

EVALUACION DE LA AIREACION Y REFRIGERACION ARTIFICIAL DE TRIGO ALMACENADO EN DIFERENTES REGIONES CLIMATICAS

Rubén Roskopf^{1*}, Javier Portillo¹, Ricardo Bartosik², Hernán Urcola², Rita Abalone³, Analía Gastón³

Palabras clave: almacenaje de granos, calidad de granos, acondicionamiento de trigo.

Las tasas de respiración, proliferación de hongos e insectos dependen de la temperatura de los granos almacenados. El objetivo fue simular la aireación y refrigeración artificial de trigo almacenado en silo para diferentes condiciones climáticas de Argentina. La menor temperatura del grano con aireación fue de 19,2 °C (Balcarce) y la mayor de 22,2 °C (Manfredi). Con refrigeración artificial se logró enfriar los granos por debajo del límite de desarrollo de insectos con un consumo de energía variable según la localidad.

INTRODUCCION

En la etapa de la poscosecha de granos es prioritario minimizar las pérdidas, tanto de cantidad como de calidad, optimizando el uso de combustible, electricidad, plaguicidas y demás insumos. Una cantidad importante de los alimentos producidos en los países en desarrollo se pierden después de la cosecha, agravando así el problema del hambre. Las pérdidas en poscosecha se estiman entre el 15 y el 50% de la producción mundial (FAO, 2009). En este sentido las principales causas de las pérdidas son las condiciones inadecuadas y deficientes estructuras de almacenaje, falta de control de plagas y desconocimiento de las buenas prácticas en la poscosecha. Este escenario de elevadas pérdidas en el almacenamiento e incremento en la demanda de granos, es elocuente y remarca la necesidad de evaluar técnicas de almacenamiento y control de plagas que permitan reducir las pérdidas de poscosecha.

La humedad y la temperatura de los granos actúan como catalizadores de los procesos metabólicos aumentando la tasa de respiración de los granos y de los organismos que viven entre y dentro de ellos. A mayor temperatura y humedad, mayor será la actividad metabólica, mayor la pérdida de peso y de calidad, y por ende, menor será el tiempo de almacenamiento seguro. El secado es la principal herramienta de preservación de los granos, ya que disminuye el agua disponible para

el desarrollo de la microflora. Sin embargo, Maier y Navarro (2002) mencionan que, el secado por sí solo, no es exitoso contra todos los organismos ya que el grano seco puede ser atacado y dañado por insectos, especialmente si la temperatura de almacenamiento es superior a los 17 °C.

El trigo es el tercer cultivo de grano en importancia en la Argentina. Históricamente más de la mitad de lo producido en el país se utiliza para el mercado interno en la industria de la molinería. Considerando su relevancia, el sector almacenador necesita información que le permita determinar la tecnología de enfriamiento más adecuada, que minimice las pérdidas y aplicación de insecticidas durante el almacenamiento del trigo según su ubicación geográfica.

Enfriamiento del grano almacenado

Una de las técnicas tradicionalmente utilizadas para disminuir la temperatura de la masa de granos es la aireación natural (AN) la cual consiste en el paso forzado del aire ambiente a través del granel impulsado por un ventilador. Si el aire está más frío que el granel, disminuye paulatinamente la temperatura de los granos. Sin embargo, por restricciones climáticas, muchas veces no es posible enfriar el grano hasta una temperatura adecuada con un solo ciclo de aireación en un periodo razonable de tiempo. Esto se ha observado en granos como trigo, avena y maíz almacenados desde finales de la primavera hasta principios de

1- E.E.A. INTA Pergamino. Ruta 32 km 4,5 (2700).

2- E.E.A. INTA Balcarce.

3- Facultad de Ciencias exactas-UNR

* roskopf.ruben@inta.gob.ar



Figura 1. Esquema de conexión y funcionamiento del equipo de refrigeración de granos. Fuente: adaptado de Navarro y Noyes (2002).

otoño. Para estas condiciones la refrigeración artificial (RA) puede ser una alternativa viable que permita mantener las condiciones deseables de almacenamiento a baja temperatura sin el uso de insecticidas protectores químicos (Maier et al., 1997). La RA consiste en utilizar dispositivos para acondicionar artificialmente el aire atmosférico (Figura 1) entregándolo al granel a una temperatura más baja que la ambiental mediante el empleo de energía eléctrica para su funcionamiento.

La demanda de tiempo y energía necesarias, para lograr una determinada temperatura en el grano, es afectado por las condiciones climáticas durante el periodo de almacenamiento. De este modo, la elección de un sistema de aireación o refrigeración dependerá de la ubicación geográfica del establecimiento analizado. Debido a esto, el sector almacenador necesita de herramientas que le permitan realizar un análisis técnico-económico para determinar la conveniencia, o no, de una tecnología. Sin embargo, la utilización de ensayos convencionales, a escala real, para evaluar diferentes alternativas de conservación requiere una serie temporal grande de datos lo que demanda grandes volúmenes de grano, excesivo trabajo y un elevado costo económico. Una alternativa a los ensayos convencionales es la utilización de modelos de simulación. Maier et al. (1996) mencionan que la simulación del ecosistema de almacenamiento de granos utilizando datos meteorológicos históricos de varias localidades puede ser una alternativa que ahorra tiempo de investigación a campo. De este modo la simulación precisa de la eficiencia en el enfriado de los granos almacenados permitiría realizar recomendaciones adaptadas a cada región en particular.

El objetivo del presente estudio fue utilizar un modelo de simulación validado para evaluar los sistemas de aireación y refrigeración artificial de

granos de trigo almacenado en silo en diferentes condiciones climáticas de Argentina.

MATERIALES Y METODOS

El desempeño de la AN y RA se simuló para el enfriamiento de 1238 t de trigo almacenado en un silo. Para ello se utilizó el modelo acoplado de transferencia de masa y energía SAR-Sim (seca-aireación-refrigeración-simulación) previamente validado. El modelo de simulación incorpora propiedades termofísicas dependientes de la temperatura y humedad tanto del grano como del aire. Durante las etapas de aireación o refrigeración el modelo asumió una distribución del flujo de aire uniforme en base al caudal especificado. El sistema computacional SAR-Sim ha sido escrito en lenguaje Compaq Visual Fortran 6.0 (basado en Fortran 90) y ejecutado en el Sistema Operativo Windows.

Se procedió a realizar el estudio de ambas tecnologías con la finalidad de reducir al mínimo posible la temperatura de los granos en regiones climatológicamente diferentes ubicadas en Balcarce (BsAs), Anguil (La Pampa), Pergamino (BsAs), Manfredi (Córdoba) y Sáenz Peña (Chaco). Las condiciones iniciales del grano (temperatura y humedad) y la base de datos climática fue la misma para ambos tratamientos (AN y RA).

El inicio en AN y RA se fijó en la fecha promedio de cosecha en cada localidad. El horario de comienzo fue a las 8:00 h y se consideró como límite máximo de tiempo para completar el proceso de aireación 30 días. Los resultados de las simulaciones en ambos tratamientos fueron: temperatura promedio ambiente para cada localidad ($^{\circ}\text{C}$), temperatura promedio del grano ($^{\circ}\text{C}$), merma por humedad (t), tiempo de aireación o refrigeración (h), y consumo eléctrico específico ($\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$), siendo estas las variables que afectan el desempeño y

elección de una u otra técnica de enfriamiento de granos almacenados en silo.

Simulación para el tratamiento de AN:

El manejo de la aireación se realizó simulando el funcionamiento de un termostato que enciende el ventilador de aireación siempre que la temperatura ambiente sea igual o inferior a un valor límite establecido. Dicho valor fue calculado para cada localidad mediante sucesivas corridas de simulación del modelo SAR-Sim en las cuales se cambió el límite de funcionamiento del ventilador hasta lograr que en el período de un mes, se pueda enfriar el grano a la menor temperatura posible en el 80 % de los años analizados. De este modo, se obtuvo el valor de la temperatura mínima del grano posible de obtener en el periodo de 30 días posteriores a la cosecha de trigo para cada región climática

Simulación para el tratamiento de RA:

Se consideró un equipo típico actualmente utilizado en Argentina para el enfriamiento de granos con una potencia de 55,6 hp. Este equipo, funcionando a silo lleno proveería un caudal específico de aire de 0,176 m³.min⁻¹.t⁻¹ a una temperatura de 13,5 °C y humedad relativa de 63%. Se estableció que el ciclo de refrigeración finalice cuando la temperatura promedio del granel alcanzó los 15 °C.

Por, en un rango entre 5 °C y 7,6 °C (diferencia AN-RA), y todas las temperaturas finales del grano con AN fueron superiores a 17 °C (límite para el desarrollo de insectos, Maier y Navarro (2002). Por lo tanto, en muchas regiones climáticas el sistema de conservación de granos basado exclusivamente en aireación natural no permitirá controlar la proliferación de insectos.

El tiempo de aireación fue superior con AN, siendo mayor la diferencia con RA en la localidad de Balcarce (AN 105 h y RA 56 h) y menor en Pergamino (AN 75 h y RA 61). Sin embargo, el promedio de consumo específico de energía para todas las localidades fue mayor en el tratamiento de RA respecto de AN (1,69 kWh.t⁻¹ contra 0,29 kWh.t⁻¹). Analizando las localidades se aprecia que la menor diferencia de consumo se da en las localidades con promedio de temperatura más bajo, como Balcarce, y la mayor diferencia se da en las localidades con promedio de temperatura ambiente más alto, como Manfredi o Sáenz Peña. Se evidencia que el consumo de energía de todos los componentes del equipo de frío hace que, aun cuando el tiempo de refrigeración es menor, el consumo energético total para completar el enfriamiento del grano es mayor. Roskopf y Bartosik (2011) indican que el consumo varía en función de la temperatura y humedad relativa ambiente. Si ambas variables son mayores, las necesidades de acondicionamiento del aire son también mayores y por lo tanto se eleva el consumo de energía por tonelada refrigerada.

RESULTADOS Y DISCUSION

La temperatura final del grano con AN fue ma-

Tabla 1. Promedio de temperatura ambiente y final del grano, tiempos de aireación y refrigeración, consumo específico y merma por humedad para las localidades simuladas en los tratamientos de AN y RA

.Localidad	Tratamiento	Temperatura promedio final grano (°C)	Diferencia AN-RA (°C)	Tiempo de aireación o refrigeración (h)	Consumo específico (kWh.t-1)	Merma por humedad (t)	Temperatura ambiente promedio (°C) *1
Anguil	AN	19,4	5	94	0,29	5,10	22,2
	RA	14,4		59	1,52	7,39	22,1
Balcarce	AN	19,2	4,7	105	0,32	2,46	19,9
	RA	14,5		56	1,28	5,05	18,7
Manfredi	AN	22,2	7,6	79	0,24	5,42	22,8
	RA	14,6		69	1,95	9,02	23,6
Pergamino	AN	21,5	7	75	0,23	5,25	22,7
	RA	14,5		61	1,69	8,57	22,6
Sáenz Peña	AN	19,7	5,2	121	0,37	4,55	22,6
	RA	14,5		72	2,02	7,39	24,7
Promedio	AN	20,4	5,9	95	0,29	4,32	22
	RA	14,5		63	1,69	7,04	22,4

Obs: *1: corresponde únicamente a los periodos de los días en que se desarrolló la simulación. En AN cuando las temperaturas del aire ambiente estuvieron por debajo de la temperatura programada de simulación para cada localidad. En RA corresponde a las horas en que se desarrolló la simulación.

En promedio y para todas las localidades la merma de humedad de grano fue mayor en RA que en AN (7,04 t y 4,32 t, respectivamente). Esto se debió a que, con excepción de Anguil, en el resto de las localidades la humedad relativa de entrada del aire al silo fue menor en el tratamiento de RA (63%) que en el tratamiento de AN (69,1%) resultando el aire de refrigeración con mayor capacidad de secado que el aire ambiente utilizado en la AN. Esta diferencia en la merma se puede reducir incrementando la humedad relativa del aire de refrigeración. Sin embargo, se perdería cierta capacidad de enfriamiento evaporativo por lo que el ciclo de refrigeración se extendería con el consecuente aumento del consumo de energía.

Si bien estos resultados brindan una valiosa orientación al momento de elegir entre AN o RA es necesario realizar un cálculo económico integral que considere los costos de energía necesarios para el funcionamiento del equipo, su mantenimiento y amortización. Asimismo debe ser estimado el costo adicional de utilizar insecticidas caso la temperatura del granel almacenado supere los 17 °C (temperatura umbral de desarrollo de insectos). Este aspecto tiene una gran relevancia a la luz de las restricciones internacionales para la comercialización de granos con presencia de residuos químicos.

CONCLUSIONES

Las temperaturas del grano logradas con aireación natural, utilizando un límite de funcionamiento del ventilador adecuado para cada sitio geográfico, no fueron suficientes para reducir la temperatura por debajo del umbral de desarrollo de insectos (17°C). Esto supondría la necesidad de utilizar productos químicos para minimizar pérdidas.

El desempeño de la tecnología de refrigeración, medido en horas de funcionamiento y consumo de energía, fue diferente de acuerdo a la región climática en donde se implementó.

A partir de los resultados aquí mostrados, el modelo SAR-Sim permitiría al encargado en la planta de acopio, elegir la tecnología más adecuada según su ubicación geográfica.

La elección de la técnica de enfriamiento de granos más adecuada estará en función de: la temperatura objetivo del grano, el tiempo requerido de enfriamiento, el costo de energía demandado y el nivel aceptado de residuos de insecticidas en el grano, entre otros factores a considerar.

BIBLIOGRAFIA

Food and Agriculture Organization. 2009. How to feed the world 2050. The technology challenge. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf [consultado: 19 marzo 2018].

Maier, D.E.; Adams, W.H.; Throne, J.E.; Mason, L. J. 1996. Temperature management of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: curculionidae), in three locations in the United States. En: *Journal of Stored Products Research* 32(3):255-273.

Maier, D.E.; Bakker-Arkema, F.W. 1992. Analysis of chilled corn storage in the Midwest. Paper n° 92-6045. ASAE.

Maier, D.; Navarro, S. 2002. Chilling of grain by refrigerated air. En: Navarro, S.; Noyes, R. *The-Mechanics and physics of modern grain aeration management*. New York. CRC Press. LLC. 489-560 p.

Maier, D.E.; Rulon, R.A.; Mason, L. J. 1997. Chilled versus ambient aeration and fumigation of stored popcorn. Part. 1: temperature management. *Journal of Stored Products Research* 33(1): 39-49.

Roskopf, R.; Bartosik, R. 2011. Refrigeración artificial de un silo de trigo. Granos & poscosecha latinoamericana de la semilla al consumo. Red Argentina de Postcosecha de granos. Año XVIII-n° 80. Febrero/marzo 2011. <<

