

Jornada de Actualización  
Calidad del grano de maíz para la industria y la producción en bovinos  
Balcarce, 15 de Noviembre de 2013

## **Secado y calidad de maíz**

por **Ricardo Bartosik**

EEA INTA Balcarce- Bartosik.ricardo@inta.gov.ar

### **INTRODUCCIÓN**

El maíz es el grano que más demanda capacidad de secado en el mundo. En Argentina en los últimos tres años se produjeron cerca de 25 millones de toneladas de maíz por año (Minagri, 2013), de las cuales, dependiendo de las condiciones climáticas de cada año en particular, se secan entre el 50 y el 80% (entre 12,5 y 20 millones de toneladas).

El secado de granos tiene varios objetivos, entre los que podemos citar: 1) reducción del contenido de humedad de acuerdo al estándar de comercialización; 2) reducción de la actividad química y microbiológica para propiciar el almacenamiento; 3) conservar las propiedades nutricionales, biológicas y de uso final del producto; 4) extender la vida útil del producto; 5) minimizar las pérdidas de materia seca y 6) reducir la masa para facilitar el transporte.

A pesar de los múltiples beneficios del secado, existen riegos derivados de una incorrecta implementación. El secado a alta temperatura consume entre 1200 a 1800 kcal por kg de agua a evaporar del grano (de la Torre, 2010). Para secar de 18 a 14,5% se deben evaporar 40,94 kg de agua por tn, por lo que la cantidad de energía consumida por el secado será de 49 mil a 65 mil

kcal por tn. Esta gran cantidad de energía implica que, por un lado si no se aplica correctamente puede resultar afectando la calidad del maíz desde el punto de vista físico, biológico, químico, organoléptico, etcétera, mientras que por el otro si se mejora la eficiencia de secado el ahorro de energía (y de costos) resulta muy significativa para la planta de acopio. En el caso particular del maíz el daño por secado más significativo es la formación de fisuras (Thompson & Foster, 1963). Los granos de maíz fisurados causan reducción del rendimiento de "grits" y harinas en la molienda seca de maíz; reducción del rendimiento de almidón en la molienda húmeda de maíz; problemas de almacenabilidad (insectos, hongos, toxinas); problemas comerciales (incremento de grano partido). Otras consecuencias del incorrecto secado de maíz son la reducción del contenido de proteína disponible; disminución del PH; decoloración; incremento del ángulo de reposo y pérdida de PG (White & Johnson, 2003).

Para tener un entendimiento cabal de la problemática del secado y la calidad hay que contextualizar el proceso dentro del acopio. El grano que se recibe húmedo no se lo puede mantener en dicha condición mucho tiempo (solo un par de días) hasta que comience a calentarse y perder calidad. Además, las plantas de acopio normalmente tienen capacidad limitada para el almacenamiento de grano húmedo, para lo cual se necesitan instalaciones especiales (silos pulmón con aireación reforzada, de 0,2 a 0,5 m<sup>3</sup>/min/tn). Esto obliga a tener que secar el grano húmedo prácticamente al mismo ritmo que se lo recibe. Por otra parte, como la inversión de la secadora es muy importante, normalmente su capacidad está dimensionada muy justa respecto de la recepción típica de grano húmedo del acopio. Esto implica que si en un año

particular la necesidad de recepción de grano húmedo es mayor al promedio, la capacidad de secado será insuficiente.

Esta situación resulta en las siguientes situaciones: la capacidad de secado es normalmente limitante, el secado consume mucha energía, mejorar la eficiencia energética del secado mejora la rentabilidad del acopio y, en ciertos casos, hay necesidad de preservar la calidad del grano. La problemática radica en que para incrementar la capacidad de secado se debe incrementar la temperatura de secado, por lo que se termina afectando la calidad. Por otra parte, si se desea incrementar la eficiencia de secado se debe incrementar la temperatura de secado (Brooker *et al.*, 1992), con el consiguiente efecto en la calidad. En ese sentido las plantas de acopio se ven sometidas a la siguiente contraposición de intereses: para manejar granos especiales hay requisitos de calidad a satisfacer que implican modificar las condiciones de secado de manera que atentan contra la eficiencia de secado (y resultan en aumento de costos) por un lado, y con la capacidad de secado por otro lado.

En el presente artículo se abordará la problemática del secado de maíz con el objeto de comprender su mecanismo de acción respecto de la formación de fisuras y se ofrecen recomendaciones para evitarlas. Además, se ofrecen recomendaciones para minimizar el impacto negativo sobre la eficiencia energética y la capacidad de secado de las medidas de remediación.

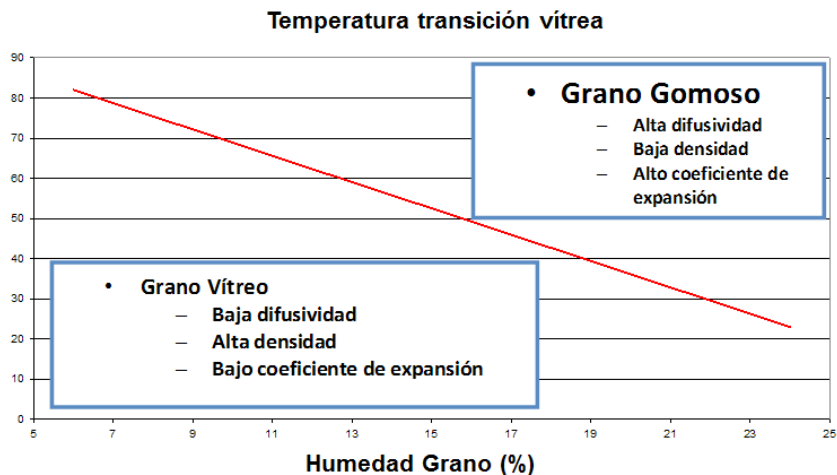
## **Fundamentos del secado**

En la cámara de secado de una secadora se encuentran el aire caliente y seco (ej. 90°C y 3% de HR) con el grano frío y húmedo (ej. 25°C y 18%). Lo primero que sucede es una transferencia de

calor desde el aire hacia el grano. La mayor parte de ese calor se consume en evaporar humedad desde la superficie del grano. Luego de un tiempo no hay más humedad en la superficie del grano (la que estaba se evaporó), lo cual inicia otro proceso físico, que es el de difusión. Para que el grano pueda seguir perdiendo humedad por evaporación, el agua debe moverse desde el interior del grano hacia la superficie mediante difusión. El proceso de difusión es más lento que el de evaporación, por lo que siempre hay un gradiente de humedad en el interior del grano durante el secado a alta temperatura: la máxima humedad se encuentra en el centro, mientras que la mínima en la superficie. Cuanto más violento es el proceso de secado, mayor es el gradiente de humedad. A diferencia del proceso de difusión de agua que es lento, la conducción del calor hacia el interior del grano es relativamente más rápida, por lo que no hay grandes gradientes importantes de temperatura.

### **Transición vítreo-gomosa**

El endosperma del maíz tiene dos zonas bien distintivas: el endosperma córneo (más duro y compacto) y el endosperma harinoso (más blando y suelto). A su vez, el endosperma, ya sea corneo o harinoso, tiene dos estados, los cuales dependen de la temperatura y humedad del endosperma. Estos estados se conocen como estado vítreo y estado gomoso (Figura 1).

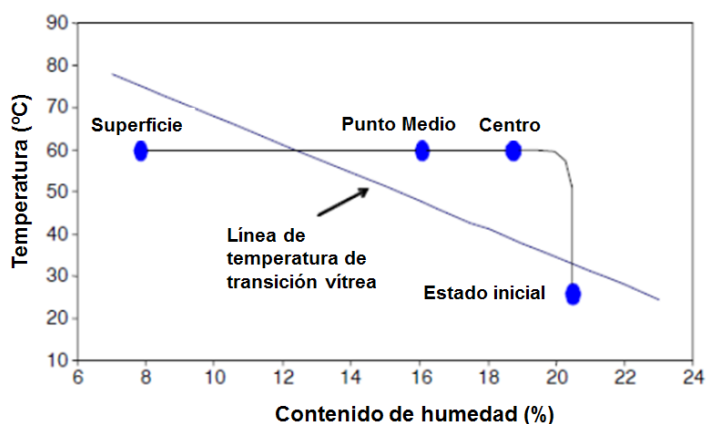


**Figura 1.** Zona de transición vítreo-gomosa de los granos de acuerdo a su temperatura y humedad.

Los dos estados del endosperma resultan con características físicas muy distintivas (Schluterma & Siebemorgen, 2007). Cuando se encuentran en forma vítrea presentan alta difusividad, alta densidad y bajo coeficiente de expansión. Por su parte, cuando se encuentran en la forma gomosa presentan características contrapuestas: alta difusividad, baja densidad y alto coeficiente de expansión.

Cuando se inicia el proceso de secado el grano está húmedo y frío, por lo que el endosperma está en estado vítreo. Además, como no se registran perfiles de temperatura ni de humedad todo el grano se encuentra en el mismo estado. Luego de transcurrido cierto tiempo expuesto a alta temperatura, rápidamente el grano se calienta (de manera más o menos uniforme), cruzando hacia la zona gomosa. El secado avanza y el grano pierde humedad en superficie, lo que causa que la zona periférica del mismo cruce nuevamente la línea de transición hacia la zona vítrea. Como

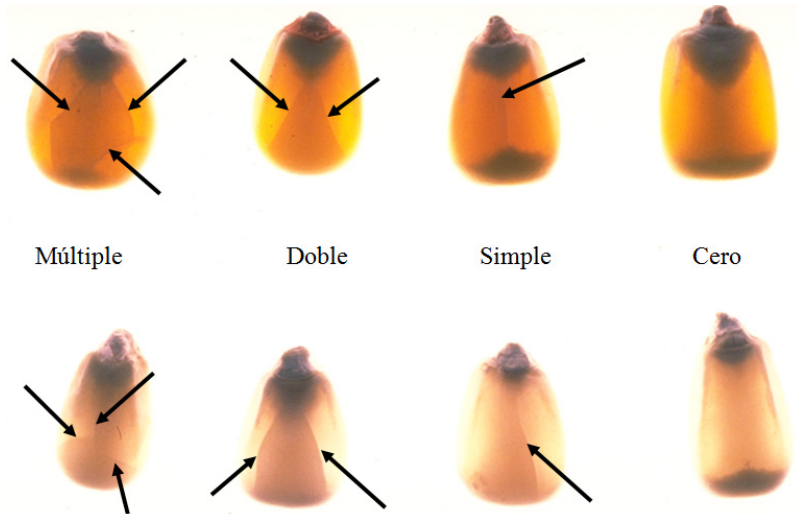
resultado de ello, durante el secado a alta temperatura el grano termina en estado vítreo en superficie, mientras que el centro permanece en estado gomoso, y entre el centro y superficie hay todo un gradiente de condiciones.



**Figura 2.** Temperatura de transición del grano, situación inicial del grano y situación del grano en su zona central, media y en superficie durante el proceso de secado. Fuente: Schluterman & Siebemorgen (2007).

Cuando dentro de un mismo grano, como resultado del proceso de secado, resultan dos estados del endosperma se crean condiciones para que se produzcan fisuras. El endosperma permanece íntegro debido a las fuerza de cohesión de la matriz del endosperma. Por otra parte, como el estado gomoso tiene un coeficiente de expansión mucho mayor al endosperma vítreo, se producen tensiones internas las cuales pueden, llegado el caso, superar las fuerzas de cohesión, resultando en fisuras del endosperma. Esta situación se da típicamente cuando el secado es muy violento o cuando se trabaja con la secadora en la modalidad calor-frío (Brooker *at al.*, 1992), donde en la última sección de la secadora

el grano recibe aire frío para mejorar sus condiciones de almacenamiento. Esta es la forma tradicional de trabajo de las secadoras de maíz. Bajo dichas condiciones de trabajo es frecuente que las secadoras produzcan entre 60 y 100% de grano fisurado.



**Figura 3.** Detalle de las fisuras internas de granos de maíz dentado (arriba) y blanco (abajo).

### **¿Cómo evitar las fisuras?**

Desde el punto de vista práctico existen tres maneras de evitar las fisuras durante el secado de maíz: 1) secar el grano a baja temperatura en silo; 2) limitar la tasa de secado en la secadora continua; o 3) implementar un proceso de seca-aireación.

### **Secado a baja temperatura**

El secado a baja temperatura tiene la particularidad que nunca se cruza la línea de transición hacia la zona gomosa, por lo que no se producen tensiones internas. Por ello, este tipo de secado es especialmente recomendado para granos especiales, tales como

maíz para molienda seca, maíz para molienda húmeda, maíz pisingallo, arroz, cebada o semillas en general. Sin embargo tiene la desventaja que, al ser un proceso de baja temperatura, es lento. El secado de una tanda (normalmente este secado se realiza en silos, los cuales están equipados con un ventilador de alta capacidad, un quemador y un controlador automático (de la Torre & Bartosik, 2013). Nota: el INTA recientemente patentó un nuevo diseño de silo secador totalmente automatizado, el cual puede tardar entre 20 y 40 días para secar, dependiendo de las condiciones climáticas. Esto limita su uso en los acopios, ya que ofrece una capacidad de secado muy inferior a la necesidad de las plantas

### **Secado a alta temperatura con tasa de secado controlada**

Para evitar las fisuras en una secadora continua de alta temperatura se debe respetar una tasa de extracción de humedad máxima de menor a 3 puntos porcentuales de humedad por hora. Esto limita la formación de gradientes de humedad internos y, por lo tanto, limita la formación de fisuras (Abadía & Bartosik, 2013; Brooker *et al.*, 1992). Sin embargo, limitar la tasa de secado resulta en reducir la capacidad de la secadora. Si se necesita bajar más puntos de humedad el secado deberá hacerse en dos tandas sucesivas con un periodo intermedio de estabilización que permita ecualizar la humedad interna del grano.

### **Seca aireación**

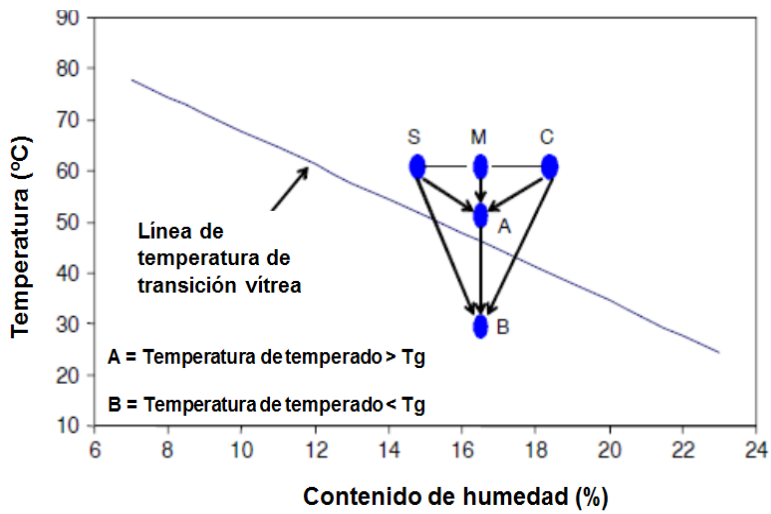
Este proceso consiste en reformar la secadora eliminando la sección de enfriado final, por lo que la máquina trabaja a "todo calor". El grano se extrae de la secadora con una humedad su-



perior en 1-1,5 puntos porcentuales respecto de la humedad final de almacenamiento y caliente (entre 45 y 50°C). Luego se lo transfiere a un silo de estabilización, donde se lo deja reposar un mínimo de 4 hs. Durante este período de reposo se uniformiza el perfil de humedad en el grano. Pasado el tiempo de estabilización, se completa el enfriado lento en el silo, el cual además termina de remover los últimos puntos de humedad remanentes (Abadía & Bartosik, 2013).

La seca aireación reduce la formación de fisuras por tres motivos: 1) el grano se seca hasta una humedad entre 1 a 1,5% superior a la definitiva, por lo que el tránsito por la secadora es más rápido y no se generan gradientes de humedad muy importantes; 2) el proceso de estabilización o permite uniformar el perfil de humedad del grano antes del enfriamiento definitivo, por lo que evita la formación de zonas con endospermas en diferentes estados y 3) el enfriado es lento, por lo que permite que las tensiones que se producen durante el enfriado al pasar de estado gomoso a estado vítreo no sean muy importantes.

La seca-aireación, además de ser muy eficiente para evitar la formación de fisuras, incrementa la capacidad de trabajo de la secadora (entre 25 y 50%) y mejora la eficiencia del consumo de energía. La principal limitante para la implementación de la seca aireación es que las plantas de acopio no se diseñan para este sistema de secado, y adaptar una planta para que pueda funcionar secando en modo seca-aireación puede resultar problemático.



**Figura 4.** Efecto del temperado sobre la humedad y temperatura en las diferentes partes del grano y su ubicación respecto de la línea de transición (S: superficie, M: intermedio; C: centro; A: grano estabilizado; B: grano enfriado). Fuente: Schluterman & Siebemor-gen, 2007.

## REFERENCIAS

Abadía MB & Bartosik R. 2013. *Manual de buenas prácticas en la poscosecha de granos. Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina: 194 p

Brooker D, Bakker-Arkema F & Hall C. 1992. Drying and storage of grain and oilseeds. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, New York.

De la Torre D. & Bartosik R. 2013. Climate effect on strategy selection and energy consumption for in-bin drying of corn with natural air / low temperature. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 15 (2): 304-317. Open access at <http://www.cigrjournal.org>.

de la Torre D. 2010. *Estudio de la demanda energética del secado de maíz en Argentina*. Tesis de Maestría. Escuela de posgrado de Producción Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

Minagri. 2013. Estadísticas agrícolas año 2013. Accedido en Noviembre de 2013. Disponible en: <http://old.siaa.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura>

Schluterman DA & Siebenmorgen TJ. 2007. Relating rough rice moisture content reduction and tempering duration to head rice yield reduction. *Trans. of the ASABE* 50(1): 137-142

Thompson R & Foster G. 1963. *Stress cracks and breakage in artificially dried corn*. USDA, Agric. Marketing Service Report No 631

White P & Johnson L. 2003. *Corn chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, EEUU: 892 p