

## *Monitoreo de Silobolsas Mediante la Medición de CO<sub>2</sub>*

Bartosik, Rodríguez, Cardoso, de la Torre

INTA-PRECOP: Eficiencia de Poscosecha  
EEA INTA Balcarce

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.<sup>[1]</sup>). 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.

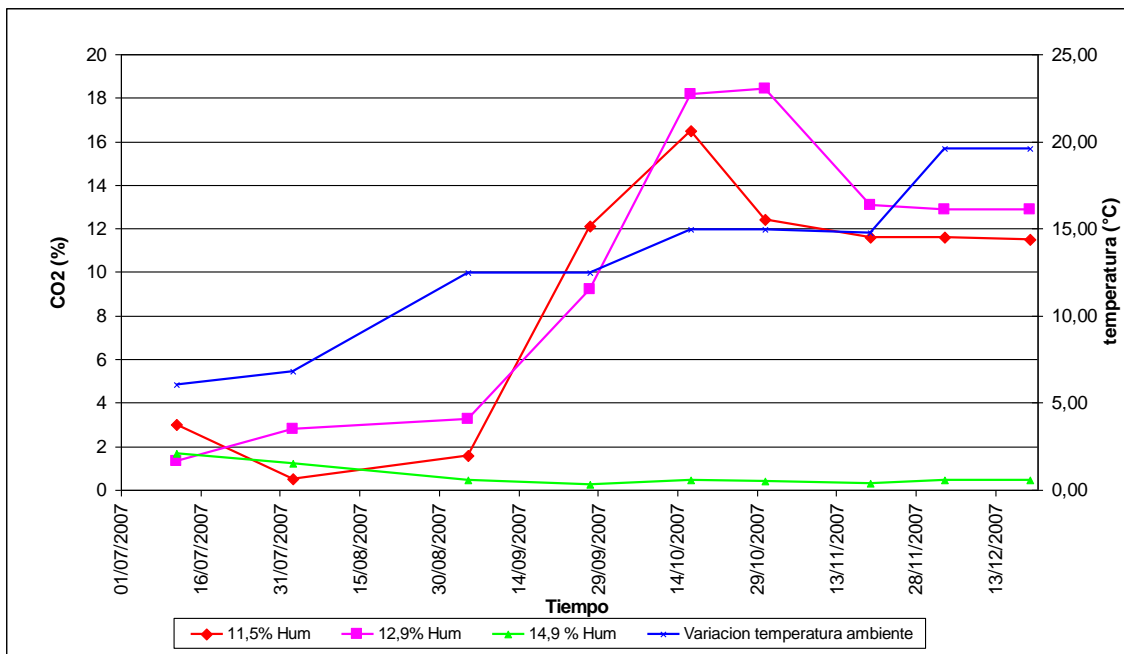
El monitoreo del grano almacenado en bolsas mediante el calado tradicional es un proceso bastante fácil de implementar. Sin embargo, cada perforación hecha en la cubierta plástica disturba la hermeticidad del sistema, lo cual limita el número de muestras que se pueden recoger de cada bolsa y la frecuencia 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<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)). Consecuentemente, la respiración de los componentes bióticos del granel (granos, insectos y hongos) aumentan la concentración de CO<sub>2</sub> y reducen la de O<sub>2</sub>. 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.<sup>[2]</sup> y Rodríguez et al.<sup>[3]</sup> estudiaron los principales factores que afectaban la concentración de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> (evolución en el tiempo) y 2) mediante la comparación de la medición de la concentración de CO<sub>2</sub> de una bolsa particular con la concentración típica de CO<sub>2</sub> de trigo y soja almacenados en bolsas sin problemas de almacenaje.

La figura 8, muestra el cambio en la concentración de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> se encontró por debajo del 3% para todas las humedades. Comenzando la primavera (septiembre) la concentración de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> se incremento hasta 16% y 18% para las mismas bolsas. Posteriormente, la concentración de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> por debajo del 2% durante todo el período de almacenaje. Cuando las bolsas que presentaron alta concentración de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> registrada.

Estos resultados demostraron que el monitoreo de la concentración de CO<sub>2</sub> se puede usar como herramienta para la detección temprana de problemas de granos dañados en bolsas.



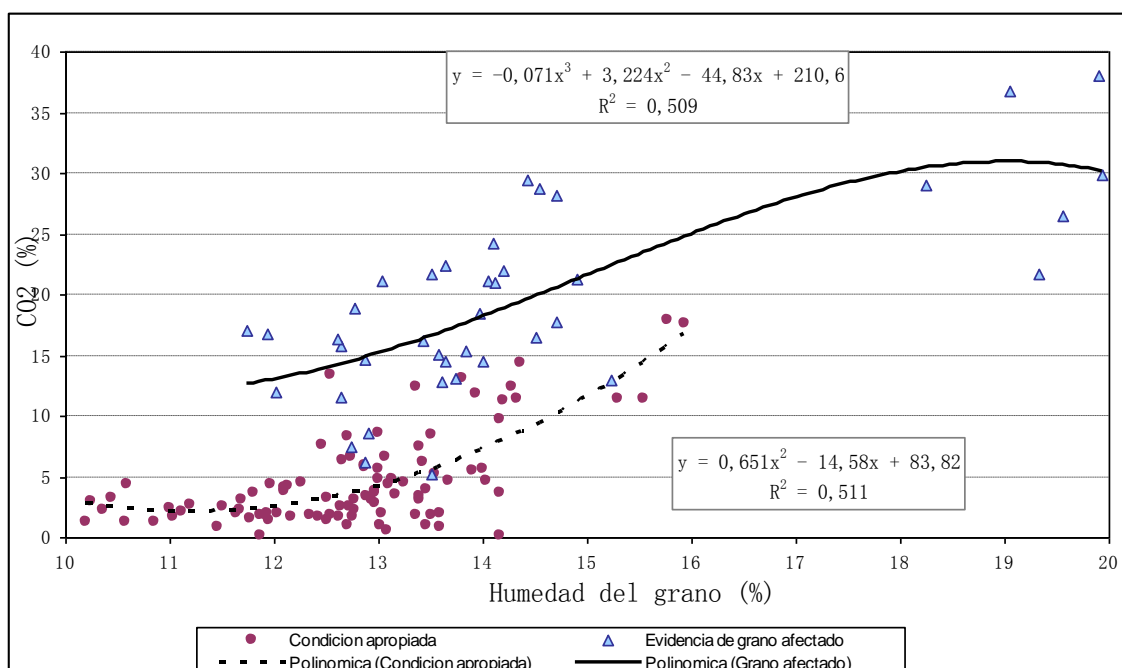
**Figura 8.** Concentración de CO<sub>2</sub> de tres bolsas de soja con 11.5%, 12.9% y 14.9% de humedad durante el tiempo de almacenamiento, y variación de la temperatura media del ambiente.

Aunque el monitoreo periódico de la concentración CO<sub>2</sub> permite detectar un aumento de la actividad biológica en bolsas durante el almacenaje (figura 8), a veces solo es

posible realizar una medición de la concentración CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> con la condición de almacenaje del grano.

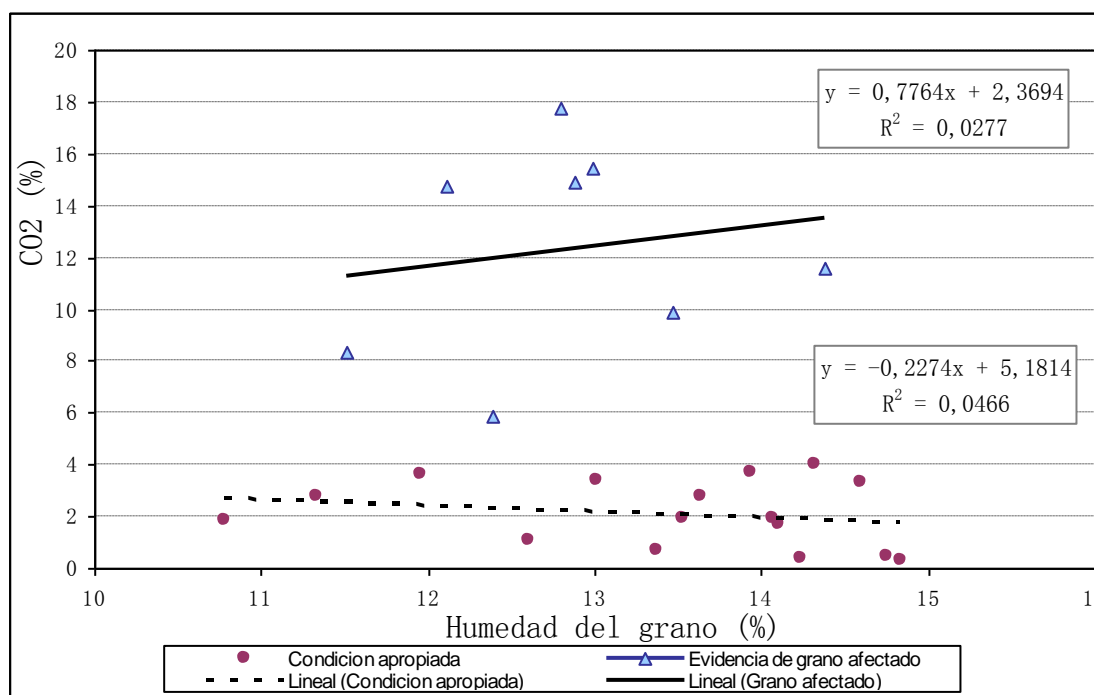
La figura 9 muestra que la concentración media de CO<sub>2</sub> para bolsas de trigo en condiciones de almacenaje apropiadas fue significativamente más baja que la concentración media para las bolsas con evidencia de grano afectado. Con humedades inferiores a 13%, la diferencia entre las dos líneas fue cerca de 10 puntos porcentuales de CO<sub>2</sub>, 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. }



**Figura 9.** Concentración de CO<sub>2</sub> 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 10 muestra que la media de la concentración CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> por debajo del 4%, y no mostraron una tendencia de aumentar el CO<sub>2</sub> con el incremento de la humedad. Por otra parte, las bolsas con evidencia de soja dañada dieron lugar a concentraciones CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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).



**Figura 10.** Concentración de CO<sub>2</sub> en bolsas de soja a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”.

### **Sistema de monitoreo y gestión de granos almacenados en bolsas plásticas**

En base a la información generada en este trabajo, el INTA realizó un convenio con una empresa privada (Silcheck SA) para el desarrollo de un sistema de monitoreo y gestión de granos almacenados en bolsas plásticas. En el marco de dicho convenio Silcheck desarrollo un medidor de CO<sub>2</sub> especialmente diseñado para el monitoreo de bolsas plásticas (Figura 11).



**Figura 11.** Medición de CO<sub>2</sub> con el sistema Silcheck, donde se observa la identificación de la bolsa (1010) y del sitio de muestreo (01).

Dicho medidor cuenta con un sensor infrarrojo de gases, una bomba de precisión, GPS incorporado, sistema de almacenamiento de datos y sistema de lectura de etiquetas con radiofrecuencia (RFid). Cada bolsa que ingresa a este sistema de monitoreo es relacionada a una etiqueta de RFid con un código de identificación única. La etiqueta se adhiere a la bolsa y queda allí de manera permanente. El medidor de CO<sub>2</sub> solo se activa una vez que el lector del instrumento detectó el código de la etiqueta. Una vez detectado el código el instrumento comienza con un proceso de autocalibración en base a los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Posteriormente, el operador realiza las mediciones de CO<sub>2</sub> a lo largo de la bolsa. A los fines de refinar el monitoreo, la bolsa se divide en 10 zonas (distinguidas 6 m una de otra), correspondiendo a cada zona un punto de medición. En cada punto de muestreo se coloca una etiqueta identificatoria del mismo. Esta etiqueta además posee una zona autopresurizable para que las sucesivas extracciones la aguja del medidor de CO<sub>2</sub> no dejen pequeñas perforaciones, reduciendo la confiabilidad de las tomas de CO<sub>2</sub> en muestreos posteriores. El valor de CO<sub>2</sub> en cada punto es automáticamente almacenado con el código de identificación de la bolsa, la localización geográfica de la misma (latitud y longitud, provista por el GPS) y la posición en la bolsa (zona). Luego, el medidor se conecta a una PC con conexión a Internet y se transmiten automáticamente todos los datos recolectados a un servidor. Previamente, al inicio del periodo de monitoreo, el operador cargó en la base de datos toda la información sensible relacionada a la calidad del grano (tipo de grano, porcentaje de humedad, porcentaje de materias extrañas, etc). En base al valor de CO<sub>2</sub> medido, la zona geográfica (extraída del valor de latitud y longitud provisto por el GPS), el momento del año, el tipo de grano y su calidad el sistema clasifica las diferentes zonas de la bolsa con un determinado nivel de riesgo de almacenamiento. Si la bolsa, en alguno de sus zonas, es clasificada con un nivel de riesgo alto, el usuario recibe una alarma en su teléfono celular, correo electrónico o fax. A su vez, el usuario puede ingresar al servidor con su cuenta de usuario y clave, donde podrá visualizar el nivel de riesgo actual de todas sus bolsas (Figura 12). El monitoreo de la bolsa se realiza semanalmente, por lo que la información provista es actualizada con la misma frecuencia. La interface web del programa de gestión ofrece al usuario la posibilidad de ordenar las bolsas de acuerdo a su nivel de riesgo. A su vez, las bolsas aparecen georeferenciadas en un mapa, donde se puede visualizar la bolsa junto con las vías de acceso al establecimiento y la distancia a un determinado destino. Toda esta información le sirve al usuario para programar las ventas de grano de manera de

minimizar los riesgos de pérdida de calidad (vendiendo primero las bolsas más riesgosas) y eficientizar la logística. Esta herramienta constituye un avance fundamental para contribuir al desarrollo de la tecnología de almacenamiento de granos en bolsas plásticas, al ofrecer la posibilidad de monitorear las condiciones de almacenamiento del grano, lo cual era imposible de hacer hasta el momento. Esto posibilita, además, gestionar de manera más eficiente los recursos de la empresa que contrata el sistema.

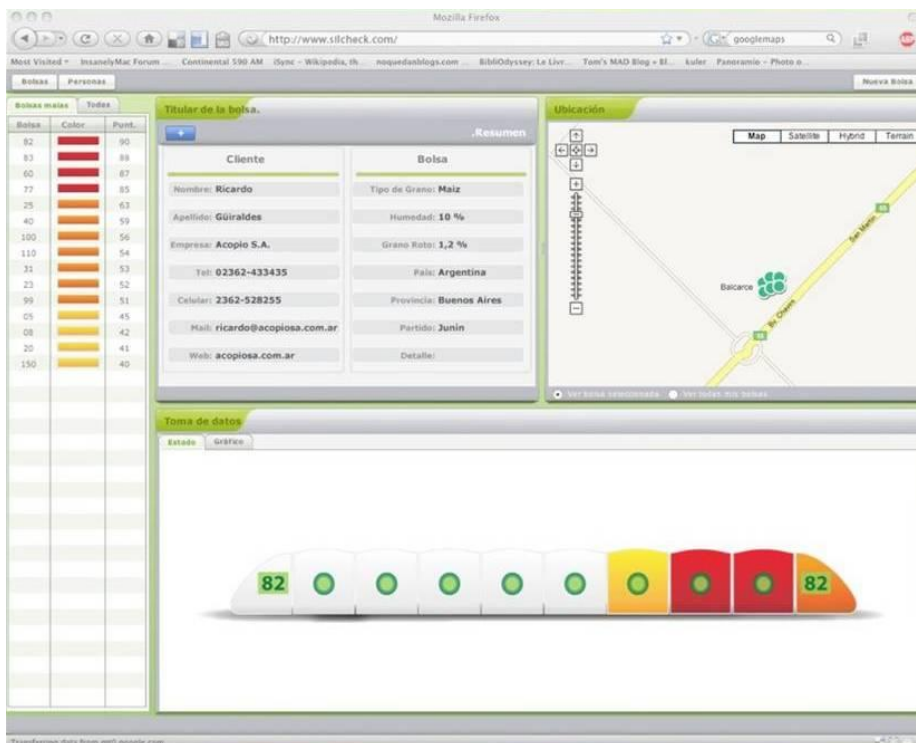


Figura 12. Sistema “Silcheck” de gestión de información de calidad de granos almacenados en silobolsas

La presente innovación tecnológica también contribuye a que la industria nacional pueda exportar con mayor confianza al resto del mundo el sistema de embolsado para grano seco, ya que ahora se cuenta con un sistema confiable de monitoreo de las condiciones de almacenamiento.

#### Reducción de Pérdidas de Poscosecha

Durante el año 2010 cerca de 1000 bolsas se monitorearon con el sistema Silcheck, y más de 2500 en lo que va del 2011, lo cual demuestra una importante tasa de adopción de esta tecnología. Un estudio estadístico de las bolsas monitoreadas con este sistema revela que un 12% de las mismas resultaron con alto nivel de riesgo, 20% con nivel medio y 68% sin riesgo (Figura 13). Suponiendo un valor promedio de U\$S 200 por tonelada de grano almacenado, el monitoreo de estas bolsas evitó pérdidas por 3 millones de U\$S (3,3% del valor total de mercaderías almacenadas en bolsas). Si extendemos esta proyección a las 45 millones de toneladas almacenadas en bolsas en Argentina, entonces obtendríamos que la posibilidad de reducción de pérdidas de esta tecnología sería de casi U\$S 300 millones por año. Esto demuestra la importancia de las actividades del INTA en general y del Proyecto PRECOP: Eficiencia de Poscosecha en Particular en la contribución a la reducción de pérdidas e incremento del beneficio económico para el país.



Figura 13. Porcentaje de bolsas monitoreadas discriminadas según su nivel de riesgo de almacenamiento.