



Detección temprana de procesos de descomposición de granos almacenado en bolsas plásticas herméticas mediante la medición de CO₂

Autores: Ricardo Bartosik⁽¹⁾, Leandro Cardoso⁽¹⁾, Darío Ochandio⁽²⁾ y Diego Crocce⁽²⁾.

⁽¹⁾ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-PRECOP.

⁽²⁾ Alumno Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce

Ruta 226 kilómetros 73.5, Balcarce (7620), prov. Buenos Aires, Argentina

rbartosik@balcarce.inta.gov.ar, lc Cardoso@balcarce.inta.gov.ar, jrodriguez@balcarce.inta.gov.ar

Introducción

En Argentina en el año 2007 fueron almacenadas en los sistemas herméticos (bolsas) alrededor de 35 millones de toneladas de granos, incluyendo soja, maíz, maíz pisingallo, trigo, girasol, cebada cervecera, arroz, sorgo y algodón. El uso final que se les da a estos productos varía entre la alimentación del ganado, semillas, molienda húmeda y seca (maíz), consumo humano, cervecería, extracción de aceite y molienda harinera (trigo) entre otras.

Cada bolsa plástica puede almacenar aproximadamente 200 toneladas de trigo (180 toneladas de soja) y con el equipo disponible actualmente la carga y descarga de una bolsa es un proceso rápido, simple y totalmente mecanizado. Las bolsas plásticas son de 60 m de largo, 2.74 m de diámetro y la cubierta plástica de 235 micrones de espesor está conformada por tres capas (con el interior negro y exterior blanco).

La medición de la temperatura del grano es la principal herramienta usada para supervisar condiciones de almacenaje tradicional (silos y celdas) por los establecimientos rurales, acopios comerciales y la industria, puesto que un aumento en temperatura del grano se correlaciona altamente con el aumento en la actividad biológica en la masa del grano. Desafortunadamente, esta tecnología no es útil para monitorear condiciones de almacenaje en bolsas. Se demostró que la temperatura del grano almacenado en las bolsas sigue el patrón de la temperatura media ambiental, variando con las estaciones. Esto se debe a que la bolsa tiene una mayor capacidad de intercambiar calor con el aire ambiente y con el suelo. La relación superficie/volumen de una bolsa de 180 toneladas es aproximadamente 1.42 mientras que para el silo estándar de metal de la misma capacidad (9 m de altura y 7 m de diámetro) el cociente es el 44% menor (0.79) (Bartosik et al.^[1]). De esta manera la relación de la temperatura del grano con la actividad biológica se puede enmascarar por el efecto de la temperatura ambiente. A su vez, el ecosistema generado en un ambiente hermético tiene una tasa de respiración disminuida respecto de un ecosistema de un silo o celda convencional, por lo que la tasa de liberación de calor del grano en descomposición es menor.

El monitoreo del grano almacenado en bolsas mediante el calado tradicional es un proceso bastante fácil de implementar. Sin embargo, cada perforación hecha en la cubierta plástica disturba la hermeticidad del sistema, lo cual limita el número de muestras que se pueden recoger de cada bolsa y la frecuencia de

muestreo. Además, este monitoreo es útil para obtener una idea de la calidad total del grano almacenado en la bolsa (humedad, contenido proteico, falling number, etc), pero no es conveniente para detectar problemas tempranos de almacenaje (la mayor parte del proceso de descomposición del grano ocurre en lugares muy localizados de la masa del grano, típicamente en el fondo de la bolsa, donde la punta del calador tradicional no llega a recoger la muestra). Otra desventaja de esta metodología es la cantidad de mano de obra y tiempo implicado.

Las bolsas son impermeables y tienen un alto grado de hermeticidad a los gases (oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2)). Consecuentemente, la respiración de los componentes bióticos del granel (granos, insectos y hongos) aumentan la concentración de CO_2 y reducen la de O_2 . Así, el nivel de modificación de los componentes gaseosos del aire intersticial se puede relacionar con la actividad biológica dentro de la bolsa, y utilizar dicha medición como herramienta de monitoreo para detectar problemas tempranos de granos dañados.

Cardoso et al.^[2] y Rodríguez et al.^[3] estudiaron los principales factores que afectaban la concentración de CO_2 en trigo y soja almacenados en bolsas plásticas, estableciendo además los valores típicos de concentración para bolsas sin problemas de almacenamiento. En este estudio se implementan dos metodologías de detección de problemas de almacenamiento de granos en bolsas plásticas basado en: 1) la medición frecuente en el tiempo de la concentración de CO_2 (evolución en el tiempo) y 2) mediante la comparación de la medición de la concentración de CO_2 de una bolsa particular con la concentración típica de CO_2 de trigo y soja almacenados en bolsas sin problemas de almacenaje.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron en diferentes plantas de acopio y establecimientos agropecuarios en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Las bolsas fueron llenadas con grano posterior a la cosecha y generalmente se instalaron en el mismo lote, o instaladas en plantas de acopio durante el periodo de cosecha. El experimento comenzó en enero para trigo y en abril-mayo para soja, y se extendió hasta que las bolsas fueran abiertas para extraer el grano (aproximadamente 5 meses después).

Para cada bolsa se establecieron dos lugares de muestreo. El procedimiento consistió en medir la concentración de CO_2 mediante un analizador portátil de gases (PBI Dan Sensor, CheckPoint, Dinamarca (Figura 1), perforando la cubierta plástica con una aguja hipodérmica. La composición del gas fue analizada para tres niveles por cada sitio de muestreo de la bolsa (superior, medio e inferior). En cada punto de muestreo el grano fue recolectado realizando un calado tradicional, a partir de tres diversos niveles (superior = 0.10 m de profundidad, medio = 0.75 m de profundidad, inferior = 1.6 m de profundidad. Altura total de la bolsa = 1.7 m). Una muestra de grano fue extraída de cada sitio y posteriormente remitida al laboratorio para la medición de humedad (GAC 2100, Dickey-John). Después del calado de la bolsa las aberturas fueron selladas con una cinta de tela adhesiva para restituir la hermeticidad.



Fig. 1. Muestreo del nivel de O_2 y CO_2 con un medidor portátil de gases.

Se repitió el monitoreo aproximadamente cada 15 días durante todo el período de almacenaje. Cuando finalmente las bolsas fueron vaciadas, el grano y la integridad física fueron examinados para detectar si el grano se encontraba afectado. Se clasificó entonces a las bolsas plásticas como “sin evidencia de problemas del almacenaje” o “con evidencia de problemas del almacenaje” (Figura 2).



Fig. 2. Grano afectado detectado durante el vaciado de la bolsa.

Resultados y discusión

La figura 3, muestra el cambio en la concentración de CO_2 en tres bolsas de soja almacenadas con diferentes humedades 11.5% (menor a humedad de recibo), 12.9% (humedad cercana a recibo), y 14.9% (superior a humedad de recibo) (la humedad base para la comercialización de soja en Argentina es 13.5%). Durante invierno (julio-agosto) la concentración de CO_2 se encontró por debajo del 3% para todas las humedades. Comenzando la primavera (septiembre) la concentración de CO_2 comenzó a aumentar llegando a 9 y 10%, para las bolsas con 12.9% y 11.5% de humedad, respectivamente. Durante octubre, la concentración de CO_2 se incremento hasta 16% y 18% para las mismas bolsas. Posteriormente, la concentración de CO_2 disminuyó hasta 10 y 13% y se estabilizó hasta el último reporte (diciembre). La bolsa con soja húmeda (14.9%) tuvo una concentración de CO_2 por debajo del 2% durante todo el período de almacenaje. Cuando las bolsas que presentaron alta concentración de CO_2 fueron vaciadas, una cantidad significativa de grano con afecciones severas fue detectada. En estos, una capa de 0.1 m de espesor en la parte inferior se encontraba afectada producto de perforaciones en la

cubierta plástica en la base. Las roturas en la bolsa permitieron la entrada de agua y oxígeno, creando condiciones favorables para el desarrollo de hongos cuando la temperatura del grano incrementó en la primavera temprana. Por otra parte, la bolsa con soja húmeda no presentó ninguna perforación significativa en la cubierta plástica, por lo que las condiciones de almacenaje seguras fueron mantenidas durante el período de almacenaje, incluso durante el final de la primavera. Consecuentemente, el grano no demostró evidencia de daños cuando se examinó durante la extracción final, coincidiendo con la baja concentración de CO₂ registrada.

Estos resultados demostraron que el monitoreo de la concentración de CO₂ se puede usar como herramienta para la detección temprana de problemas de granos dañados en bolsas.

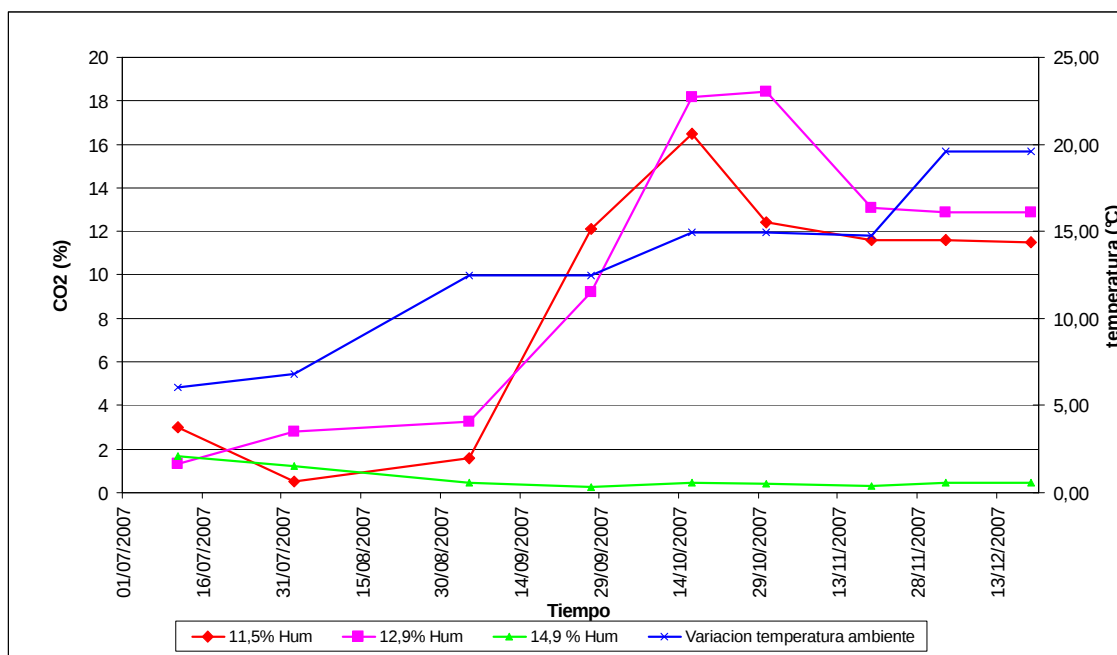


Fig. 3. Concentración de CO₂ de tres bolsas de soja con 11.5%, 12.9% y 14.9% de humedad durante el tiempo de almacenamiento, y variación de la temperatura media del ambiente.

Aunque el monitoreo periódico de la concentración CO₂ permite detectar un aumento de la actividad biológica en bolsas durante el almacenaje (figura 2), a veces solo es posible realizar una medición de la concentración CO₂ de la bolsa. En este caso, no existe la posibilidad de comparar los resultados con valores anteriores para determinar si la actividad biológica se incrementó y la condición de almacenaje del grano se volvió insegura. Para estas situaciones otro tipo de aproximación es necesaria para relacionar la concentración CO₂ con la condición de almacenaje del grano.

La figura 4 muestra que la concentración media de CO₂ para bolsas de trigo en condiciones de almacenaje apropiadas fue significativamente más baja que la concentración media para las bolsas con evidencia de grano afectado. Con humedades inferiores a 13%, la diferencia entre las dos líneas fue cerca de 10 puntos porcentuales de CO₂, mientras que para 16% de humedad la diferencia fue reducida a 7.5 puntos porcentuales. Se puede observar que en las bolsas de trigo que están por debajo de 16% de humedad, el grano afectado fue

localizado en las capas inferiores del grano. En estas bolsas se observaron varias perforaciones en la cubierta plástica, lo cual permitió la entrada de humedad (por las precipitaciones) y del oxígeno. Las perforaciones fueron causadas por los animales (peludos y otros), o a causa de que la bolsa fue armada sobre los residuos de la cosecha anterior (los vástagos perforan la bolsa si no se toman los cuidados apropiados durante la operación de armado y llenado de la bolsa). Otra causa de deterioro del grano estuvo relacionada a deficiencias en el cierre del extremo de la bolsa, lo cual permitió la entrada de humedad y oxígeno al sistema. Finalmente, algunas bolsas se armaron sobre terrenos bajos resultaron inundados después de una precipitación intensa. En esta última situación una bolsa sana y bien cerrada es normalmente afectada.

Por otra parte, cuando el trigo se almacenó por encima de 18% de humedad el grano resultó afectado, aun cuando no se observó ninguna rotura o falla en la confección de la bolsa. El grano de trigo excesivamente húmedo dio lugar a alta actividad de hongos, causando un proceso de descomposición del grano generalizado. Cierta acumulación de humedad fue observada en la parte interior de estas bolsas, incluso en bolsas sin perforaciones visibles. Se especula que ocurrió un proceso de condensación de humedad debido a la diferencia de temperatura entre el día y la noche. La recurrencia de este proceso podría dar lugar a una significativa acumulación de agua en el interior de la cubierta plástica, y causar que una importante cantidad de grano resulte afectado.}

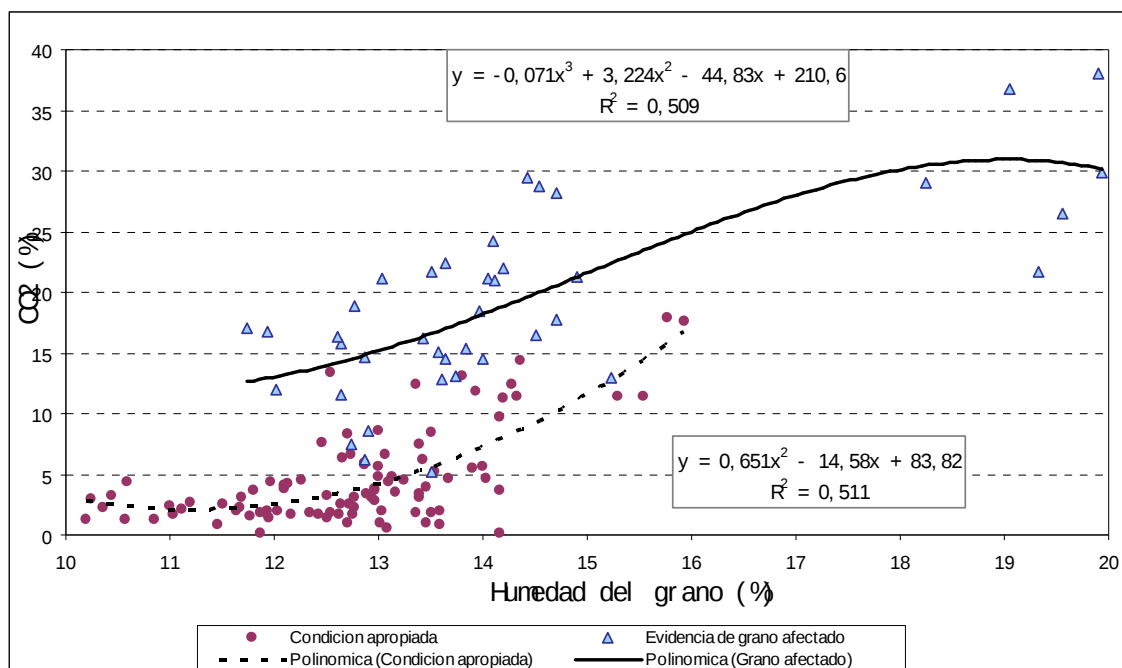


Fig. 4. Concentración de CO₂ en bolsas de trigo a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”.

La figura 5 muestra que la media de la concentración CO₂ para las bolsas de soja con condiciones de almacenaje apropiadas fue significativamente más baja que la concentración media para las bolsas con evidencia de grano afectado. Las bolsas de soja bajo condiciones de almacenaje apropiadas presentaron siempre valores de CO₂ por debajo del 4%, y no mostraron una

tendencia de aumentar el CO₂ con el incremento de la humedad. Por otra parte, las bolsas con evidencia de soja dañada dieron lugar a concentraciones CO₂ entre 6% y 18%, con un promedio entre 11.5 y el 14.0%. En contraste con los datos del trigo, en soja no se observó una correlación clara entre el aumento de la concentración de CO₂ y el incremento de la humedad (tanto en bolsas con el grano en condiciones de almacenaje apropiadas como en bolsas donde se evidenció grano afectado). Las razones que causaron la descomposición del grano fueron similares a las descritas para las bolsas de trigo (perforaciones en la cubierta plástica, el cierre incorrecto, o anegamientos temporales por causa de precipitaciones, etc).

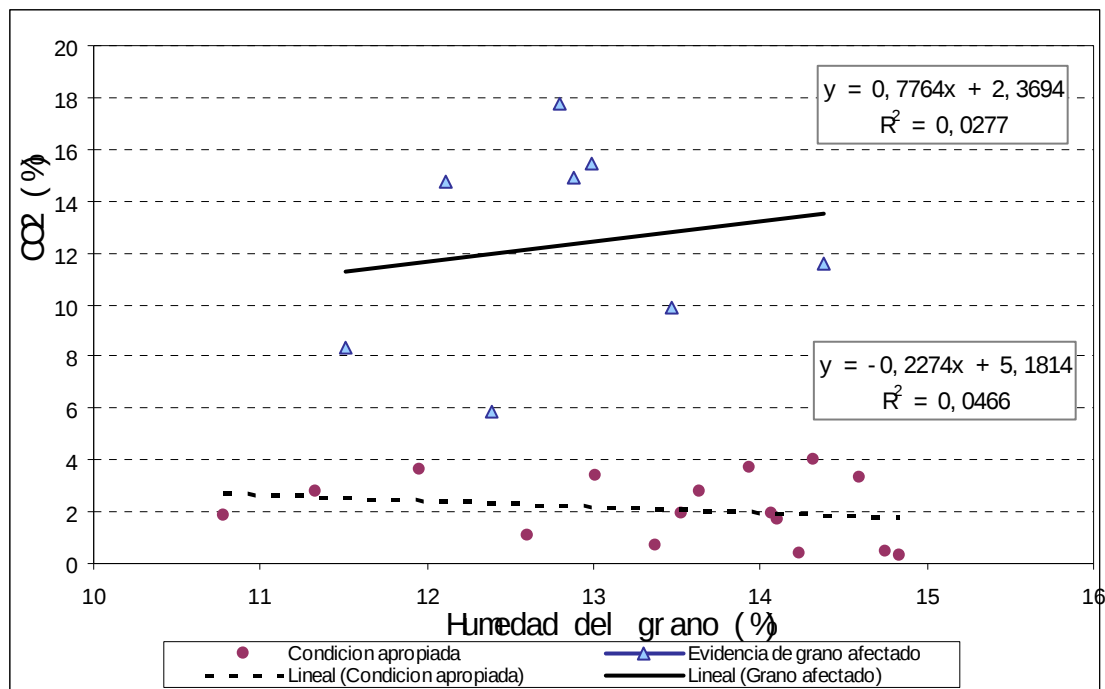


Fig. 5. Concentración de CO₂ en bolsas de soja a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”.

De acuerdo a estos resultados, los autores proponen utilizar el monitoreo de la concentración de CO₂ para detectar problemas en bolsas en trigo y soja. En el caso de las bolsas de trigo, el operador debería medir la concentración de CO₂ y tomar también una muestra física de grano para determinar la humedad. La concentración de CO₂ típica para la condición de almacenaje segura del trigo (para una determinada humedad) se obtiene de la figura 3, y después se la compara con la concentración CO₂ medida. Si la concentración CO₂ medida está por debajo de la concentración típica de CO₂, la condición de almacenaje se puede clasificar como “segura”. Por otro lado, si la concentración de CO₂ medida está por encima de la concentración de CO₂ segura se clasifica la condición de almacenaje como “riesgosa” y el operador debe supervisar esta bolsa con mayor detalle. Finalmente, si la concentración de CO₂ medida es cercana o por encima de la concentración típica de CO₂ de una bolsa afectada, entonces la condición de almacenaje se clasifica como “insegura” e inmediatamente se debe tomar la decisión de extraer el grano de la bolsa.

En el caso de las bolsas de soja la humedad de almacenaje del grano no es crítica. Para condiciones de humedad del grano en un rango entre 11 y 15% y concentración CO₂ por encima de 4%, la condición de almacenaje de la bolsa plástica se debe clasificar como “riesgosa”. Cuando la concentración de CO₂ está cercana o por encima de 11.5-14%, la condición de almacenaje de la bolsa se debe clasificar como “insegura”. En caso contrario la condición de almacenaje de la bolsa se debe clasificar como “segura” (concentración de CO₂ por debajo del 4%).

Conclusiones

El monitoreo periódico de la concentración CO₂ se puede utilizar como herramienta para detectar un aumento en la actividad biológica en bolsas y relacionarlo con procesos de descomposición del grano.

La concentración típica de CO₂ para bolsas de trigo y soja con evidencia de grano afectado y con condiciones de almacenaje seguras fue determinada.

Se mide la concentración de CO₂ en el la bolsa y se la compara con la concentración CO₂ típica para las bolsas con condiciones de almacenaje seguras e inseguras. Por comparación, la condición de almacenaje de la bolsa se clasifica como segura, riesgosa o insegura.

La concentración de CO₂ en bolsas plásticas de trigo en condiciones de almacenaje seguras aumenta con la humedad del grano (debajo de 5% de CO₂ para 13% de humedad o menos, y hasta el 17% CO₂ para 16% de humedad).

La humedad del grano de soja no afecta substancialmente la concentración CO₂ de bolsas con condiciones de almacenaje seguras (en un rango de humedades del 11 a 15%). Así, cualquier medida de concentración de CO₂ por debajo del 4% significa condiciones de almacenaje “segura”, entre 4 y el 12% significa condicione de almacenaje “riesgosa”, y por encima de 14% significa condición de almacenaje “insegura”.

Referencias

- 1 Bartosik R, Rodríguez J and Cardoso L. Storage of corn, wheat soybean and sunflower in hermetic plastic bags. Proceedings of the International Grain Quality and Technology Congress. Chicago, 2008.
- 2 Cardoso M, Bartosik R, Rodriguez J and Ochandio D. Factors affecting carbon dioxide concentration of soybean stored in hermetic plastic bags (silo-bag). Proceedings of the 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products. Chengdu, 2008.
- 3 Rodríguez J, Bartosik R, Cardoso M and Croce D. Factors affecting carbon dioxide concentration of wheat stored in hermetic plastic bags (silo-bag). Proceedings of the 8th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products. Chengdu, 2008.