

Almacenamiento en Silo Bolsa y Calidad del Grano

Bartosik, R.; Cardoso, L.; de la Torre, D.; Abadía, B.
 EEA INTA Balcarce, Ruta 26 km 73,5, Balcarce (7620), Argentina
 e-mail: bartosik.ricardo@inta.gob.ar

RESUMEN

El almacenamiento en silo bolsa irrumpió en el sistema de poscosecha de Argentina a partir de mediados de la década del '90. Debido a diversas ventajas del sistema, las toneladas almacenadas en silo bolsas incrementaron todos los años, hasta alcanzar los 35-40 millones anuales en los últimos 7 años. El INTA acompañó el crecimiento de esta tecnología de almacenamiento a través de generación y difusión de tecnologías apropiadas.

Este trabajo resume los resultados de las investigaciones que analizan el comportamiento de las variables sensibles del almacenamiento en silo bolsas (temperatura, humedad, concentración de gases), como así también las implicancias de innovaciones tecnológicas, sobre la calidad del maíz, soja, trigo, girasol, cebada cervecera, canola, arroz, maíz pisingallo, semillas y porotos. Los resultados finales indican que el grano seco (humedad relativa de equilibrio debajo de 65%) puede ser almacenado en silo bolsas por más de seis meses sin pérdida de calidad (medida como porcentaje de granos dañados por hongos, peso hectolítrico, test de germinación, acidez de la materia grasa, y parámetros nutricionales y organolépticos, entre otros). Cuando la humedad del grano se incrementa, la calidad comercial puede ser mantenida por algunos meses durante el invierno, y menos de tres meses en verano. En todos los casos, el mantenimiento de la hermeticidad de la bolsa es el factor clave para un almacenamiento exitoso.

Cuando el grano es almacenado en silo bolsas a una humedad que permite el desarrollo de hongos, por efecto de la atmósfera modificada la actividad de los hongos es menor comparada con una situación de almacenamiento bajo condiciones atmosféricas normales. Los silo bolsas tienen una tasa alta de intercambio de calor con el aire y el suelo (doble relación superficie/volumen que los silos regulares), por lo que la temperatura del grano dentro del silo bolsa es mayormente afectada por la temperatura ambiente, lo favorece la conservación del grano en invierno y dificulta el monitoreo de la actividad biológica a través de la temperatura.

Palabras claves: Silo bolsa, Granos, Calidad, Almacenamiento hermético, Temperatura, Humedad, Argentina.

ABSTRACT

Silobag storage entered the post-harvest system in Argentina by the mid-90s. Due to several advantages of such method, the amount of grain stored in silo bags increased every year, and have been in between 35 and 40 million tons yearly over the last 7 years. The National Institute of Agricultural Technology (INTA) has supported the adoption of this storage system by developing and expanding appropriate technologies.

This work summarizes the results of the investigations that analyze the behavior of the sensitive variables of silobag storage (grain temperature and moisture content, and hermetic environment gas concentration), as well as the effects of technological innovations on the quality of corn, soybeans, wheat, sunflower, malting barley, canola and beans.

The final results show that dry grains (equilibrium relative humidity below 67%) can be stored in silo bags for a period longer than six months with no quality loss (considering percentage of fungi damaged grains, test weight, germination test, fat acidity, and nutritional and organoleptic parameters, among others). When grain moisture content increases, marketing quality can be maintained for a few months in winter and for less than three months in summer. In all cases, the bag air-tightness is the key factor for successful storage.

When grains are stored in silo bags with a humidity that allows fungi development, due to the modified atmosphere, fungal activity is more reduced than in storage under standard atmospheric conditions. Silo bags have a high rate of heat exchange with the air and soil (double surface/volume ratio compared to regular silos), for this reason the grain temperature inside the silo bag is influenced by ambient temperature, which promotes grain conservation in winter and hampers the monitoring of biological activity through temperature.

Keywords: Silo bags, Grains, Quality, Air-tight Storage, Temperature, Humidity, Argentina.

1. ORIGEN DEL SILO BOLSA

La tecnología de almacenamiento en silo bolsa se utiliza en Argentina desde mediados de la década del '90 debido a diferentes factores, entre los que se pueden citar: la insuficiente capacidad de almacenamiento en instalaciones fijas, crisis económicas que llevaron a la quiebra de acopios comerciales y despertaron en el productor la necesidad de almacenar su propio grano, necesidad de diferir del envío del grano al acopio de la cosecha para reducir costos de flete y comercialización, entre otras.

Una vez instalada la tecnología, hacia fines de la década del '90, ocurrieron una serie de avances que permitieron la difusión masiva del silo bolsa. Las empresas metalmeccánicas Argentinas comenzaron a desarrollar equipamientos específicos: las embolsadoras de grano seco, resultando como estándar de la industria las máquinas para bolsas de 9 pies; las extractoras con la capacidad y versatilidad de uso adecuadas; las tolvas autodescargables que permitieron acoplar la creciente capacidad de trilla de las cosechadoras con el almacenamiento en silo bolsas. A su vez, el INTA comenzó a realizar investigaciones para sentar las bases técnicas del almacenamiento en silo bolsa.

Durante la década del 2000 la producción de granos en Argentina tiene un salto significativo, el cual no fue acompañado en su total magnitud por la instalación de capacidad de acopio en estructuras permanente. A su vez, se expandió la frontera agrícola hacia zonas donde no había infraestructura de poscosecha consolidada (NEA, NOA), lejos de los puertos y con una red vial que podría ser problemática en tiempos de cosecha. Esto, sumado al creciente volumen de información técnica aportado por el INTA y otras instituciones, hizo que rápidamente el sistema de silo bolsa se expandiera hasta alcanzar los 35-40 millones de toneladas embolsadas en los últimos 7 años.

2. SILO BOLSA: SISTEMA DE ALMACENAMIENTO HERMÉTICO

Los silo bolsa son típicamente de 60 m de largo, 2.74 m de diámetro y la cubierta plástica tiene 235 micrones de espesor constituida por tres capas (con el interior negro y exterior blanco). Cada silo bolsa puede almacenar aproximadamente 200 toneladas de trigo (180 toneladas de soja).

Los silos bolsa, adecuadamente utilizados, presentan un alto nivel de hermeticidad (Cardoso et al., 2012), funcionando como sistemas de almacenamiento herméticos de atmósferas auto modificadas, donde los componentes bióticos del granel (granos, hongos, insectos) consumen el O_2 y generan CO_2 , suprimiendo gradualmente la actividad aeróbica con beneficios para la conservación de los granos.

2.1. Ambiente intergranario y relaciones

La figura 1 muestra un diagrama de los principales factores involucrados en el ecosistema del silo bolsa y la relación entre ellos. Basado en este modelo, la respiración de los granos, insectos, hongos y otros microorganismos presentes en el ecosistema de los granos consumen O_2 y generan CO_2 , calor y agua. El proceso de respiración también consume las reservas (energía) de los granos (almidón, aceite y proteínas), lo que puede ser cuantificado como pérdida de materia seca (PMS).

La respiración del grano es afectada por el tipo y condición del grano, el contenido de humedad (c.h.), la temperatura, el tiempo de almacenamiento, y las concentraciones de O_2 y CO_2 . Estos últimos dos factores marcan la diferencia entre la tasa de respiración de los granos en estructuras regulares de almacenamiento y estructuras herméticas.

La temperatura del grano en un momento dado depende de la temperatura inicial del grano al momento del embolsado (este efecto es menos importante a medida que se prolonga el periodo de almacenamiento), de la radiación solar, del calor liberado en el proceso de respiración, y de la transferencia de calor con el aire y el suelo en contacto con la bolsa. El c.h. del grano depende del c.h. inicial del grano, del ingreso de humedad del exterior (luego de una lluvia, a través de roturas o mal sellado del silo bolsa), y de la humedad liberada en el proceso de respiración. Además, dada la diferencia de temperatura entre el día y la noche, se puede producir transferencia de humedad desde una capa de granos hacia otra, resultando con sectores localizados de grano húmedo (normalmente capa superior o inferior).

Para cualquier momento particular, la concentración de CO_2 y O_2 en el silo bolsa depende del balance entre la respiración (consumo de O_2 y generación de CO_2), la entrada de O_2 exterior al sistema, y la pérdida de CO_2 al aire ambiente. El movimiento de gases desde y hacia el silo bolsa depende de la presión diferencial parcial del gas y de la permeabilidad del sistema (a través de aberturas en la cobertura de plástico, o a través de la permeabilidad natural a los gases del material plástico).

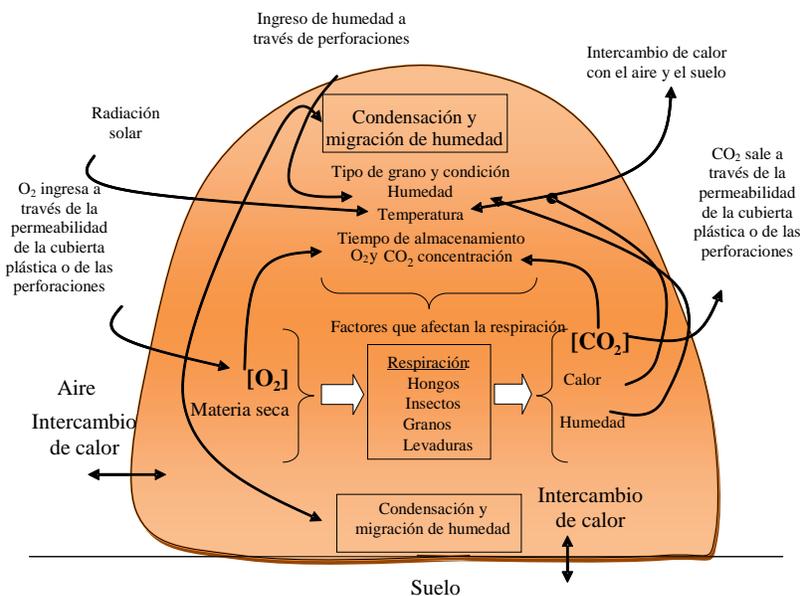


Figura 1. Diagrama de la sección de silo bolsa representando los principales factores que influyen el ecosistema del grano, la relación entre ellos y la relación con el medioambiente externo. Fuente: Bartosik, 2012.

2.1.1. Efectos de la temperatura ambiente

Bartosik *et al.* (2008) indicó que la temperatura del grano en la superficie muestra el patrón distintivo de la evolución diaria de la temperatura del aire ambiente, alcanzando su máximo al mediodía y el mínimo temprano en la mañana (Figura 2). La oscilación de la temperatura diaria disminuye con la profundidad del grano, siendo imperceptible a pocos centímetros de profundidad. Además se demostró que la temperatura promedio del grano en el silo bolsa sigue el patrón de la temperatura promedio ambiente a lo largo de la estación del año.

En un experimento de campo, se llenaron silo bolsas con trigo durante el verano con temperatura del grano cercana a los 40°C. El silo bolsa fue capaz de disipar el calor en el grano al aire ambiente y al suelo en un par de meses, reduciendo la temperatura del grano a menos de 17°C para principios de Mayo (Figura 2). Esto se puede explicar a través de la relación volumen/superficie, la cual es sustancialmente menor para silo bolsas (0,7 para silos de 200 toneladas) que para silos regulares con similar capacidad de almacenamiento (1,27 para un silo de 7 m de diámetro y 7 m de altura y de 200 toneladas de capacidad). Por otro lado, la soja y el maíz, cosechados durante el otoño y el invierno, fueron capaces de mantener la temperatura por debajo de los 17°C hasta principios de Noviembre. Resultados similares fueron reportados por Barreto *et al.* (2012) simulando los efectos de las condiciones ambientales en la temperatura de silo bolsas con trigo en diferentes regiones de Argentina.

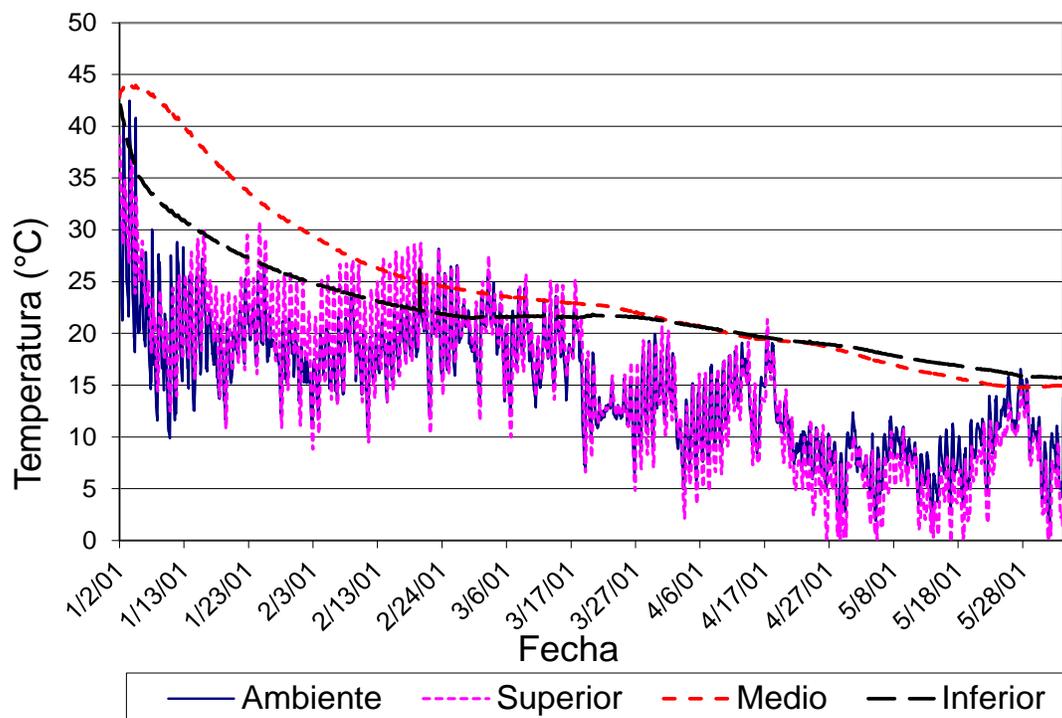


Figura 2. Patrón de temperatura a diferentes profundidades del grano (superficie, medio y parte inferior) durante el almacenamiento en silo bolsa de trigo, desde Enero a Junio. Fuente: Bartosik et al. (2008)

2.1.2. Efecto del contenido de humedad del grano

Dado que el silo bolsa está hecho de una cobertura de plástico hermética, no se debería experimentar variaciones de humedad durante el almacenamiento, a menos que agua de lluvia penetre a la bolsa a través de orificios en la misma. Gaston *et al.* (2009) mencionó que la diferencia de temperatura entre la capa superior y el resto de la bolsa causó una migración de la humedad del corazón de la masa de grano a la capa superior, y, en una menor extensión, a la capa inferior. La migración de humedad puede provocar que el c.h. aumente en determinadas capas de grano, incrementando el riesgo de decomposición del grano (y el deterioro de la calidad) en determinadas áreas del silo bolsa. Hasta la actualidad no está clara la magnitud del proceso de estratificación de la humedad durante el almacenamiento en silo bolsa. Gaston *et al.* (2009) consideró que el c.h. del grano, la temperatura del grano, la magnitud de la fluctuación de la temperatura y el tiempo afecta la magnitud de la estratificación del c.h.

Darby y Caddick (2007) reportaron estratificación de la humedad durante el almacenado de cebada seca ($\leq 11\%$ c.h.) bajo condiciones de Australia y en silo bolsas sin roturas. Esta estratificación incrementa el c.h. en la capa periférica a un 13% durante el invierno, pero se mantiene seco durante el verano con temperaturas por encima de los 30°C , lo que indica que el grano podría ser almacenado en perfectas condiciones hasta por seis meses. Por otro lado, Ochandio *et al.* (2009) no encontró estratificación de c.h. en silo bolsas con cebada con 12% c.h., incluso luego de 1 año de almacenamiento en Argentina.

En general, se observa que en caso de grano seco la estratificación de humedad resultaría insignificante, siendo más probable y de mayor magnitud durante el almacenamiento de grano húmedo).

2.2. Respiración de los componentes biológicos

Grano, insectos, hongos y otros microorganismos respiran, consumiendo componentes del grano y O₂ del medio ambiente, y liberando al medio ambiente intersticial CO₂, agua y calor.

El tipo de grano, el c.h., la temperatura, el tiempo de almacenamiento y las concentraciones de O₂ y CO₂ afectan la tasa de respiración. La mayoría de los factores que influyen en la respiración en los silos bolsas pueden ser modelados. Sin embargo, no existen aún correlaciones disponibles para predecir la tasa de respiración de los granos almacenados bajo condiciones de hermeticidad (entornos con oxígeno reducido), con excepción del trabajo reportado por Ochandio (2014) para soja. Con el objetivo de mejorar el modelado del almacenamiento bajo atmósferas modificadas y controladas es necesario generar adecuadas correlaciones para predecir la respiración en entornos con oxígeno reducido.

2.3. Permeabilidad

La transferencia de gases entre el interior y el exterior del silo bolsa depende de la diferencia de presión parcial del gas y la permeabilidad efectiva del silo bolsa a los gases (permeabilidad de la capa de plástico y perforaciones).

La permeabilidad de la capa de plástico puede ser medida o estimada basada en las características del material plástico (la mayoría de los silos bolsas están hechos de materiales similares y tienen similar espesor), pero la permeabilidad por perforaciones es más difícil de estimar dado que el tamaño, forma, lugar y número de perforaciones difiere substancialmente de bolsa a bolsa.

2.3.1. Cubierta de plástico

La permeabilidad del silo bolsa depende del espesor y de la composición del material, ambos determinados por el proceso de fabricación. En general, el silo bolsa está hecho de tres capas de plástico de 230 a 250 micrones de espesor, blanco por fuera y negro por dentro. Las capas de plástico son una mezcla de polietilenos. La capa de plástico tiene una permeabilidad diferencial al O₂ y al CO₂. Para un silo bolsa con un espesor promedio de 240 mm, Abalone *et al.* (2011) estimó que la permeabilidad al O₂ fue de $4.06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$ y al CO₂ fue de $1.34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$.

2.3.2. Perforaciones

Las perforaciones en el plástico incrementa la tasa de intercambio de gases entre el interior y el exterior. Fueron realizadas simulaciones por Abalone *et al.* (2011) con el objetivo de explorar el efecto del daño estructural del silo bolsa. Se pudo demostrar que aún una pequeña perforación puede cambiar significativamente la evolución de la composición del gas, de 1 % punto para una perforación de 1 mm de diámetro por metro lineal de silo bolsa, a más de 5 % puntos para una perforación de 10 mm de diámetro.

Fue investigado también el efecto de un número de perforaciones en la composición de los gases. Trigo a 13% c.h. y 25°C almacenado en un silo bolsa hermético (sin perforaciones) alcanza una concentración de CO₂ de 6,5% y una concentración de O₂ de 12%. Una perforación de 3 mm de diámetro por metro de silo bolsa reduce la concentración de CO₂ a 4,5% e incrementa la de O₂ a 15%, mientras que 5 perforaciones por metro tiene como resultado una disminución de la concentración de CO₂ a 1,5% y un incremento en la concentración de O₂ a 19,5% (Abalone *et al.*, 2011).

2.4. Concentración de Oxígeno y Dióxido de Carbono

La concentración de CO₂ y O₂ en cualquier momento es el resultado de la tasa de respiración (agotamiento de O₂ y generación de CO₂) y de la tasa de intercambio de gas con el exterior (entrada de O₂ y salida de CO₂). Los datos de la concentración de gas fueron medidos a lo largo del tiempo para diferentes granos y condiciones de almacenamiento (c.h.) (Figura 3). Usualmente, para granos secos, la concentración de O₂ se equilibra entre 10 y 18%, mientras que la concentración de CO₂ se equilibra entre 3 and 10%. Para granos húmedos (humedad relativa de equilibrio mayor a 65%) la concentración de O₂ disminuye de 2 a 5%, mientras que la de CO₂ aumenta de 15 a 25%, estando el grado de modificación de la atmósfera intergranaria directamente relacionado al contenido de humedad. En algunos casos, con granos excepcionalmente húmedos, la concentración de CO₂ puede alcanzar valores tan altos como 70% (O₂ cercano al 0%).

El silo bolsa puede actuar como un sistema típico de atmósfera modificada cuando el grano está suficientemente húmedo como para tener una actividad biológica que pueda consumir O₂ a una tasa mayor que la de entrada de O₂ desde el exterior a través del plástico. En esta circunstancia la concentración de O₂ disminuirá por debajo del límite en el cual la respiración aeróbica comienza a ser limitada. Esta observación concuerda con el estudio realizado por Darby and Caddick (2007) en su reporte comprensivo sobre silo bolsas en Australia.

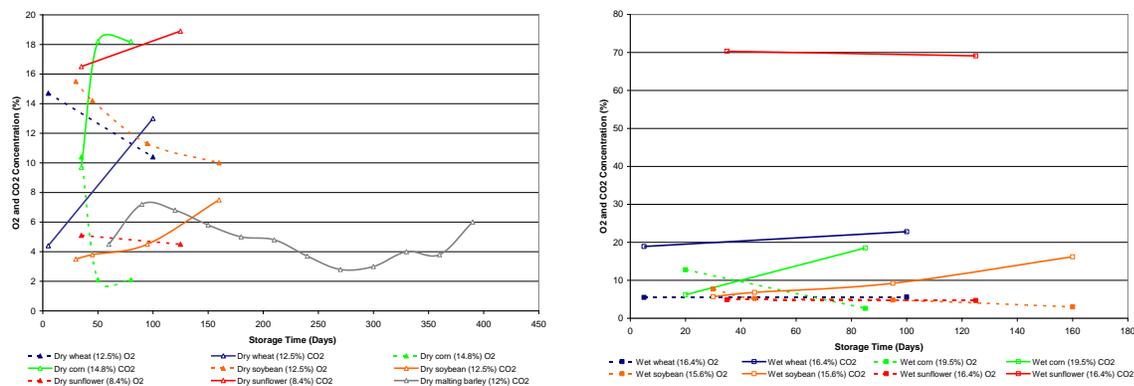


Figura 3. Concentración de O₂ y CO₂ durante el almacenamiento en silo bolsa de grano seco y húmedo. Adaptado de Bartosik et al. (2008).

La temperatura tiene también un efecto positivo en la actividad biológica, pero la interacción con el c.h. muestra que el efecto de la temperatura es mayor en grano húmedo almacenado que en grano seco (figura 4). Esto podría significar que el grano seco no mantendría una actividad biológica significativamente diferente en invierno que en verano, pero almacenar grano húmedo puede ser sustancialmente más desafiante (afectado por la actividad biológica) en verano que en invierno.

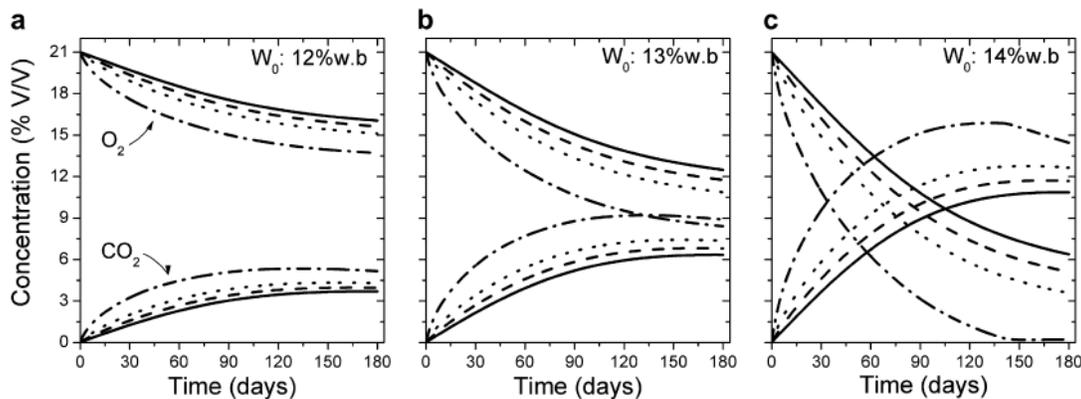


Figura 4. Evolución predicha de las concentraciones de O_2 y CO_2 desde el verano al invierno para diferentes temperaturas iniciales de almacenamiento del grano. Contenido de humedad inicial del grano: a) 12% w.b; b) 13% w.b; c) 14% w.b. Temperatura inicial del grano: , 20 _C; , 25 _C; , 30 _C; , 40 _C. Fuente: Abalone et al., 2011.

3. EFECTO EN LA CALIDAD DE LOS GRANOS

3.1. Trigo

El almacenamiento de trigo seco (12,5% c.h.) durante 6 meses (a partir de principios de enero) en un silo bolsa resultó en una reducción insustancial del peso hectolítrico, tampoco afectó los parámetros de calidad panadera (volumen del plan, % de gluten, w, etc). Cuando trigo con 16.4% c.h. fue embolsado en enero, la temperatura promedio del grano fue de 42°C. La combinación de alto c.h. y alta temperatura resultó en una disminución sustancial de la mayoría de los parámetros de calidad evaluados. El peso hectolítrico disminuyó de 78,7 a 77,3 kh/hl, sin embargo esta disminución no cambió el grado comercial del trigo. Además, todos los parámetros de calidad panadera resultaron negativamente afectados, haciendo que este trigo húmedo no sea conveniente para molinería (Bartosik et al., 2008).

3.2. Maíz

El grano embolsado a 14,8% c.h. resultó con un peso hectolítrico ligeramente mayor luego de 150 días de almacenamiento, mientras el porcentaje de grano dañado aumentó en 1.3 puntos porcentuales (el porcentaje inicial de grano dañado fue mayor a 3%). Las muestras de maíz húmedo (19.5% c.h.) resultaron con una reducción en el peso hectolítrico de 2 kg/hl y un sustancial incremento de una fracción de maíz dañado de 4,4 puntos porcentuales (Bartosik et al., 2008).

3.3. Soja

La soja almacenada a 12,5% c.h. no modificó el peso hectolítrico y porcentaje de aceite de las muestras luego de 150 días. Por otro lado, el índice de acidez del aceite y el test de germinación fueron ligeramente afectados. Las muestras de soja húmeda (15,6% c.h.) no resultaron afectadas en el peso hectolítrico y el porcentaje de aceite, pero resultaron con un importante incremento en

el índice de acidez de aceite de 1.7% a 2.3% y rápida reducción en el test de germinación (Bartosik et al., 2008).

3.4. Girasol

Bartosik et al. (2008) estudiaron el efecto del almacenamiento de girasol seco y húmedo en silo bolsas. Cuando el girasol fue almacenado a 8,4% c.h. no se observó reducción en el porcentaje de aceite, mientras que el índice de acidez del aceite se incrementó levemente de 0,9 a 1,4%. Este incremento en el índice de acidez del aceite no afectó la comercialización del girasol, dado que el límite para el índice de acidez del aceite para el estándar argentino es de 1,5% hasta el 31 de Agosto, y de 2% del 31 de Agosto en adelante. Por lo tanto, el almacenaje de girasol seco (por debajo de 11% c.h.) es una práctica segura, dado que los parámetros industriales de calidad no fueron afectados luego de 150 días de almacenamiento. El almacenamiento de girasol húmedo (16.4%) resultó en una reducción de la composición del aceite en 1,3 puntos porcentuales (de 47,0 a 45,7%) luego de 150 días de almacenamiento, y un mayor incremento en el índice de acidez del aceite (0,9 a 3,9%). El almacenamiento de girasol húmedo, por lo tanto, resultó con consecuencias negativas en la calidad del aceite.

Por su parte, Cardoso et al. (2014) evaluaron un mayor número de silo bolsas y encontraron que existió una estratificación de la humedad en el sector superior del silo bolsa, y que la estratificación está relacionada con las mayores humedades de almacenaje, no así con el tiempo de almacenaje. Existe una alta relación entre los mayores valores de acidez con las mayores humedades de almacenaje, y en menor medida con el mayor tiempo de almacenaje. Un similar comportamiento se estableció entre la concentración de dióxido de carbono, la humedad y tiempo de almacenaje. Se estableció una relación lineal altamente significativa entre la concentración de dióxido de carbono y el grado de acidez del girasol almacenado.

3.5. Canola

Se pudo observar que, a pesar del tamaño y las características de las semillas de canola, fue posible realizar sin problemas las operaciones de embolsado y extracción de esta oleaginosa con un c.h. de 6%. La h.r. en el aire intersticial se mantuvo por debajo de 50% a lo largo de todo el periodo de almacenamiento. También se mantuvieron inalterables a lo largo de todo el periodo de almacenamiento el c.h., la materia extraña y los valores de materia grasa. La acidez de la grasa aumentó durante el almacenamiento en 0,7% puntos, alcanzando un valor final de 1,4%, pero no representó una pérdida de la calidad comercial (Ochandio *et al.*, 2010).

3.6. Semillas

Cuando las semillas son almacenadas con bajo c.h. (h.r. de equilibrio por debajo de 65%) no se observó una reducción sustancial en el test de germinación del trigo (Bartosik *et al.*, 2008) y de la cebada (Ochandio *et al.*, 2009; Cardoso *et al.*, 2010; Massigoge *et al.*, 2010). En el caso de la soja se observó que cuando los valores del test de germinación al inicio del embolsado fueron bajos, existió una sustancial disminución en los parámetros durante el almacenamiento, aún con c.h. tan bajos como 12,5% (Bartosik *et al.*, 2008). Datos adicionales mostraron que cuando el valor del test de germinación al inicio fue alto (i.e., por encima de 95%), la viabilidad de la semilla de soja no cambió durante el almacenamiento cuando el c.h. estuvo por debajo de 12,5%. Sin embargo, cuando las semillas fueron almacenadas con un c.h. mayor a 12,5%, aumentó el número de muestras en los cuales se observó una reducción en el test de germinación. En el caso

particular de la semilla de soja es importante destacar el incremento en daño mecánico que sinfines de embolsadoras en mal estado pueden causar a la semilla.

3.7. Cebada cervecera

La cebada cervecera almacenada seca (por debajo de 12% c.h.) por un periodo de almacenamiento de 6 a 12 meses no resultó con efectos negativos en la germinación (PG permaneció siempre sobre el 98%). En un estudio incluyendo 56 silo bolsas, solamente 2 resultaron con valores en el test de germinación de 94%, y uno con valores de 86%. El contenido proteico típicamente no cambia durante el almacenamiento, siendo el cambio más grande observado de 1 punto porcentual luego de 6 meses de almacenamiento (Ochandio *et al.*, 2009; Cardoso *et al.*, 2010; Massigoge *et al.*, 2010; Bartosik *et al.*, 2012).

3.8. Poroto

Experiencias realizadas (De Simone *et al.*, 2009; De Simone y Godoy, 2009) demuestran que el sistema de almacenamiento en silo bolsa se puede incorporar al manejo de poroto en la poscosecha. Es posible almacenar poroto sano, seco y limpio 150 días sin pérdidas de calidad. El poder germinativo no sufre grandes variaciones, mientras que el parámetro más afectado es la reabsorción de agua durante la cocción.

Ensayos comparativos de almacenamiento de porotos en silo bolsa comparado con bolsas de polipropileno (las más comunes empleadas en las estivas en galpones) evidenciaron un deterioro más rápido y acentuado en estas que en silo bolsa a iguales condiciones de almacenamiento. El mismo efecto, pero más agravado, se observó cuando se almacenaron granos húmedos o enfermos comparados con granos secos (alrededor del 12%) y sanos. De la práctica se observó un efecto negativo (incremento acentuado del deterioro) con el aumento de la proporción de materias extrañas (tierra, terrones, restos de vainas, tallos e insectos, etc.) embolsadas junto con el granel y originadas en la cosecha. Las impurezas y la tierra son focos propicios para el desarrollo de hongos y bacterias de suelo.

Una de las limitantes del uso del silo bolsa para el almacenamiento de porotos es el daño mecánico de los sistemas de embolsado y extracción. Este problema está parcialmente solucionado cuando se utilizan las embolsadoras sin sinfines (llenado por gravedad) (figura 5). Sin embargo, aunque se están desarrollando extractoras libre de sinfines, estas aún no se encuentran en el mercado, por lo que la descarga de la bolsa se realiza con chimangos a cinta, lo cual es ineficiente y demandante de mucha mano de obra. Para completar el esquema de trabajo garantizando la integridad física del poroto, la carga de la embolsadora también debería realizarse con implementos menos agresivos que los sinfines.



Figura 5. Embolsadora energía cero (sin sinfines) embolsando poroto con sinfín a cinta.

3.9. Arroz

Se realizaron numerosas pruebas de almacenamiento de arroz en silo bolsa y se determinó que el arroz base cámara (humedad 13%) se puede conservar aproximadamente por 1 año sin problemas de pérdida de calidad, con humedad del 16% se puede conservar hasta 4 meses y con humedades de hasta 20% es posible almacenarlo por 40 días sin pérdidas de calidad, extremando las inspecciones y cuidados. Respecto a las herramientas de control se demostró que el análisis de granos manchados, práctica de fácil adopción, es un adecuado indicador del estado general del grano (Pozzolo et al., 2006).

Se realizó una experiencia de secado y transferencia en caliente al silo bolsa a una humedad intermedia para realizar el "tempering". En este estudio se encontraron ventajas para la operación de secado (la capacidad de secado aumentó en promedio más del 40%, eliminación de picos de trabajo, y menor consumo de combustible al disminuir el tiempo total de secado) y una mejora en la calidad, incrementando el porcentaje de grano entero (Pozzolo et al., 2010).

El arroz trae aparejado una problemática particular respecto de los sinfines de las embolsadoras. Por un lado, su característica abrasiva genera un desgaste prematuro de los sinfines, y por otro son fuente de roturas en el grano (daño mecánico). Respecto a las embolsadoras equipadas con tornillos de arquímedes o sinfines se observó que los desgastes producen importantes daños pudiendo llegar a valores superiores al 6% en grano quebrado, también se detectó que el diseño de sinfines en embolsadoras tenía incidencia en la rotura de granos comportándose mejor los cortos horizontales que los largos inclinados (Hidalgo et al., 2012).

3.10. Maíz Pisingallo

Se han reportado numerosas experiencias de almacenamiento de maíz pisingallo en silo bolsa con resultados de calidad comparables al almacenamiento tradicional. El principal atributo de calidad del maíz pisingallo es el volumen de expansión, el cual está fuertemente asociado a la humedad del granos (entre 13 y 14,5% la mayoría de los híbridos presentan el máximo volumen

de expansión) (Bartosik et al., 2009). Una vez embolsado, el grano no puede cambiar su humedad, por lo que para optimizar la expansión el maíz pisingallo debe acondicionarse a la humedad óptima previamente al embolsado. Se ha demostrado que dentro del silo bolsa la humedad de los granos individuales, la cual es muy variable en el momento de cosecha, tiende a uniformizarse (Cardoso et al., 2007), lo cual contribuye a aumentar el volumen de expansión.

Otro aspecto de importancia para el almacenamiento de maíz pisingallo es preservar la integridad física del grano, ya que roturas o fisuras del epicarpio afectan el volumen de expansión. En tal sentido, la utilización de equipamiento que evite el daño mecánico es altamente recomendable (embolsadoras por gravedad, o utilización de equipamiento de carga, embolsado y extracción con sinfines en excelentes condiciones para minimizar el daño).

4. CONCLUSIONES

Las principales características del sistema silo bolsa que favorecen la conservación de los granos son la capacidad de intercambiar calor con el ambiente, lo cual evita el autocalentamiento de la bolsa, y la hermeticidad. Cuando se logra mantener una hermeticidad suficiente se modifica la atmósfera intergranaria hasta tal punto que se minimiza la actividad biológica (actividad de hongos, insectos y la propia semilla), mejorando la conservación.

Se han realizado numerosos ensayos sobre el efecto del sistema de almacenamiento en silo bolsa sobre la calidad de granos tales como trigo, maíz, soja, girasol, colza, cebada, arroz, maíz pisingallo y porotos, entre otros.

Los resultados generales indican que el grano seco (humedad relativa de equilibrio por debajo de 65%) puede ser almacenado en silo bolsas por más de 6 meses (incluso más de un año) sin perder la calidad del grano (medido como porcentaje de grano dañando por hongos, peso hectolítrico, poder germinativo, acidez de la grasa, parámetros nutricionales y organolépticos, entre otros). Cuando se almacena grano húmedo la temperatura durante el almacenamiento se vuelve crítica. En este caso, la calidad comercial se puede mantener de 3 a 6 meses en invierno, y pocas semanas en verano. Para mejorar las posibilidades de éxito bajo esta condición de almacenamiento es crítico mantener una alta hermeticidad del sistema.

Se ha desarrollado equipamiento (embolsadoras) que favorece el tratamiento de granos especiales (poroto, arroz, maíz pisingallo, etc), minimizando el daño mecánico.

5. REFERENCIAS

- Abalone R.; Gastón A.; Cardoso L.; Bartosik R. y Rodríguez J. 2011. Gas concentration in the interstitial atmosphere of a wheat silo - bag. Part II: model sensitivity and effect of grain storage conditions". *Journal of Stored Products Research*, 47(4): 268 - 275.
- Barreto, A.; Abalone, R.; Gaston, A.; Bartosik, R. 2012. Computer simulation of gas concentration in the interstitial atmosphere of a wheat silo-bag for typical agricultural areas of Argentina. In: Navarro, S.; Banks, H.J.; Jayas, D.S.; Bell, C.H.; Noyes, R.T.; Ferizli, A.G.; Emekci, M.; Isikber, A.A., Alagusundaram, K. [Eds.]. *Proceedings del 9th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products*, 15 al 19 de Octubre de 2012, Antalya, Turquía. Pp: 575-582.
- Bartosik, R. 2012. An inside look at the silo-bag system. In: Navarro, S.; Banks, H.J.; Jayas, D.S.; Bell, C.H.; Noyes, R.T.; Ferizli, A.G.; Emekci, M.; Isikber, A.A., Alagusundaram, 1^{er} Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa, 2014

- K. [Eds.]. Proceedings del 9th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 15 al 19 de Octubre de 2012, Antalya, Turquía. Pp: 117-128.
- Bartosik, R.; Ochandio, D.; Cardoso, L.; de la Torre, D. 2012. Storage of malting barley with different moisture contents in hermetic silo-bags. Proceedings del 9th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 15 al 19 de Octubre de 2012, Antalya, Turquía. Pp: 549-554.
- Bartosik, R.; Rodríguez, J.; de la Torre, D.; Piñeiro, D. 2009. Distribución del Aire, Variabilidad de Humedad del Grano y Volumen de Expansión de Maíz Pisingallo. Anales del X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del Mercosur (CADIR), 1 al 4 de Septiembre de 2009, Rosario, Argentina.
- Bartosik R.; Rodríguez, J.; Cardoso, L. 2008. Storage Of Corn, Wheat Soybean And Sunflower In Hermetic Plastic Bags. Proceedings del International Grain Quality and Technology Congress, 15 al 18 de julio de 2008, Chicago, Illinois, EEUU.
- Cardoso, L.; Ochandio, D.; Massigoge, J.; Izquierdo, N.; González Belo, R.; Bartosik, R. 2014. Almacenaje de girasol con diferentes contenidos de humedad en silo bolsa. Enviado para su publicación en el Primer Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa. Hotel Presidente Perón, 13 al 16 de Octubre de 2014. Mar del Plata, Argentina.
- Cardoso, L.; Bartosik, R.; Campabadal, C.; de la Torre, D. 2012. Air-tightness level in hermetic plastic bags (silo-bags) for different storage conditions. In: Navarro, S.; Banks, H.J.; Jayas, D.S.; Bell, C.H.; Noyes, R.T.; Ferizli, A.G.; Emekci, M.; Isikber, A.A., Alagusundaram, K. [Eds.]. Proceedings del 9th International Conference Controlled Atmospheres and Fumigation of Stored Products, 15 al 19 de Octubre de 2012, Antalya, Turquía. Pp: 583-589.
- Cardoso, L.; Ochandio, D.; de la Torre, D.; Bartosik, R.; Rodríguez, J. 2010. Storage of quality malting barley in hermetic plastic bags. International Working Conference on Stored Product Protection, 27 junio al 2 de Julio de 2010, Estoril, Portugal.
- Cardoso, M.; Bartosik, R.; Rodríguez, J. 2007. Estudio de la evolución de la humedad de los granos individuales en silo bolsas de maíz y soja. Proceedings del IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. 19-22 septiembre de 2007, Córdoba, Argentina.
- Darby, J.; Caddick, L. 2007. Review of the harvest bag technology under Australian conditions. CSIRO Entomology. Technical report N° 105. Disponible en: <http://www.csiro.au/resources/HarvestBagReport.html>. Accedido en junio de 2009.
- De Simone, M. E.; Fili, M. J.; Godoy, A. I. 2009. Almacenamiento de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) en bolsas plásticas con relación al contenido de humedad inicial, deterioro de los granos y el tiempo. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp. 162–168 (a).
- De Simone, M. E.; Godoy, A. I. 2009. Evaluación del efecto de media sombra en la calidad del poroto almacenado en bolsas plásticas con sistema de embolsado por gravedad. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp. 169– 80 (b).
- Gastón, A; Abalone, R.; Bartosik, R.; Rodríguez, J. 2009. Mathematical modelling of heat and moisture transfer of wheat stored in plastic bags (silobags). Journal of Biosystem Engineering. Volume 104, Issue 1, September 2009, Pages 72-85.
- Hidalgo, R.; O. Pozzolo; F. Domínguez; E. Behr; G. Botta. 2012. Incidencia del Diseño de Embolsadoras en la Calidad del Arroz Conservado en Silo Bolsa. *X Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola CLIA/CONBEA 2012* Londrina - PR, Brasil, 15 a 19 de julho 2012.
- 1^{er} Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa, 2014

- Massigoge, J.; Cardoso, L.; Bartosik, R.; Rodríguez, J.; Ochandio, D. 2010. Almacenamiento de cebada cervecera en silos bolsa. Proceedings del IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010 y XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010, 25 al 29 de julho de 2010 - Vitória - ES, Brasil
- Ochandio, D. 2014. Tasa respiratoria del ecosistema granos de soja (*glycine max*) en ambientes de almacenamiento hermético. Tesis de Maestría. Escuela de posgrado de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Ochandio, D.; Cardoso, L.; Bartosik, R.; de la Torre, D.; Rodríguez, J.; Massigoge, J. 2010. Storage of canola in hermetic plastic bags. International Working Conference on Stored Product Protection, 27 junio al 2 de Julio de 2010, Estoril, Portugal.
- Ochandio, D.; Rodríguez, J.; Rada, E.; Cardoso, L.; Bartosik, R. 2009. Almacenamiento de Cebada Cervecera en Bolsas Plásticas Herméticas. Anales del X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del Mercosur (CADIR), 1 al 4 de Septiembre de 2009, Rosario, Argentina.
- Pozzolo, O.; Hidalgo, R.; Botta, G.; Curró, C. 2010. Secado de arroz (*Oryza Sativa*). Efecto del tempering combinado con silos de bolsas plásticas. IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA XXXIX Congresso Brasileira de Engenharia Agrícola.
- Pozzolo, O.; Hidalgo, R.; Ferrari, H.; Curró, C. 2006. Conservación de Arroz en Bolsas Plásticas a Humedad Base Cámara. XVII Congreso Internacional de Plásticos Para la Agricultura – Comité Internacional de Plásticos en Agricultura – (CIPA) VIII Congreso Iberoamericano –Comité Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de los Plásticos en Agricultura- (CIDAPA) I Congreso Argentino Comité Argentino de Plásticos para la Agricultura – (CAPPA) 23 – 25 de Octubre. Buenos Aires, Argentina.