsa (ct-producto entre 18000 % h y 6000 %h para toda la bolsa) y la baja temperatura (13°C) de la masa de granos resultaron en la total mortalidad de los insectos. La evaluación del efecto de la atmósfera modificada se realizó sobre adultos, los cuales están referenciados como

uno de los estadios más sensibles. Sería probable esperar que en una infestación donde estadios más resistentes estuvieran presentes (ej. huevos), probablemente el efecto de control en las zonas de la bolsa donde no se alcanzaron las 12600 %h hubiera sido inferior.

Por su parte, el nivel de mortalidad en la bolsa testigo fue elevado (88%). La concentración de CO₂ de la bolsa testigo fue entre 1 y 2 % durante el tratamiento. Estos valores de CO₂ son consistentes con los valores típicos encontrados en bolsas de trigo con 12% de humedad (Rodríguez *et al.*, 2008). Según Bank y Annis (1990) dicha concentración de CO₂ no produce ningún efecto significativo de control, por lo que la mortalidad observada en el testigo no puede ser adjudicada al efecto de la atmósfera modificada. Según Fields (1992), la temperatura juega un papel importante en el comportamiento y desarrollo de estas especies, como así también en su mortalidad. Por encima de 50°C la muerte de los insectos se produce en minutos, por encima de 35°C se produce la detención del desarrollo de los insectos en el almacén. Las temperaturas dentro del rango 32-35°C y 25-19°C son las óptimas y sub-óptimas respectivamente para el crecimiento y desarrollo de los insectos en el almacenaje. Temperaturas inferiores a los 15°C causan que los insectos mueran en días.

Dada la fecha en la que este trabajo fue llevado a cabo (entre el 15 de agosto y el 08 de septiembre), las temperaturas medias del grano en la bolsa rondaron entre 10 - 15 °C, por lo que esto pudo ser una de las causas de la alta mortalidad en el testigo. En un trabajo similar realizado por Bartosik *et al.* (2004) con temperaturas cercana a los 20 °C, las celdas con insectos en el testigo arrojaron valores inferiores al 35% de mortalidad en adultos de *Sitophilus oryzae*.

CONCLUSIONES

- La metodología implementada resultó adecuada para lograr condiciones de control de insectos en bolsas plásticas herméticas mediante la inyección de CO₂.
- La metodología de inyección propuesta permitió alcanzar los niveles prefijados de CO₂, (80% como mínimo) en toda la bolsa en un tiempo razonable.
- Durante la fase de purgado la concentración de CO₂ aumentó desde el punto de inyección (central) hacia los sitios de purgado (extremos). El tiempo demandado en lograr la concentración objetivo se incrementó 1 hora por cada 5 m de distancia del punto de inyección.
- El nivel de hermeticidad de la bolsa plástica fue dispar. En algunos sitios se logró mantener una concentración de CO₂ mayor a 20% durante el periodo requerido para el control de los insectos. En el sitio de mayor hermeticidad la concentración de CO₂ fue de 36% al finalizar el ensayo (luego de 200 horas), mientras que en el de menor hermeticidad la concentración cayó a 12%.
- En algunas de las estaciones de muestreo se alcanzaron y superaron los valores de control – producto objetivo (12600), mientras que en otras la relación ct-producto alcanzada antes de perder la concentración efectiva (20%) fue de 6500 % hora.
- Para lograr la concentración efectiva de control en la totalidad de la

bolsa durante el tiempo de exposición necesario para lograr un ct-producto de 12600 % hs sería necesario incrementar el nivel de hermeticidad de la bolsa y/o considerar la re-inyección del gas fumigante.

- El control de los insectos colocados en las celdas fue total en todos los puntos de muestreo, aún en aquellos donde la relación ct-producto no alcanzó 12600 % hs. La baja temperatura del grano durante el período del ensayo pudo haber contribuido a incrementar la mortalidad.

- En base a las conclusiones, la hipótesis 1 *“el sistema de almacenamiento de granos en bolsas plásticas permite una eficiente introducción del gas fumigante (CO₂)”* se acepta, mientras que la hipótesis 2 *“el nivel de hermeticidad del sistema hace factible alcanzar una relación ct-producto de 12600 (recomendada para el control de insectos) sin tener que volver a realizar una re-inyección del gas fumigante”* se rechaza. Posiblemente la hipótesis 2 sea válida en una bolsa con mayor nivel de hermeticidad que la bolsa utilizada en este estudio.

-

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREWS, A.S.; ANNIS, P.C.; NEWMAN, C.R. 1994. Sealed storage technology on Australian farms. In Proc. 6th Int. Working Conf. Stored Prod. Protection. Highley, E., Wright, E. J., Banks, H. J. & Champ, B. R. (Eds.). CAB International, Wallingford, UK. pp27-36.
- ALAGUSUNDARAM K.; JAYAS D.S.; MUIR W.E.; WHITE N.D.G.; SINHA R.N. 1993. Distribution of introduced carbon dioxide in farm granaries: An experimental investigation. ASAE paper No. 93-6019, 10 p.
- BARTOSIK, R. E.; J.C. RODRIGUEZ,; D. E. MAIER. 2001. Effect of application point of CO₂ on its concentration and distribution in a non-aitight bin during purging and maintenance. ASAE Paper No. 01-6106, St. Joseph, MI 49085-9559: ASAE. 8 p.
- BARTOSIK, R. E.; MAIER E. D.; J.C. RODRIGUEZ. 2001. Effects of CO₂ dosage and exposure time on the mortality of adult and immature stages of Sitophilusoryzae. ASAE Paper No. 01-6110, St. Joseph, MI 49085-9559: ASAE. 9 p.
- BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; J. RODRÍGUEZ. 2008. Early Detection of Spoiled Grain Stored in Hermetic Plastic Bags (Silo-bags) Using CO₂ Monitoring. Proceedings del 8th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 21 al 26 de Septiembre de 2008, Chengdu, China.pp 550-554.
- BANKS, H.J.; ANNIS, P.C. 1977. Suggested procedures for modified atmosphere storage of dry grain. Division of Entomology Technical Paper CSIRO, AUSTRALIA, No. 13; 23p.
- BANKS, H.J.; ANNIS, P.C.; HENNING, R.C.; WILSON, A.D,1980. Experimental and commercial modified atmosphere treatments of stored grain in Australia, In: Shejbal, J. ed. Modified Atmosphere Storage of Grains.Amsterdam, Elsevier, pp 207-224.
- BANKS, H.J., 1984. Modified atmospheres - testing of storage structures for gas-tightness. In Proceedings of the Australian Development Assistance Course on the Preservation of Stored Cereals, Eds. Champ, B.R. and Highley, E., Canberra, CSIRO (Aust.) Division of Entomology. 2:533-543.
- BANKS, H.J.; ANNIS, P.C., 1990. Comparative advantages of high CO₂ and low oxigen types of controlled atmospheres for grain storage. In: Food Preservation by Modified Atmospheres. M. Calderon and R. Barkai-Golan, Eds. CRC Press, Boca Raton, FL. pp 93 – 122.
- CARDOSO, L.; BARTOSIK, R.; MILANESIO D. 2009. Phosphine Concentration Change During Fumigation in Hermetic Plastic Bags. CIGR Section5° International Symposium, 1 al 4 de Septiembre de 2009, Rosario, Argentina. 10 p.
- CASINI, C.; SANTAJULIANA, M., 2008. Control de Plagas en Granos Almacenados. 1 p.
- CHANTLER, D. 1984. The adoption of silo sealing by Western Australian farmers. In Controlled

Atmosphere and Fumigation in Grain Storages: Proceedings of an international symposium, B.E.Rippet *et al*, 1 to 3 of September of 1984, Amsterdam, Elsevier. pp 683-705.

- CROCE, D., 2008. Concentración de CO₂ en el aire intersticial de granos de trigo almacenados en bolsas plásticas herméticas. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 20 de marzo de 2009. 37 p.
- DARBY, E.; CADDICK, D., 2009. Review of grain harvest bag technology under Australian conditions.p 18.
- FAO, 2004. Seminario de difusión de resultados del Proyecto TCP/ARG/2903, “Evaluación de la capacidad, infraestructura, y logística de manejo poscosecha de OVM e identificación de estrategias para aplicar el artículo 18.2 a) del Protocolo de Cartagena”. 8 p.
- GINA, M.X., 2008. Importancia socioeconómica de los elementos. [en línea] <http://html.rincondelvago.com/compuestos-quimicos_3.html>[consulta: 02 de julio de 2008].
- GOBIERNO DE ISRAEL, 2002. Storing agricultural products under modified atmospheres. [en línea] <<http://old.agri.gov.il/Envir/mastorage/mastorage.html>> [consulta: 05 de marzo de 2009].
- LENNTECH, H., 2008. Nitrogeno – n. [en línea]<<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/n.htm>>[consulta: 18 de mayo de 2009].
- MANFREDI, L. 2006. Incidencia del “gorgojo del arroz” *Sitophilus oryzae* L: (Coleoptera: Curculionidae) y de la “palomita de los cereales”, *Sitotrogacerealella*(Oliv.) (Lepidoptera: Gelechiidae), en cultivos de maíz (*Zea mays*) convencional y transgénico. Tesis de grado, ingeniería Agronómica, FCA, UNMdP. 32 p:
- MITSUMA H., 1973. Mechanisms of carbon dioxide gas adsorption by grains and its application to skin-packaging (part1). J. Nutritional Sci. Vitaminol. 19: 71-83.
- NAVARRO, S.; DONAHAYE, E., 2005. Environmentally friendly technologies to maintain quality of durable agricultural produce. 218 p.
- NAVARRO, S., 2000. Critical limits of sealing for successful application of controlled atmosphere or fumigation, 1 p.
- NITROSWING®, 2009. PSA de nitrógeno. [en línea] <http://www.igs-global.com/espanol/nitroswing_tecnologia.php> [consulta: 23 de mayo de 2009].
- OCHANDIO, D., 2008. Factores que afectan la concentración de CO₂ en soja almacenada en bolsas plásticas herméticas. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 19 de diciembre de 2008. 37 p.
- PARRA, J., 2009 Fumigación con Fosfina: Seguridad y eficiencia. [en línea] <http://152.74.198.89/jaime_parra/escritorio_administrador/Jaime%201/JAIME/forestal%20casino/Seguridad%20y%20Eficiencia%20Degesch.pdf>

[consulta: 15 de marzo de 2009].

PRECOP, 2008. Eficiencia de Poscosecha: generación, desarrollo y difusión de tecnologías para aumentar la eficiencia de acondicionamiento, secado y almacenaje de cereales, oleaginosas y cultivos industriales del país. [en línea] <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/precop/2008/efic.htm>> [consulta: 10 de marzo de 2009]

RODRÍGUEZ, J.C.; BARTOSIK, R.; MALINARICH H.D.; EXILART, J.P.; NOLASCO, M., 2002. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag – Informe final de maíz. Fundación ArgenINTA. [en línea] <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmMaiz.pdf>> [consulta: 04 de abril de 2009].

RODRÍGUEZ, J.C.; BARTOSIK, R.; MALINARICH H.D.; EXILART, J.P.; NOLASCO, M., 2002. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag – Informe final de soja. Fundación ArgenINTA. [en línea] <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmSoja.pdf>> [consulta: 04 de mayo de 2009].

RODRÍGUEZ, J.C.; BARTOSIK, R.; MALINARICH H.D.; EXILART, J.P.; NOLASCO, M., 2002. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag – Informe final de girasol. Fundación ArgenINTA. [en línea] <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmGirasol.pdf>> [consulta: 04 de mayo de 2008].

RODRÍGUEZ, J.C.; BARTOSIK, R.; MALINARICH H.D., 2001. Almacenaje de granos en bolsas plásticas: sistema silobag – Informe final de trigo. Fundación ArgenINTA. [en línea] <<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/posco/granos/AlmTrigo.pdf>> [consulta: 04 de abril de 2008].

RODRÍGUEZ, J.; BARTOSIK, R.; CARDOSO, L.; D. CROCCE., 2008. Factors Affecting Carbon Dioxide Concentration in Interstitial Air of Wheat Stored in Hermetic Plastic Bags (Silo-bag). Proceedings del 8th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 21 al 26 de Septiembre de 2008, Chengdu, China.

SAGPyA, 2004. Calidad comercial de trigo. [en línea] <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/dma/calidad_trigo/publicaciones/nuevo_estandar_de_trigo_resolucion_126204.pdf> [consulta: 10 de enero de 2009].

SAGPyA, 2009. Estimaciones agrícolas mensuales cifras oficiales al 20/02/09. [en línea] <<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/pdfmensual/Estimaci%C3%B3n%20Mensual%20FEBRERO%202009.pdf>> [consulta: 20 de febrero de 2009].

UNIDAD MIXTA IRTA 2008. Carburos metálicos para el estudio de los gases aplicados al control de plagas de insectos y ácaros en la industria agroalimentaria. [en línea] <<http://www.irta.es/indexfr.asp?doc=/esp/que/serveis/protecgas.asp>> [consulta: 12 de enero de 2009].