



Fundación ArgenINTA
Delegación BUENOS AIRES SUR

**Almacenaje de Granos en Bolsas Plásticas:
Sistema Silobag**

Informe Final de Maíz

Rodríguez, J. C., Bartosik, R. E., Malinarich H.D., Exilart, J.P. y Nolasco, M.E.

EEA INTA Balcarce



Introducción

En la campaña 2000/2001 la producción de trigo, maíz, soja y girasol en Argentina fue de 48 millones de toneladas, en tanto que la capacidad de acopio estimada es de 43 millones de toneladas. La diferencia entre ambas cifras arroja un déficit de almacenaje de 5 millones de toneladas, pero teniendo en cuenta la producción de otros cultivos menores este déficit puede ser mucho más importante. La capacidad de almacenaje a campo es de 13 millones de toneladas, solo el 30% de la capacidad total. Esta situación genera un cuadro de ineficiencias del sistema de poscosecha, que en definitiva se traduce en un costo extra para los productores que ven disminuida la rentabilidad de sus empresas. La instalación de estructuras de almacenaje permanentes (silos, celdas, etc.) no está al alcance de la mayoría de los productores, debido a la alta inversión inicial requerida. Desde hace unos años, los mismos productores en su afán de solucionar sus problemas de déficit de almacenaje, han adaptado el sistema tradicionalmente usado en el almacenaje de grano húmedo para almacenar granos secos. Esta técnica consiste en el almacenamiento de granos en bolsas plásticas herméticas, donde el proceso respiratorio de los integrantes bióticos del granel (granos, hongos, insectos, etc.) consume el oxígeno (O₂) generando dióxido de carbono (CO₂). La constitución de esta nueva atmósfera, rica en CO₂ y pobre en O₂, suprime, inactiva o reduce la capacidad de reproducción y/o desarrollo de insectos plagas y hongos, como así también la propia actividad del grano, facilitando su conservación.

La mayor ventaja que los productores encuentran en el uso de las bolsas plásticas para almacenar granos secos es que es un sistema económico y de baja inversión. El costo de comercialización del grano durante la época de cosecha es mayor que en el resto del año. Algunos estudios establecen que la diferencia entre enviar el grano al acopio o embolsarlo por un período de tres-cuatro meses genera un ahorro a los productores del 20-25% en trigo, 30-35% en maíz y 20-25% en soja dependiendo de la distancia a puerto, sistema de comercialización, etc. Además de estas ventajas económicas, las bolsas plásticas permiten almacenar granos de manera diferenciada, separando granos por calidad (trigos según calidad panadera), variedad (diferentes tipos de semillas), etc. , sin gran trabajo y con alta seguridad de mantener el material diferenciado. Por otra parte, las bolsas plásticas permiten el almacenaje de los granos en el mismo lote de producción, haciendo más ágil la cosecha. Durante la cosecha el sistema de transporte y la recepción de granos en el acopio constituyen verdaderos cuellos de botellas. La demanda de camiones durante la cosecha nunca llega a ser satisfecha, ocasionando incremento de precios del flete y problemas de logística en las empresas agropecuarias. El retraso ocasionado en la recepción del acopio muchas veces se traslada hacia atrás, hasta la cosecha misma. Las condiciones climáticas en el otoño, época de cosecha de maíz y soja, suelen ser críticas, y la pérdida de un solo día de trabajo puede causar cuantiosas pérdidas y numerosos problemas logísticos. Los productores no son los únicos beneficiados por el uso de las bolsas plásticas. Los acopios encuentran en las bolsas un sistema flexible que les permite incrementar su capacidad de almacenaje según las necesidades de acopio que tengan en un año en particular. Si la cosecha es importante, pueden embolsar parte del grano recibido, sin necesidad de realizar grandes inversiones. En cambio si la cosecha es inferior a la planificada, los acopios no se quedan con capacidad ociosa, maximizando la rentabilidad de sus instalaciones.

La proyección de la expansión del almacenaje en bolsas para los próximos años puede ser aun más importante de lo experimentado hasta el momento. Para la campaña 2001/2002 se estima que entre 1.5 y 2 millones de toneladas serán almacenadas en bolsas plásticas, y se cree que esta tendencia se va a acentuar en los próximos años. Por los motivos expuestos surge la necesidad de generar información confiable que ayude a los productores a implementar esta técnica de manera correcta, a los fines de minimizar las pérdidas de calidad y maximizar las prestaciones de este sistema.

El principal objetivo del presente trabajo es determinar cual es el efecto de las variables humedad de grano y tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de calidad del grano.

Antecedentes

Almacenaje hermético

Para que un sistema de almacenaje sea exitoso es necesario que se creen dentro del granel condiciones desfavorables al desarrollo de insectos y hongos, y que además disminuya la propia actividad de los granos. El principio básico del almacenaje hermético es la eliminación del oxígeno existente en el depósito 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 del granel (granos, insectos, hongos, etc.) consumen el oxígeno existente en el ambiente, produciendo dióxido de carbono. 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. La energía que necesitan los seres vivos para crecer y desarrollarse se obtiene del proceso respiratorio y conforma una serie compleja de reacciones químicas iniciadas por enzimas presentes en los propios organismos. En presencia de O₂ se produce la respiración aeróbica, con la combustión completa de los hidratos de carbono, pasando de productos complejos como almidón, a CO₂, agua y energía. Parte de esa energía se transformará en calor, debido a reacciones exotérmicas y otra será utilizada para la síntesis de otros compuestos (Bogliaccini, 2001).



En ausencia de O₂ algunos organismos, como levaduras y bacterias, pueden vivir y desarrollarse descomponiendo hidratos de carbono en forma incompleta produciendo ácido láctico, acético y alcoholes. Esta reacción se llama fermentación, libera mucho menos calor que en presencia de aire y se produce en ambientes herméticos con un alto grado de humedad.



El almacenaje hermético de alimentos es una técnica muy antigua y ha adquirido diferentes formas a través del tiempo. En nuestro país hoy vuelve a resurgir en la forma de las bolsas plásticas. Si bien esta técnica no ha adquirido un desarrollo muy importante hasta el momento, se ha utilizado para la preservación de alimentos en situaciones particulares, o de alimentos con valor agregado. En Argentina se instalaron celdas subterráneas herméticas con 2 millones de toneladas de capacidad durante la segunda guerra mundial ante la imposibilidad de exportar y la necesidad de conservar los granos por períodos largos de tiempo. Algunos de estos almacenajes aún están en uso y luego de 50 años puede decirse que su resultado es muy bueno (Bogliaccini, 2001). En Arkansas, USA, se almacena arroz a 12-13% de humedad en celdas planas de 18000 m³ de capacidad, donde la masa de granos se cubre con un film que es prácticamente impermeable a la difusión del aire. Siebenmorgen et al (1986), encuentran que en dichas condiciones la respiración de los granos, insectos y microorganismos produjo una atmósfera rica en CO₂ y pobre en O₂, inhibiendo la actividad de insectos y microorganismos.

Almacenaje en bolsas plásticas

Las bolsas plásticas son un tipo especial de almacenaje hermético. La mayoría de los trabajos realizados hasta el momento han sido experimentos de laboratorio, o en bolsas a escala, en donde se trató de determinar el efecto de la humedad de almacenaje sobre la calidad de los granos de trigo, maíz y girasol. Estos trabajos, aunque útiles, son solo aproximaciones preliminares, ya que el comportamiento de la temperatura y la conformación del ambiente en el interior de las bolsas es diferente en los experimentos a escala que en las bolsas de tamaño comercial. No se han realizado en el país hasta el momento trabajos con rigor científico en bolsas de tamaño comercial. Como este sistema es una adaptación local de una técnica para almacenar granos húmedos, tampoco se encontraron trabajos en el exterior.

Casini (1996), realizó ensayos en laboratorio almacenando granos de trigo en bolsas plásticas herméticas con humedad de 12, 14 y 16% a 22-23 °C durante 60, 116, 136 y 208 días. La humedad inicial del trigo fue de 12%, el cual fue rehumedecido hasta alcanzar el 14 y 16%. El poder germinativo (PG) inicial fue de 94%, el cual se mantuvo en las bolsas con trigo almacenado a 12% de humedad durante 208 días, en tanto que a 14% de humedad el PG final se redujo a 62%, y a 3% a 16% de humedad. La calidad panadera también fue afectada por la relación humedad tiempo de almacenamiento. A 12% de humedad la calidad panadera se mantuvo durante todo el período de almacenamiento, en tanto que a 14% se observó un deterioro, y a 16% el deterioro fue mucho mayor. En otro trabajo, Casini (1996) realizó un ensayo embolsando 20 toneladas de trigo a 13% de humedad, donde encuentra que el PG (96% inicial) y la calidad panadera no se afectó durante el período de almacenamiento, pero no se informa el tiempo de almacenamiento. A su vez recomienda que a 13% de humedad no se superen los 60 días de

almacenamiento, y si se quiere almacenar por más de 60 días se debe secar el grano por lo menos a 11%. Bartosik y Rodríguez (1999) realizaron ensayos embolsando maíz en bolsas de 50 Kg a 13.6, 15 y 17% de humedad durante un período de cuatro meses. La calidad comercial del maíz (grano dañado y peso hectolítrico) no se afectó luego de los cuatro meses de ensayo en las bolsas con 13.6% de humedad, en tanto que a 15% la calidad comienza a deteriorarse a partir de los 2 meses, y a 17% el deterioro comienza antes de los 2 meses. Los mismos autores hicieron estudios en una bolsa de 3500 Kg de maíz a 14% de humedad. Encontraron que la oscilación diaria de la temperatura alcanza los primeros 15-20 cm superficiales, mientras que el resto del grano no sufre alternancias diarias de temperatura. Casini (1996) trabajando con girasol, embolsó semillas en bolsones plásticos en condiciones de campo (no laboratorio) en tres rangos de humedades, 8-10%, 10-12% y 12-14% a partir del mes de marzo. Reporta no haber observado aumento de la temperatura de la semilla durante el ensayo. Las determinaciones de calidad establecieron que con humedades hasta 12% no se observó aumento considerable de la acidez en los primeros cuatro meses. Además, la semilla se conservó bien durante cuatro meses a 12-14% y hasta siete meses con menos de 12%. Al finalizar el ensayo la acidez de la semilla en las bolsas era de 1 a 2.2% y en las celdas (testigo) era de 1.6%.

Efecto de la hermeticidad sobre la actividad de los insectos

La actividad respiratoria de los insectos y granos confinados provocan la caída en los niveles de O₂ y el aumento de CO₂ en el granel confinado en un ambiente hermético. Cuanto mayor es la actividad del granel, más rápido será el consumo de O₂ y la generación de CO₂. Oxley y Wickenden (1963), citado por Bogliaccini (2001), estudiaron el consumo de O₂ y la generación de CO₂ en trigo confinado infectado con 13 y 133 gorgojos (*Sitophilus granarius*) por kg. Ellos encuentran que en el trigo infectado con 13 gorgojos por Kg la producción de CO₂ fue en incremento hasta los 20 días, donde se estabilizó en 14%, en tanto que aproximadamente el nivel de O₂ disminuyó desde 21% a 2%. En el caso del trigo infectado con 133 gorgojos por Kg el consumo de O₂ fue mucho más rápido, disminuyendo a 3% en solo 5 días y a casi 0% en 10 días.

La bibliografía referida al control de insectos con atmósferas modificadas es extensa y ha merecido importantes revisiones (Annis, 1986). Estos trabajos se basan en la modificación de la atmósfera a través de la adición de gases (N₂ o CO₂) para eliminar el oxígeno y crear un ambiente desfavorable al desarrollo de insectos y hongos. La literatura establece que concentraciones de CO₂ y O₂, tiempo de exposición, especie de insecto, estado de desarrollo (huevo-larva-pupa-adulto), temperatura y humedad relativa son los principales factores que influyen la mortalidad de los insectos en los tratamientos de control. Los estudios de control de insectos con atmósferas controladas o modificadas se pueden separar en: atmósferas con baja concentración de O₂ y atmósferas enriquecidas con CO₂.

Atmósferas con baja concentración de oxígeno: la mayoría de los trabajos se refieren a atmósferas con concentraciones de O₂ menores a 1%. Estas atmósferas se logran agregando N₂, CO₂ o cualquier otro gas. La mayoría de las especies estudiadas mostraron una mortalidad de 95% o mayores durante 10 días de exposición, tanto en atmósferas con 0,1 o 1% de O₂ (Annis, 1986).

Atmósferas enriquecidas con CO₂: cuando la concentración de O₂ es menor a 5% se observa un incremento en la mortalidad. Los datos de eficacia de control de insectos con atmósferas con menos de 20% de CO₂ son confusos. No se sabe cual sería el tiempo de exposición requerido para lograr un control total, pero sería superior a los 25 días (Annis, 1986). En los tratamientos de fumigación con CO₂, el producto de la concentración de CO₂ y tiempo de exposición (de aquí en adelante llamada ct-producto) es utilizado para representar la dosis (Alagusundaram et al, 1995). A una determinada temperatura y contenido de humedad, la mortalidad de los insectos es influenciada por la concentración del gas y el tiempo de exposición. Para realizar un control total de la mayoría de las plagas de granos almacenados en atmósferas enriquecidas con CO₂, Bank y Annis (1980), recomiendan una relación ct-producto de 12600%h, en tanto que Annis (1986) recomienda elevar la dosis a 16000%h. En teoría esta dosis se podría cumplir con cualquier relación concentración/tiempo, pero la mayoría de los trabajos realizados parten de una dosis mínima de 40% de CO₂. Bartosik et al (2001), encuentran que para una misma relación ct-producto, aquella conseguida con la menor dosis y mayor tiempo de exposición fue la más efectiva. Esta sería una situación favorable para las bolsas, ya que la concentración de CO₂ lograda no sería muy elevada, pero el tiempo de exposición puede ser lo suficientemente prolongado como para realizar un buen control. La literatura demuestra que el control de insectos con CO₂ a bajas dosis es igualmente efectivo. White y Jayas (1993), lograron un control completo de *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) con 29% de CO₂ durante dos semanas de exposición (ct-producto 9744 %h) con temperaturas declinando de 25 a 20°C. A una concentración aun más baja (20%) y a una temperatura ligeramente más alta (25 + - 3°C), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) pudo ser controlado en 4-6 semanas (ct-producto desde 13440 hasta 20160 %h) (White et al, 1990).

La humedad relativa del granel también tiene efecto sobre la actividad de los insectos. A muy bajas humedades relativas se produce una pérdida de agua a través de la cutícula, lo que causa el desecamiento y el aumento de la mortalidad de los insectos. Aunque existen especies que logran soportar humedades relativas del orden del 10%, la gran mayoría mueren. Por ejemplo, el gorgojo del arroz (*Sitophilus orizae*) tiene una humedad relativa crítica del 60%, por debajo de esta aumenta su mortalidad. En el caso del trigo, una humedad relativa del 60% corresponde a un contenido de humedad del grano de 12.9 % a 25°C (Bogliaccini, 2001).

La temperatura afecta no solo la actividad de los insectos, sino también la de todo el granel. Los insectos plagas de los granos son un gran problema en climas tropicales o subtropicales, no obstante pueden causar serios problemas en climas templados. El óptimo de desarrollo de los insectos de los granos se encuentra entre 25-30 °C (Yanucci, 1996), pero con temperaturas por encima de 10°C algunas especies pueden causar problemas (Brooker et al, 1992). La respiración del grano también está influenciada por la temperatura del granel (tabla 1).

| Temperatura (°C) | Anhídrido carbónico respirado (mg/100 gr de grano/24 horas) |
|------------------|---|
| 4 | 0,24 |
| 25 | 0,45 |
| 35 | 1,30 |
| 45 | 6,61 |
| 55 | 31,73 |
| 65 | 15,71 |
| 75 | 10.28 |

Tabla 1. Respiración de trigo duro de primavera con 15% de humedad a diferentes temperaturas (Bogliaccini, 2001).

Cuanto más baja es la temperatura del granel, menor es la actividad biológica en el mismo. A bajas temperaturas disminuye la actividad de los insectos (disminuye el riesgo de infección y el consumo de materia seca) y la de los propios granos, mejorando las condiciones de almacenamiento de los mismos.

El almacenaje en bolsas además de crear un ambiente poco favorable para el desarrollo de insectos en su interior, también reduce notablemente la posibilidad de contaminación del granel. Los insectos pueden infectar los graneles en tres diferentes vías: 1) a campo, 2) instalaciones contaminadas previo al ingreso del grano y 3) infestación posterior de granos ya almacenados. Con el almacenaje en bolsas plásticas la única vía posible de infestación es a campo. Si el grano viene con insectos desde el campo, estos van a ingresar a la bolsa junto con los granos. En cambio, la segunda vía no es factible debido a que las bolsas son descartables por lo que no hay posibilidad que estén contaminadas antes de su uso. Este es un aspecto muy importante porque esta segunda alternativa generalmente es la fuente más importante de contaminación del granel. La tercera vía también es eliminada, ya que la bolsa cerrada herméticamente constituye una barrera que impide la entrada de cualquier tipo de insectos.

Efecto de la hermeticidad sobre la actividad de los hongos

Los hongos necesitan humedades relativas por encima de 67% (promedio) para desarrollarse. Esa humedad relativa corresponde a un contenido de humedad de 13.6% en maíz, 13.7% en trigo y 12% en soja a 25°C (ASAE, 1988). Dentro de los daños que causan los hongos posiblemente el más importante es la producción de micotoxinas. No todas las colonias de hongos producen toxinas, debido a que su producción esta influenciada por el sustrato, el pH, concentración de O₂ y CO₂ y estrés hídrico. Sin embargo, a medida que las condiciones de temperatura y humedad sean las adecuadas, las especies fúngicas que acompañan a los granos almacenados se van a desarrollar, aumentando las posibilidades de producción de toxinas (Bogliaccini, 2001). Moreno et al (1987), almacenaron semillas de maíz, inoculadas y no inoculadas con hongos, a 15.7 y 17.1% de humedad bajo tres situaciones diferentes; condiciones ambientales, almacenaje hermético y atmósfera controlada (AC 92-88% CO₂). En almacenaje hermético y en AC no se observó desarrollo de hongos en semillas no inoculadas, en tanto que en almacenaje bajo condiciones ambientales se observó un fuerte desarrollo de hongos. El almacenaje de semillas no inoculadas en recipientes herméticos no afectó el PG, en tanto que se observó una disminución de dicho parámetro a 14 y 31% en los tratamientos de AC y condiciones ambientales respectivamente. La disminución del PG en el tratamiento de AC puede deberse a ciertos efectos fitotóxicos que se producen cuando la concentración de CO₂ supera el 60%. El almacenaje de semillas inoculadas mostró un fuerte desarrollo de hongos y una caída del PG a 0% en el caso de los tratamientos AC y condiciones ambientales, en tanto que en el tratamiento de almacenaje hermético este efecto fue

menos severo. Baran et al (1993), encontraron que atmósferas enriquecidas con CO₂ estabilizaron el crecimiento de hongos y retardaron la síntesis de micotoxinas en maíz contaminado con *Aspergillus*.

Materiales y Métodos

En la estancia San Lorenzo, de Zubiaurre S.A., en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, se realizó un ensayo almacenando granos de maíz (Axel de Sursem) en bolsas plásticas (sistema silobag), con dos contenidos de humedad diferentes (14,8% de humedad y 19,5% de humedad) durante un período de 153 días (la totalidad del ensayo involucra además granos de trigo, soja y girasol) a los efectos de estudiar la evolución de diferentes parámetros de calidad en el tiempo. Las dimensiones de las bolsas utilizadas son 220 pies de largo, 9 pies de diámetro y 250 micrones de espesor. Las bolsas están confeccionadas con material tricapa, con el interior color negro y la capa exterior color blanco, siendo éstas las bolsas más difundidas en el mercado.

Los ensayos comenzaron en el momento de cosecha del grano y se extendieron durante un total de 153 días. Los ensayos comenzaron el 6 de julio de 2001 para el maíz con 19,5% de humedad y el 23 de agosto de 2001 para el maíz con 14,8% de humedad promedio y se prolongaron hasta el 5 de diciembre de 2001 y 23 de enero de 2002 respectivamente.

Muestreo:

La recolección de muestras se realizó al comienzo del ensayo, a los 40 días, a los 83 días y al finalizar el ensayo (153 días) para el maíz con 19,5% de humedad promedio y al inicio, 50 días, 81 días y 153 días para el maíz almacenado con 14,8% de humedad promedio. Las muestras se toman perforando la bolsa con un calador sonda, discriminadas según su profundidad (3 profundidades, superior, media e inferior), en tres sitios diferentes (3 repeticiones), totalizando 9 submuestras por cada muestreo y 36 durante todo el ensayo por cada una de las bolsas. Luego del muestreo se sella el orificio con cintas adhesivas para mantener la hermeticidad del sistema.

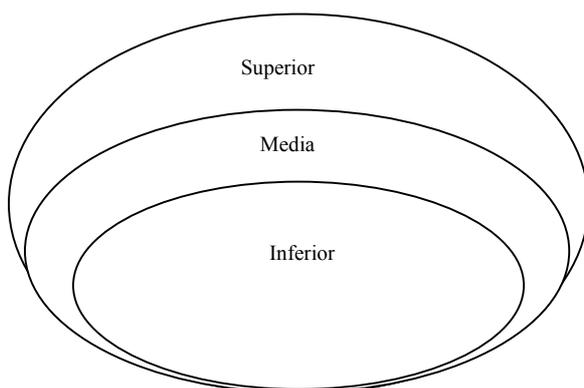


Figura 1. Zonas de muestreo según la posición del grano en la bolsa.



Figura 2. Toma de muestra perforando la bolsa con calador sonda.



Figura 3: Muestra extraída y extendida sobre el catre



Figura 4: Muestra separada según su ubicación dentro de la bolsa (superior, media e inferior)



Figura 5. Sellado de los orificios producidos por el muestreo.

Parámetros de calidad evaluados:

De cada una de las submuestras se miden parámetros de calidad tales como peso hectolítrico y poder germinativo. Estos análisis se realizaron para todos los granos ensayados con el objetivo de observar el efecto del embolsado sobre la calidad comercial del producto y también para determinar la factibilidad de uso de esta técnica en el almacenaje de semillas. Además de estos análisis generales, se realizan análisis de calidad industrial específicos para cada grano en particular.

Peso hectolítrico: indica la relación que hay entre el peso y el volumen del grano, y se define como el peso de 1 hectolitro de granos (100 litros). Este parámetro es un buen indicador de las condiciones de almacenamiento, ya que es uno de los primeros índices que se afecta cuando las condiciones de almacenamiento no fueron las adecuadas. Es componente del estándar de comercialización.

Poder germinativo: se utiliza para evaluar la viabilidad de la semilla para producir una nueva planta. Se colocan 100 granos en condiciones estándar de temperatura y humedad durante 7 días, finalizados los cuales se realiza un conteo de la cantidad de semillas que dan origen a una plántula viable y se determina el porcentaje. Este índice es muy sensible y permite detectar rápidamente si el grano ha sido “fisiológicamente” afectado por el almacenaje.

Energía Germinativa: test similar al poder germinativo pero más exigente.

Granos dañados: son todos aquellos granos o pedazos de granos que presentan alteraciones sustanciales en su constitución y en su exterior provocados por agentes externos, donde se incluyen granos brotados, fermentados, podridos, calcinados y/o con verdín. El daño en los granos almacenados se suele ver favorecido por daños mecánicos en las membranas que recubren las semillas y que son la principal barrera mecánica al ingreso de microorganismos (hongos, bacterias y/o insectos) al interior de las mismas. Estas alteraciones se producen durante la recolección, por parte del cilindro de las cosechadoras y los elementos de transporte (sinfines). Es componente del estándar de comercialización.

Humedad de embolsado

Las determinaciones del contenido de humedad de las muestras se realizaron en el laboratorio por medio de estufa. Desde el momento de la recolección hasta la llegada al laboratorio, las muestras se mantuvieron identificadas en bolsas de polietileno de sellado hermético para no producir variaciones en los niveles de humedad

Temperatura

El seguimiento de la temperatura se realizó mediante dataloggers que colectaron valores de temperatura horarias durante todo el período del ensayo en ambas bolsas, maíz a 19,5% de humedad y a 14,8% de humedad. Se tomaron valores de temperatura ambiente y de grano. La temperatura del grano fue tomada en tres posiciones dentro de la bolsa, superior, media e inferior. La temperatura de la posición superior corresponde al grano que está próximo a la superficie (0 a 10 cm), la temperatura de la posición media corresponde al grano ubicado aproximadamente en el centro de la bolsa, y la temperatura de la posición

inferior corresponde al grano próximo al piso de la bolsa. Los sensores se ubicaron con la ayuda de varillas de hierro para alcanzar los lugares deseados y luego los orificios producidos por la colocación de estos elementos fueron tapados con selladores para mantener la hermeticidad del sistema.



Figura 6. Instalación de sensores de temperatura en el interior de las bolsas. Cada una de las varillas corresponde a una ubicación dentro de la bolsa (superior, media e inferior).

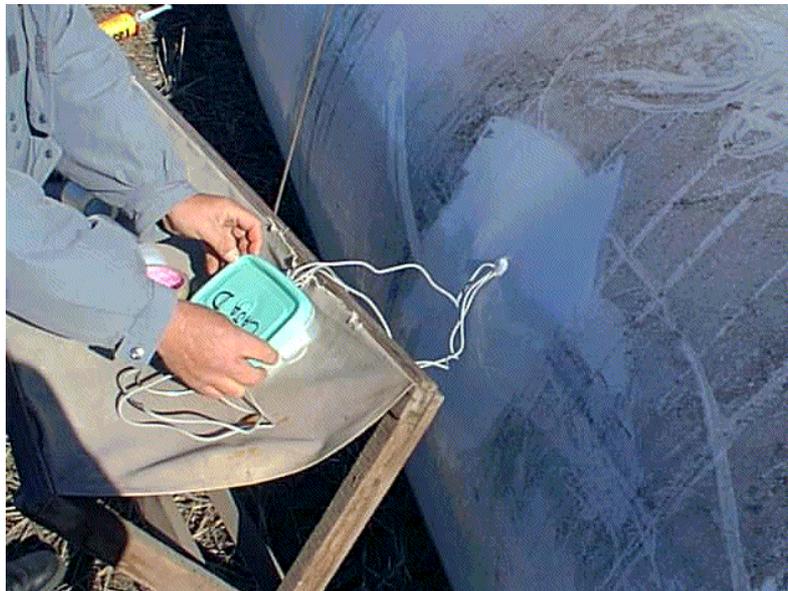


Figura 7. Instalación de la caja hermética conteniendo los dataloggers para la recolección de datos de temperatura.

Dióxido de carbono:

Se realizó un seguimiento de la concentración de CO₂ durante el período del ensayo a los fines de determinar si se alcanzan valores que permitan realizar un control natural de los insectos. Las concentraciones se midieron a diferentes profundidades en el interior de las bolsas, con la intención de establecer si la concentración de CO₂ es uniforme o si se crean zonas de menor concentración y potencialmente riesgosas para el desarrollo de insectos. La medición de CO₂ se realizó con un analizador rápido de anhídrido carbónico y oxígeno marca Illinois Instruments 3600 (Ingleside, Illinois, USA).



Figura 8. Determinación de la concentración de O₂ y CO₂ en el interior de las bolsas.

Actividad de insectos:

Para determinar el efecto de la atmósfera modificada que se produce en el interior de la bolsa sobre la actividad de los insectos se colocaron celdas conteniendo gorgojos vivos a diferentes profundidades en el interior de las bolsas. Para ello se confeccionaron tubos de plástico de 1,5 m de longitud con 3 divisiones que se insertaron en la masa de granos. En el interior de cada una de las divisiones se colocaron 50 gorgojos vivos encerrados en una malla plástica rellena de granos de maíz. Los insectos estuvieron expuestos a las diferentes atmósferas conformadas en el interior de la bolsa, desde la zona próxima a la superficie hasta la zona del piso de la bolsa. Por cada bolsa se colocaron 9 tubos (3 repeticiones x 3 épocas de muestreo).



Figura 9. Colocación de los tubos conteniendo celdas con insectos vivos en el interior de las bolsas.

Evolución del peso hectolítrico

El peso hectolítrico de los granos está influenciado por el contenido de humedad de los mismos, a mayor contenido de humedad, menor el peso hectolítrico (Brooker et al, 1992). Las diferencias iniciales en el peso hectolítrico se deben al diferente contenido de humedad entre el maíz a 19,5% de humedad y el maíz a 14,8% de humedad. Al mantenerse las diferencias del contenido de humedad en el tiempo, lo mismo ocurre con el peso hectolítrico, el cual siempre fue más bajo en el maíz a 19,5% de humedad que en el maíz a 14,8% de humedad. La variación del peso hectolítrico en el tiempo para ambas humedades fueron estadísticamente no significativas. No hay ninguna tendencia a la variación del peso hectolítrico del maíz según se ubique en la parte superior, media o inferior de la bolsa, por lo que la variación de peso hectolítrico no ha sido influenciada por la posición del grano.

Peso Hectolítrico - Maiz seco

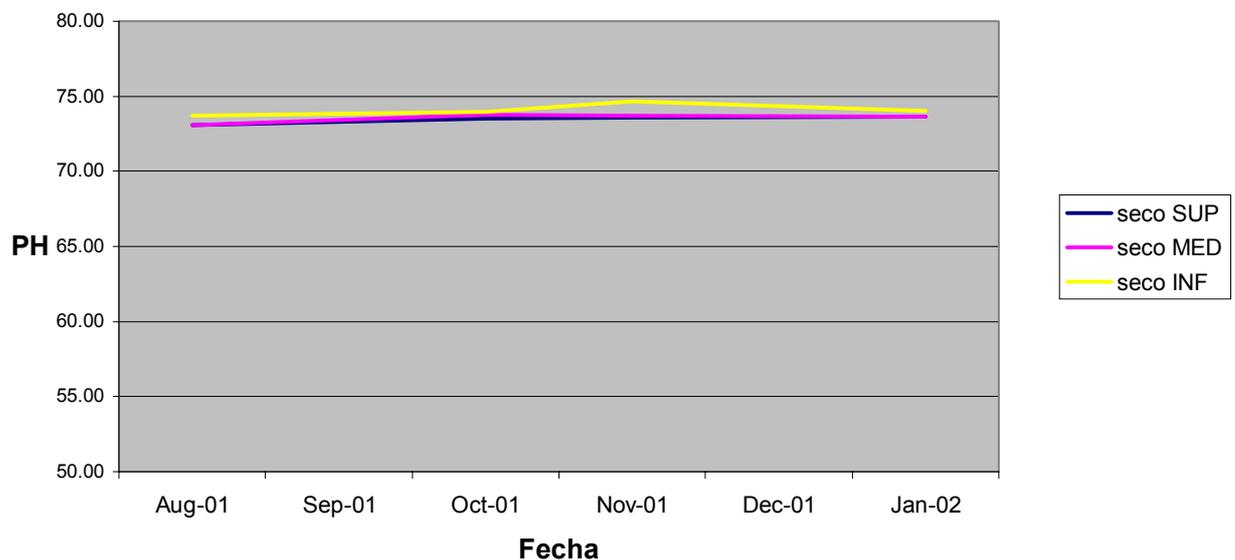


Gráfico 5. Evolución del peso hectolítrico durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz a 14,8% de humedad.

Peso Hectolítrico - Maíz húmedo

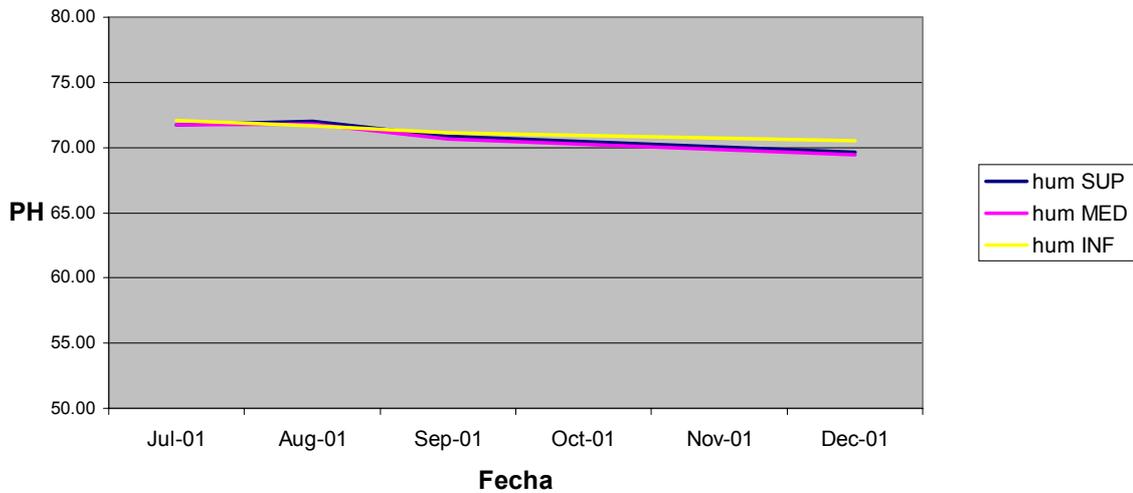


Gráfico 6. Evolución del peso hectolítrico durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz a 19,5% de humedad.

Evolución del poder germinativo

El contenido inicial de humedad tuvo un efecto estadísticamente significativo en el poder germinativo. La bolsa con maíz con 19,5% de humedad prácticamente mantuvo su poder germinativo, disminuyendo solo 5,3% en 153 días, la cual no fue estadísticamente significativa, en cambio la bolsa de grano con 14,8% de humedad promedio disminuyó su poder germinativo de manera importante casi desde el inicio mismo del ensayo, disminuyendo 16,8% en promedio al finalizar el ensayo. La posición del grano dentro de la bolsa no afectó el poder germinativo.

Poder Germinativo - Maíz seco

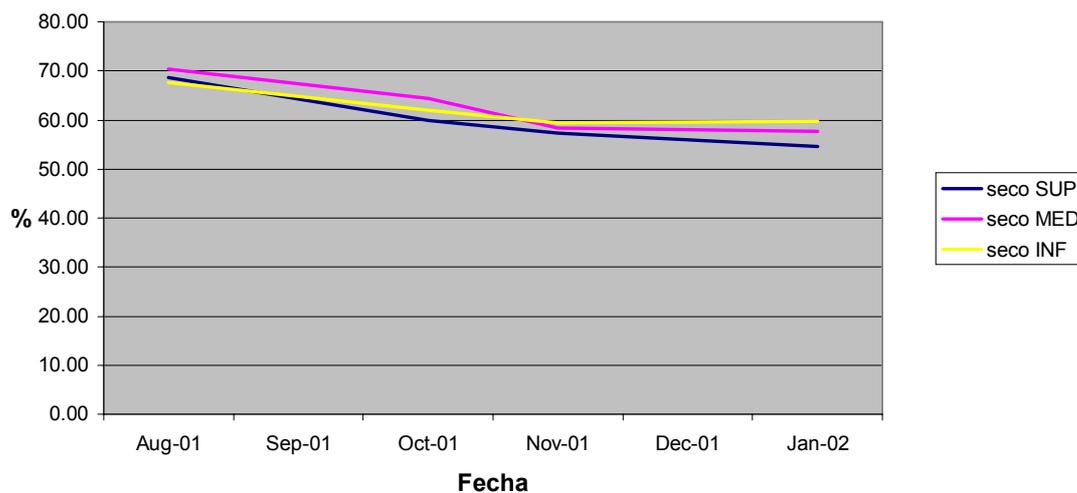


Gráfico 7. Evolución del poder germinativo durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz a 14,8% de humedad.

Es difícil encontrar una explicación porqué en el maíz con menor contenido de humedad hubo diferencias significativas en la pérdida del poder germinativo y no la hubo con el maíz con mayor contenido de humedad. La única explicación lógica estaría relacionada con los valores iniciales del poder germinativo de ambos tratamientos.

Poder Germinativo - Maíz húmedo

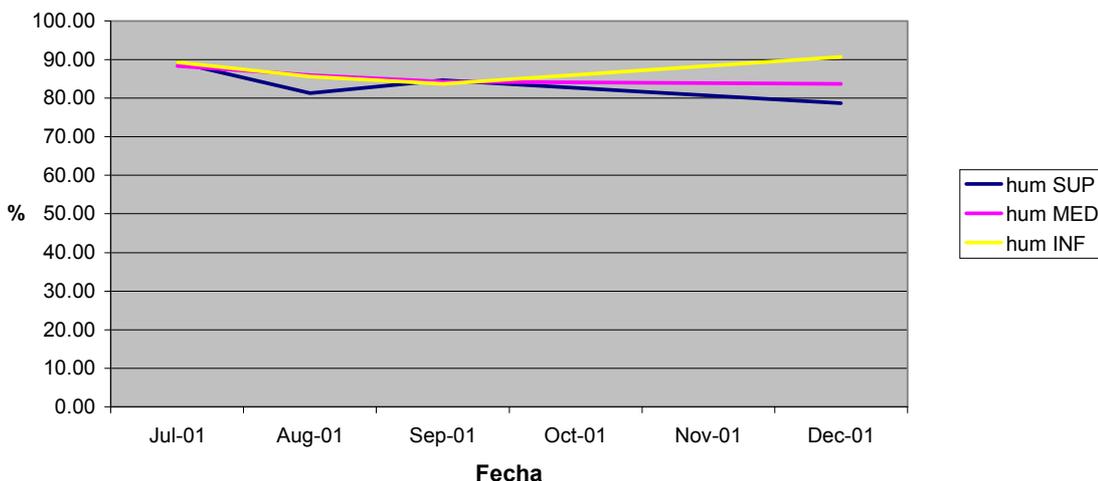


Gráfico 8. Evolución del poder germinativo durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz a 19,5% de humedad.

Evolución del nivel de daño en los granos de maíz

Granos Dañados - Maíz seco

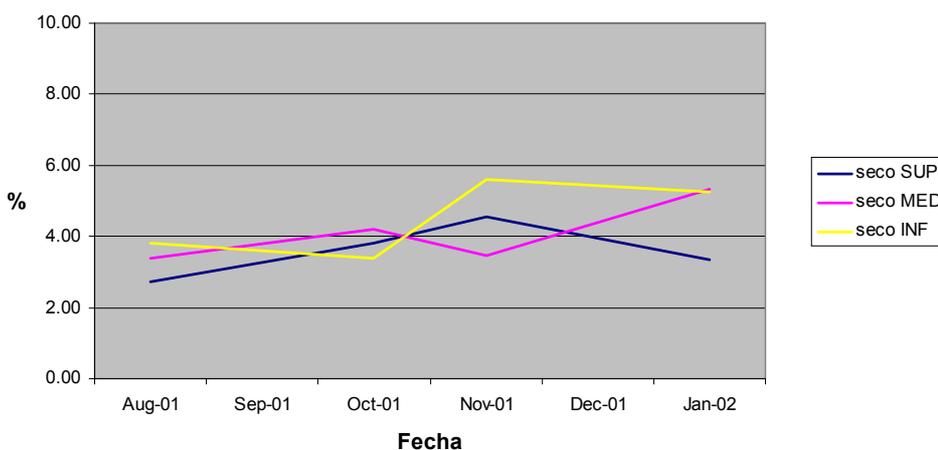


Gráfico 9. Evolución del nivel de daño comercial durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz con 14,8% de humedad.

El nivel de daño del grano almacenado con 14,8% de humedad promedio se fue incrementando muy levemente durante el período analizado (Gráfico 9), mientras que en el caso del grano almacenado con 19,5% de humedad promedio el incremento fue mas marcado (Gráfico 10). Es importante mencionar que el grano tenía desde el inicio niveles de daño que superaban lo tolerado por los estándares de comercialización de modo que estos incrementos no cambiaron su calidad comercial.

Granos dañados - Maíz húmedo

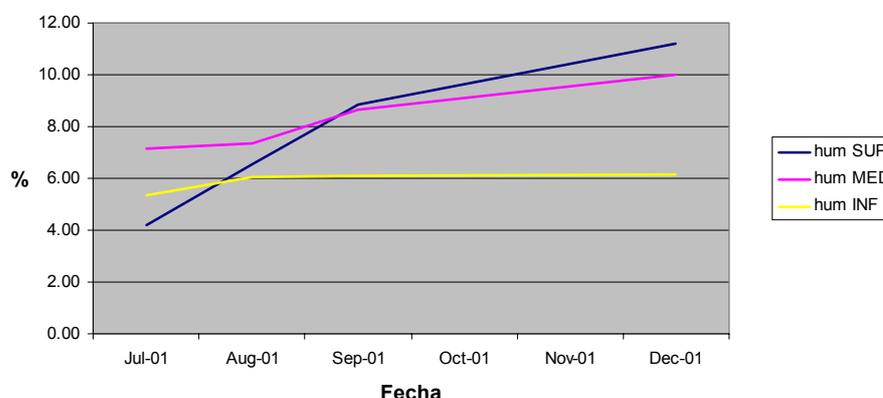


Gráfico 10. Evolución del nivel de daño comercial durante el período del ensayo para las diferentes alturas del grano en la bolsa de maíz con 19,5% de humedad.

Dentro de la bolsa con 14,8% de humedad promedio (Gráfico 9) no se ve una clara diferenciación en la distribución del nivel de daño en las distintas capas de granos, mientras que en el grano almacenado con 19,5% de humedad promedio (Gráfico 10) existe diferenciación entre capas. En el estrato inferior el nivel de daño varía muy poco hasta el final del período analizado, el incremento alcanza el 15% (de 5,3% a 6,1%). En la capa media se va incrementando el nivel de daño alcanzando hacia el final del período analizado un 40,2% superior al valor inicial (de 7,13% a 10%) y en la capa superior este incremento llega al 166% (de 4,2% a 11,2%).

Esta diferencia podría deberse al daño mecánico diferencial producido por el sinfín de la embolsadora el cual produciría lesiones en las coberturas de la semilla de maíz. Esto se afirmaría en la ausencia de estratificaciones de humedad y en la ausencia de condensación dentro de la bolsa, lo que indicaría que el incremento de daño no se debería ni a un incremento en la fermentación ni al brotado, quedando solo el incremento de granos podridos, calcinados o con verdín que sería adjudicado a la colonización de microorganismos de los granos.

Evolución de la concentración de CO₂ y O₂ en el aire intergranario

La respiración del grano produjo un aumento en la concentración de CO₂ y una disminución de O₂ en el interior de las bolsas (Tabla 5). La variación de la concentración de dichos gases fue influenciada por el tiempo de almacenamiento, en tanto que no se observaron diferencias a las distintas profundidades dentro de la bolsa, lo que indica que no se produjo una estratificación de los gases. En el grano con 14,8% de humedad la concentración de CO₂ va aumentando continuamente durante alrededor de 50 días estabilizándose en el orden del 18%, en tanto que en la bolsa de grano a 19,5% de humedad se registró un incremento constante durante todo el período analizado alcanzando valores similares al maíz mas seco, con concentraciones de 18,5%. Esta diferencia entre ambas tendencias indicaría que la respiración del grano fue mucho más importante inicialmente en el grano a 14,8% de humedad que en el de 19,5% de humedad. Esta tendencia que por los antecedentes debería ser inversa, se explicaría a partir de la temperatura mas baja a que está sometido el grano mas húmedo al momento de ser embolsado, lo que disminuiría la tasa respiratoria y cuando la temperatura comienza a elevarse los niveles de CO₂ ya alcanzan valores muy elevados, llegando a los que alcanza el grano mas seco. Lo mismo se desprende del análisis de la concentración de O₂. En el grano con 19,5% de humedad la concentración de O₂ disminuye a alrededor del 2% En el grano a 14,8% de humedad la disminución fue similar pero en menor tiempo.

Tabla 5. Evolución de la concentración de CO₂ y O₂
Maíz embolsado con 14,8% de humedad promedio

| Posición | Momento de medición | | | | | |
|----------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | 35 días | | 52 días | | 79 días | |
| | CO ₂ | O ₂ | CO ₂ | O ₂ | CO ₂ | O ₂ |
| inferior | 8.9 | 11.54 | 18.2 | 2.14 | 18.2 | 2.1 |
| medio | 10.0 | 9.94 | 18.3 | 2.17 | 18.1 | 2.1 |
| superior | 10.2 | 9.62 | 18.1 | 2.14 | 18.2 | 2.1 |
| promedio | 9.7 | 10.36 | 18.2 | 2.15 | 18.2 | 2.1 |

Maíz embolsado con 19,5% de humedad promedio

| Posición | Momento de medición | | | | | |
|----------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | Inicio | | 20 días | | 84 días | |
| | CO ₂ | O ₂ | CO ₂ | O ₂ | CO ₂ | O ₂ |
| inferior | 0 | 19.2 | 6.2 | 12.8 | 18.5 | 2.7 |
| medio | 0 | 19.4 | 6.2 | 12.8 | 18.4 | 2.6 |
| superior | 0 | 19.1 | 6.2 | 12.8 | 18.6 | 2.6 |
| promedio | 0 | 19.2 | 6.2 | 12.8 | 18.5 | 2.6 |

Evolución del control de insectos

En la bolsa de maíz con 14,8% de humedad no se observaron insectos vivos en ninguno de los momentos de medición (Tabla 6), en cambio en los granos almacenados con 19,5% de humedad promedio, se observaron insectos vivos hasta los 81 días inclusive. La bibliografía cita que con una relación concentración de CO₂ tiempo de exposición (ct-producto) de 9744%h se logró un control total de insectos (White y Jayas, 1993). Considerando que el grano con mayor humedad tuvo menores niveles de CO₂ como consecuencia de menores tasas de respiración por las bajas temperaturas (Tabla 5-Gráfico 2), este ct-producto crítico se habría conseguido alrededor de los 60 días posteriores al embolsado, esto explica la presencia de insectos vivos en el muestreo del día 40, pero no en el día 81. Para el caso del maíz con menor tenor de humedad el ct-producto crítico se alcanza alrededor del día 40 lo que explica la ausencia total de insectos vivos en el primer muestreo a los 50 días posteriores al momento de embolsado, complementado por la baja humedad relativa en el aire intergranario. (Bogliaccini, 2001).

Tabla 6. Efecto sobre control de insectos
Determinación de insectos vivos en maíz a 14,8% de humedad

| Posición | Momento de observación | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------|----|----|---------|---|---|---------|---|---|----------|---|---|
| | Inicial | | | 50 días | | | 81 días | | | 153 días | | |
| Inferior | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Medio | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Superior | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Promedio | 30 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | |

Determinación de insectos vivos en maíz a 19,5% de humedad

| Posición | Momento de observación | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------|----|----|---------|----|---|---------|---|---|----------|---|---|
| | Inicial | | | 40 días | | | 81 días | | | 153 días | | |
| Inferior | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Medio | 10 | 10 | 10 | 6 | 10 | 1 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Superior | 10 | 10 | 10 | 6 | 6 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Promedio | 30 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | |

Conclusiones

- La temperatura del grano en las bolsas sigue la evolución de la temperatura ambiente. Dicha evolución fue influenciada por la posición del grano en la bolsa. El grano de la parte superior presenta una variación similar a la temperatura exterior. El grano ubicado en la parte inferior y media de la bolsa mantiene los valores de temperatura estables y por encima de la temperatura de la parte superior mientras se mantienen muy bajas las temperaturas del ambiente. Al inicio de la primavera las temperaturas se equiparan presentándose las capas media e inferior mucho más estables que las de la parte superior. Hacia el final del período analizado las temperaturas se van elevando por efecto de la temperatura exterior, observándose que la temperatura en la capa superior es más alta que en las restantes posiciones.
- No se ha observado variación alguna en el contenido de humedad tanto en la bolsa de maíz con 14,8% de humedad como en la de 19,5% de humedad durante todo el período de almacenamiento. Tampoco se ha observado estratificación de humedad según la posición del grano en la bolsa.
- En el grano almacenado con 14,8% de humedad el peso hectolítrico no tuvo una importante variación en el tiempo. Se observó disminución de dicho parámetro en el maíz con 19,5% de humedad en el último muestreo.
- El poder germinativo no fue alterado durante los 153 días de almacenamiento del maíz con 19,5% de humedad en ninguna de las posiciones de la bolsa. En el maíz con 14,8% de humedad promedio se observa una disminución del poder germinativo desde el principio del período de almacenamiento.
- El maíz con 14,8% de humedad promedio no presenta alteraciones en los niveles de daño a lo largo del período evaluado. En el grano almacenado con 19,5% de humedad promedio, el nivel de daño no tuvo variación en la zona inferior y sí en la zona media y superior de la bolsa.
- La respiración del grano produjo un aumento en la concentración de CO₂ y disminución de O₂ en el interior de las bolsas. La variación de la concentración de dichos gases fue influenciada por el contenido inicial de humedad del grano y la temperatura del mismo. La concentración de CO₂ y de O₂ en ambas bolsas al final del período analizado tuvo valores similares. No se observaron diferencias en la concentración de gases relacionadas con la posición del grano en la bolsa, lo que indica que no se produjo estratificación de gases.
- No se observó la presencia de un solo insecto vivo en ninguno de los momentos de medición, en la bolsa de maíz con 14,8% de humedad. En la bolsa con 19,5% de humedad promedio los insectos recién mueren pasados los 80 días de almacenamiento. Esto sugeriría que la relación concentración de CO₂ alcanzada en el interior de las bolsas y tiempo de exposición a dicha concentración fueron suficientemente tóxicas como para causar 100% de mortalidad en los insectos al final del ensayo.

Bibliografía

- Alagusumdaram, K., Jayas, D.J., Muir, W.E. White, N.D.G. y Sinha, R.N. 1995. Transaction of the ASAE. Vol.38(3): 895-901.
- Annis, P.C. 1986. Towards rational controlled atmosphere dosage schedules: a review of current knowledge. Proc.4th work conf. Stored Product Protection, Tel Aviv, Israel
- ASAE. 1988. Agricultural Engineers Handbook, 35th ed. Am.Soc.Agr.Eng., St. Joseph, MI.
- Bank, H.J. y Annis, P.C. 1980. Conversion of existing grain storage structures for modified atmosphere use. Controlled atmosphere storage of grains. Ed. Shejbal, 461-473. Amsterdam.
- Baran, M., Venglovsky, J., Valoveik, J. Y Jonotikova, I. 1993. Maize storage in controlled CO₂ atmosphere. Polnohospodarstvo (CSFR). Abril 1992 v. 38(4) p. 249-256
- Bartosik, R.E. y Rodríguez J.C. 1999. Evaluación de una técnica de almacenaje de granos a 12.5% de humedad en bolsas plásticas – Sistema silobag. Informe INTA-IPESA.
- Bartosik, R.E., Maier, D.J. y Rodríguez, J.C. 2001. Effects of CO₂ Dosage and Exposure Time on the Mortality of Adult and Immature Stages of *Sitophilus oryzae*. Enviado al congreso de ASAE 2001. Paper N° 01-6110.
- Bogliaccini, A. 2001. Almacenamiento hermético. Revista Granos, Año VI-N°XXVII – junio 2001.
- Brooker, D.B, Bakker-Arkema, F.W, y Hall, C.W. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, 115 Fifth Avenue, New York.
- Casini, C. 1996. Ensayo de simulación almacenamiento de trigo en silo-“bag”. Hoja de divulgación INTA Manfredi.
- Iribarren Carlos A. 1983. Determinación de la calidad de los cereales y oleaginosas. Cooperadora “Amigos de las Escuelas de recibidores de Granos”
- Moreno, E., Menendez, A. Y Ramirez, J. 1987. Behavior of maize seeds under different storage regimes. Turrialba. 1987, 37:3, 267-273, 12 ref.
- Siebenmorgen, T.J., Freer, M.W., Benz, R.C. y Loewer, O.J. 1986. Controlled atmosphere storage system for rice. Paper ASAE. 1986, No. 86-6511, 26pp, 9 ref.
- Yanucci, D. 1996. Evolución del control de plagas de granos almacenados en Argentina. FAO.
- White, N.D.G. y Jayas D.S. 1993. Effectiveness of carbon dioxide in compressed gas or solid formulation for the control of insects and mites in stored wheat and barley. Phytoprotection 74:101-111.
- White, N.D.G., Jayas, D.S. y Sinha, R.N. 1990. Carbon dioxide as a control agent for the rusty grain beetle in stored wheat. J. econ. Entomol. 83(1):277-288.

ANEXO Tablas

Tabla 7. Temperatura del grano a 14,8% de humedad y a 19,5% de humedad por posición y por momento de medición.

Temperatura maíz a 14,8% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 50 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 14,52 | 12,55 | 14,41 | 25,17 |
| Medio | 14,85 | 12,55 | 14,85 | 24,01 |
| Superior | 14,52 | 12,88 | 15,61 | 24,98 |
| Promedio | 14,63 | 12,66 | 14,96 | 24,72 |

Temperatura maíz a 19,5% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 40 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 11,77 | 9,82 | 11,07 | 17,52 |
| Medio | 12,16 | 9,64 | 10,99 | 18,66 |
| Superior | 9,71 | 10,93 | 11,49 | 18,96 |
| Promedio | 12,21 | 10,13 | 11,18 | 18,38 |

Tabla 8. Humedad del grano a 14,8% de humedad y a 19,5% de humedad por posición y por momento de medición.

Humedad maíz a 14,8% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 50 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 14,74 | 14,53 | 14,37 | 14,18 |
| Medio | 14,76 | 14,48 | 14,32 | 14,41 |
| Superior | 14,80 | 14,58 | 14,31 | 14,44 |
| Promedio | 14,77 | 14,53 | 14,34 | 14,34 |

Humedad maíz a 19,5% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 40 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 19,62 | 19,80 | 18,93 | 18,81 |
| Medio | 19,59 | 19,53 | 18,90 | 18,97 |
| Superior | 19,35 | 19,30 | 18,88 | 18,70 |
| Promedio | 19,52 | 19,54 | 18,90 | 18,83 |

Tabla 9. Peso hectolítrico del grano a 14,8% de humedad y a 19,5% de humedad por posición y por momento de medición.

Peso Hectolítrico maíz a 14,8% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 50 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 73,07 | 73,53 | 73,60 | 73,67 |
| Medio | 73,07 | 73,80 | 73,73 | 73,67 |
| Superior | 73,73 | 73,93 | 74,67 | 74,00 |
| Promedio | 73,29 | 73,76 | 74,00 | 73,78 |

Peso Hectolítrico maíz a 19,5% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 40 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 71,73 | 72,00 | 70,83 | 69,67 |
| Medio | 71,73 | 71,80 | 70,63 | 69,47 |
| Superior | 72,07 | 71,67 | 71,10 | 70,53 |
| Promedio | 71,84 | 71,82 | 70,86 | 69,89 |

Evolucion humedad - Maiz húmedo

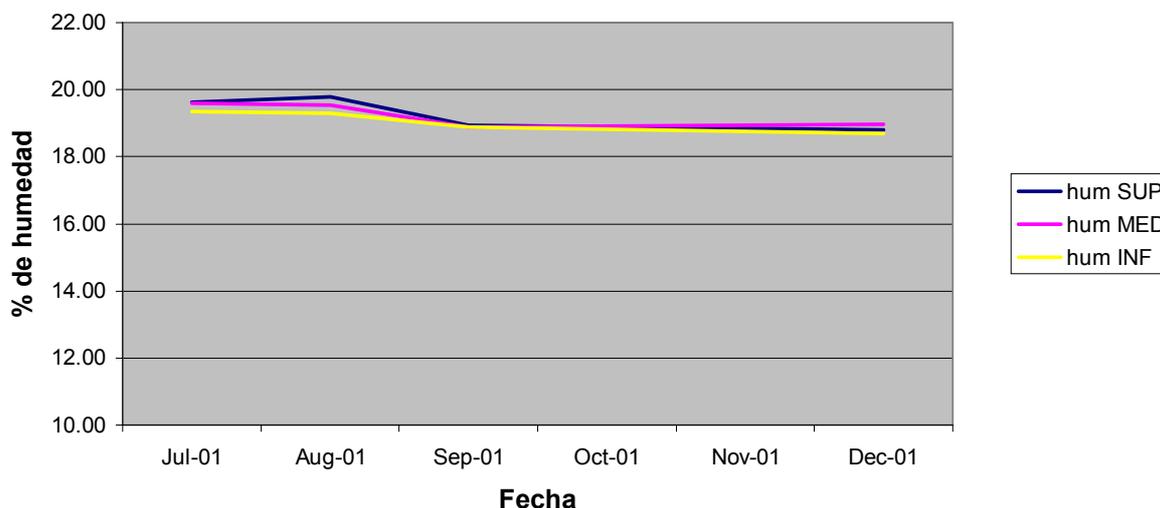


Tabla 10. Energía germinativa del grano a 14,8% de humedad y a 19,5% de humedad por posición y por momento de medición.

Energía Germinativa grano a 14,8% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 50 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 58,00 | 40,00 | 45,67 | 48,00 |
| Medio | 61,33 | 46,00 | 51,00 | 50,67 |
| Superior | 53,33 | 44,00 | 51,33 | 52,00 |
| Promedio | 57,56 | 43,33 | 49,33 | 50,22 |

Energía Germinativa grano a 19,5% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 40 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 87,00 | 78,67 | 78,33 | 72,33 |
| Medio | 85,33 | 83,00 | 77,00 | 78,00 |
| Superior | 85,67 | 82,67 | 75,33 | 85,67 |
| Promedio | 86,00 | 81,44 | 76,89 | 78,67 |

Tabla 11. Poder germinativo del grano a 14,8% de humedad y a 19,5% de humedad por posición y por momento de medición.

Poder Germinativo maíz a 14,8% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 50 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 68,67 | 60,00 | 57,33 | 54,67 |
| Medio | 70,33 | 64,33 | 58,33 | 57,67 |
| Superior | 67,67 | 62,00 | 59,33 | 59,67 |
| Promedio | 68,89 | 62,11 | 58,33 | 57,33 |

Poder Germinativo maíz a 19,5% de humedad

| Posición | Inicial | Momento de observación | | |
|----------|---------|------------------------|---------|----------|
| | | 40 días | 81 días | 153 días |
| Inferior | 89,33 | 81,33 | 84,67 | 78,67 |
| Medio | 88,33 | 86,00 | 84,33 | 83,67 |
| Superior | 89,33 | 85,67 | 83,67 | 90,67 |
| Promedio | 89,00 | 84,33 | 84,22 | 84,33 |