

Manejo en la Poscosecha de Colza/Canola



INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

Ing.Agr. Ricardo Bartosik. EEA INTA Balcarce - Poscosecha de Granos

rbartosik@balcarce.inta.gov.ar - te: 02266-439100

El presente artículo toma la base del trabajo de J.T. Mills (1996) "Storage of Canola-Agriculture and Agri-Food Canada" e incorpora actualizaciones y consideraciones para las condiciones típicas de manejo en la poscosecha de la colza en Argentina.

Si bien existen registros de que la colza (*Brassica campestris* (L) y *Brassica napus*) se cultiva en Argentina desde hace ya varios años, este cultivo no ha encontrado en el país las condiciones económicas y agronómicas que hayan permitido su difusión masiva. Sin embargo, debido a una serie de factores agronómicos (tales como la incorporación de la colza en rotaciones para la producción de soja de segunda) y económicos (precios sostenidos y demanda mundial en aumento a causa del uso de esta oleaginosa para la fabricación de biodiesel) la colza parece tener un futuro promisorio en algunas de las regiones productivas argentinas.

La colza es una oleaginosa que debido a su tamaño de semilla ofrece desafíos diferentes en la cosecha y su manejo posterior en la poscosecha, desde el transporte, el movimiento del grano en el interior de la planta de acopio, la aireación y el secado.

Madurez de la semilla

La condición original del producto probablemente sea el factor que más afecta la conservación de la colza durante su almacenamiento. Semilla de colza recientemente cosechada puede mantener altas tasas de respiración hasta por 6 semanas antes de tornarse quiescentes. Este proceso comúnmente se denomina "transpiración" y constituye una condición muy inestable para la colza almacenada (Thomas, 1984). Durante esta etapa se requiere de un monitoreo constante, debido a que la rápida respiración de la semilla produce condiciones de calor y humedad que favorecen el desarrollo de hongos del almacenamiento. El crecimiento de los hongos produce más calor y humedad, y como consecuencia de ello las semillas de colza pueden resultar dañadas por el calor. El efecto de la "transpiración" puede minimizarse mediante el almacenamiento de semillas secas y frías.

Humedad, temperatura y tiempo de almacenamiento

La temperatura y humedad de la semilla tienen gran influencia en procesos que ocurren durante el almacenamiento y que pueden resultar en granos deteriorados y auto-calentamiento. Las semillas de colza son más proclives a deteriorarse durante el almacenamiento que los cereales, por lo tanto deben almacenarse a humedades más bajas para prevenir el desarrollo de hongos y asegurar una adecuada conservación.

La norma de comercialización de colza en Argentina indica que la humedad base es del 8% (SAGPyA, 1994), pero que la máxima humedad a la que se puede comercializar es 10% (tolerancia). Esta situación frecuentemente lleva a confusiones, ya que algunas personas asumen que al poder comercializarse colza a 10% de humedad esta es una

condición segura de almacenamiento. Para que una condición de almacenamiento sea considerada "segura", la humedad relativa del espacio intergranario debe ser de 70% o menos. Para lograr dicha condición de almacenamiento segura en colza a 25°C la humedad de almacenamiento debería ser menor a 8,3%, mientras que en trigo sería de 14% y 14,5% en maíz. Al almacenar granos por encima de la humedad de almacenamiento segura (HR del espacio intergranario superior a 70%) se crean condiciones propicias para el desarrollo de hongos. La relación entre humedad del grano y humedad relativa del espacio intergranario se denomina equilibrio higroscópico y está influenciada por la temperatura. Es importante tener en cuenta que a mayores temperaturas de almacenamiento se debe secar la semilla por debajo de 8,3% para evitar el desarrollo de hongos. Por consiguiente, si la colza se cosecha húmeda (la humedad recomendada de cosecha directa es a partir de 15%), entonces se debe extraer una importante cantidad de agua durante el secado para llevarla a una condición segura de almacenamiento.

La temperatura también afecta el almacenamiento de la semilla de colza. Por un lado, a mayor temperatura mayor actividad biológica, por lo que se acelera la tasa de respiración y descomposición de la semilla. Por otro lado, temperaturas desuniformes en el granel generan movimientos de migración de humedad, con remoción de humedad en las zonas cálidas y deposición en las zonas frías. La deposición localizada de humedad lleva a la formación de hongos y descomposición de granos. Finalmente, la colza se cosecha en verano, con altas temperaturas. Si se llena el silo con semillas calientes y no se cuenta con aireación, las semillas permanecerán a alta temperatura durante todo el periodo de almacenamiento debido a las características aislantes del grano.

La combinación de temperatura y humedad de la semilla determinan si la condición de almacenamiento es segura o no. La Figura 1 muestra las condiciones necesarias de temperatura y humedad para almacenar colza sin problemas durante un periodo superior a los 5 meses.

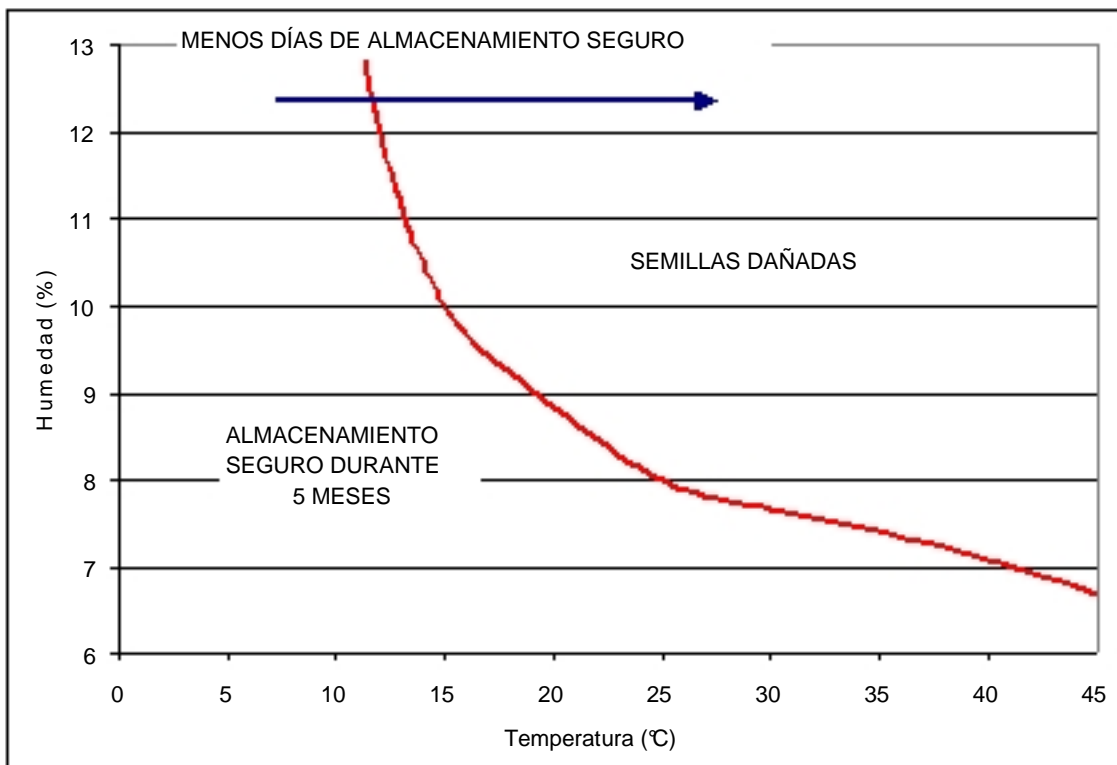


Figura 1. Combinaciones de temperatura y humedad que determinan condiciones para el almacenamiento seguro de colza por un periodo de tiempo de al menos 5 meses. (Adaptado de Mills, 1996).

Si la temperatura o la humedad se ubican dentro de la zona de descomposición de la semilla, entonces estas deben ser reducidas por secado o aireación hasta lograr una condición de almacenamiento segura. Otra alternativa es dejar secar las semillas a campo hasta humedades compatibles con el almacenamiento. Cuando la semilla es almacenada a 25°C, tanto la presencia de material verde (que viene con la semilla de campo) o el almacenamiento de colza a humedades por encima de 8,5% constituyen condiciones inseguras de almacenamiento, ya que en un periodo corto de tiempo se desarrollarán hongos y se producirá el auto-calentamiento de la semilla. Se ha reportado que para almacenar colza por un periodo mayor a 5 meses la humedad de almacenamiento debe ser como máximo 8% (Mills, 1989). Existen experiencias exitosas de almacenamiento de colza durante 24 meses con semillas secas (8%), manejo de temperatura con aireación y adecuado programa de monitoreo (Thomas, 1984).

Hongos, insectos y ácaros

Hongos

Las esporas de hongos se encuentran en todos los ambientes en la naturaleza. Cuando se cosechan semillas en el campo y se las lleva al almacenamiento, las semillas vienen con esporas de hongos. No es posible eliminar las esporas de hongos, lo único que se puede hacer es crear condiciones que desfavorezcan su desarrollo.

Cada especie de hongo tiene un rango mínimo y óptimo de temperatura y humedad relativa para su crecimiento. La Tabla 1 incluye a los hongos típicos del almacenamiento y sus requerimientos de temperatura y humedad relativa para poder germinar y desarrollarse.

Tabla 1. Condiciones de humedad relativa mínima y de temperatura mínima, óptima y máxima que necesitan los hongos del almacenamiento para germinar y desarrollarse.

Fuente: Stroshine y col. (1986).

Hongo	% Mínimo de HR para germinar ^a	CHE ^b %	Temperatura de Crecimiento		
			Mínima °C	Óptima °C	Máxima °C
Alternaria	91 ^b	19	-3	20	36-40
Aspergillus candidus	75	15	10	28	44
A. flavus	82	16-17	6-8	36-38	44-46
A. fumigatus	82	16-17	12	37-40	50
A. glaucus	72	13.5-14.0	8	25	38
A. restrictus	71-72	13.5	-	-	-
Cephalosporium acremonium	97	22	8	25	40
Epicoccum	91	19	-3	25	28
Fusarium moniliforme	91	19	4	28	36
F. graminearum	94	20.5	4	25	32
Mucor	91	19	-3	28	36
Nigrospora oryzae	91	19	4	28	32
Penicillium funiculosum	91	19	8	30	36
P. oxalicum	86	17	8	30	36
P. brevicompactum	81	16	-2	23	30
P. cyclopium	81	16	-2	23	30
P. viridicatum	81	16	-2	23	36

Como podemos apreciar, la mínima humedad relativa que podemos encontrar en esta lista es de 71% (*A. restrictus*). El hongo más común del almacenamiento es *A. glaucus*, el cual no puede desarrollarse con HR menor a 72%. Si la humedad relativa esta por debajo de la mínima necesaria, por más que estos hongos se encuentren presentes, no podrán desarrollarse. Por el contrario, si la humedad relativa es mayor a 70%, los hongos del almacenamiento se desarrollarán a mayores tasas cuanto más alta sea la humedad relativa. De esta manera queda establecido que la condición de almacenamiento seguro es aquella en la cual la humedad relativa del espacio intergranario es inferior a 67-70% de humedad relativa.

También se puede observar un efecto de la temperatura. La mayoría de los hongos adquieren el máximo crecimiento con temperaturas entre 25 y 28°C. Cuanto más baja sea la temperatura, menor será también la capacidad de crecimiento de los hongos.

Los hongos se encuentran en la superficie de la semilla, y toman la humedad necesaria para su crecimiento del aire intergranario. La humedad del aire intergranario está gobernada por la humedad del grano, a través de la relación de equilibrio higroscópico, por lo tanto, al controlar la humedad del grano estamos controlando la humedad del aire intergranario y el desarrollo de los hongos. Como ya se ha mencionado, la colza a 8,3% de humedad se equilibra con una humedad relativa de 70% en el espacio intergranario.

Si se almacena colza a humedades por encima de 8,3% de humedad se puede producir un rápido desarrollo de hongos y calentamiento de la semilla, y cuando esto ocurre las semillas tienden a aglutinarse o encostrarse. En esta situación se puede detectar un marcado incremento en el nivel de ácidos grasos libres, probablemente debido a la actividad de los hongos (Nash, 1978). Las semillas dañadas por calentamiento adquieren un color amarronado, a diferencia de las semillas sanas de color amarillento,

y también se puede detectar un fuerte olor, como a tabaco, en el aceite y las harinas derivadas de su procesamiento. Este olor es muy difícil de remover y reduce sustancialmente la calidad de los productos procesados (Thomas, 1984).

Es muy importante conocer la velocidad a la que se desarrollan los hongos en semillas de colza recientemente cosechadas, ya que ello determina las decisiones de secado y almacenamiento. Burell y col. (1980) realizaron experiencias para determinar el tiempo que tardan en ser afectadas las semillas de colza recientemente cosechadas cuando fueron almacenadas a diferentes humedades (de 6% a 17%) y temperaturas (de 5°C a 25°C). Como se esperaba, el daño en la semilla fue más rápido a altas temperaturas y humedades. Se observó que el aglutinamiento y encostramiento de la semilla se manifestó con anterioridad a la aparición de las colonias de hongos, y que posteriormente se afectó el poder germinativo de la semilla. Por ejemplo, semillas almacenadas a 25°C y 10,6% de humedad se aglutinaron luego de 11 días, las colonias de hongos se hicieron visibles luego de 21 días, y la germinación fue afectada luego de 40 días (Tabla 2). Los autores sugieren que el aglutinamiento o encostramiento de las semillas es el mejor criterio para determinar el máximo tiempo disponible para el secado de semillas húmedas antes que se desarrollen hongos. Bajo condiciones normales de cosecha las semillas por encima de 10% de humedad se deberían secar dentro de un plazo de 1 a 2 semanas para evitar daño.

Tabla 2. Tiempo máximo de almacenamiento (días) sin aglutinamiento o encostramiento de semillas de colza a diferentes humedades y temperaturas. Fuente: Burell y col. (1980)

Humedad inicial (%)	Temperatura de almacenamiento (°C)				
	25	20	15	10	5
17,0	4	4	6	11	20
15,6	4	6	6	11	28
13,7	4	6	11	20	46
12,3	8	6	18	25	109
10,6	11	18	42	42	238
8,9	23	48	116	279	>300
6,7	69	180	>300	>300	>300

Insectos

Se pueden encontrar insectos en semillas de colza almacenada, pero la habilidad de los mismos en establecerse e infestar el silo durante el almacenamiento es muy variable. Según estudios hechos en Canadá, el carcoma de los granos (*Oryzaephilus mercator* (Fauvel)) se multiplicó 1,87 veces en 12 semanas, pero el carcoma rojo o carcoma achatado (*Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)) no pudo completar su ciclo de vida. En

general las semillas enteras son más resistentes que las semillas dañadas, y solamente unos pocos insectos han sido reportados como capaces de tolerar el alto nivel de aceite de la semilla de colza (Sinha, 1972). No hay datos de las plagas de colza en Argentina. En general, la temperatura óptima para el crecimiento de la mayoría de los insectos plagas de los granos almacenados está entre 25 y 35°C, mientras que su actividad es altamente restringida con temperaturas inferiores a los 18°C. Bajo estas condiciones de temperatura y con grano seco los insectos difícilmente se desarrollarán. Sin embargo, el almacenamiento de semillas húmedas e inicialmente frías eventualmente resultará en el desarrollo de hongos. Los hongos producen focos de calentamiento, creando condiciones adecuadas de temperatura para el desarrollo de insectos. La presencia de insectos reduce el tiempo de almacenamiento seguro indicado en la Tabla 2.

Ácaros

Los ácaros son portadores de esporas de hongos. Los ácaros se alimentan de la superficie y del interior de las semillas de colza afectando el peso (pérdida de materia seca) y la calidad del producto, aunque también se alimentan de los hongos del almacenamiento (Mills, 1989). En general, la presencia de ácaros está asociada a la presencia de insectos y hongos en el granel, ya que requieren de condiciones de alta humedad en el grano para sobrevivir.

Finos y materias extrañas

Los finos y materias extrañas son pedazos de granos rotos y material diferente a semilla de colza, incluyendo pedazos de tallos, semillas de malezas, partículas de suelo, etc. En Canadá, el porcentaje de materias extrañas y finos determinados en semillas de colza enviadas a los acopios tuvo un promedio de 9% (Agricultura de Maniotota, 1980). El contenido de humedad de esta fracción, en general se encuentra entre 3 a 4 puntos porcentuales por encima de la humedad de la semilla de colza. Altas cantidades de finos y materias extrañas incrementan la tasa de respiración de la semilla, ya que crean condiciones apropiadas para el desarrollo de hongos. Cuando se llena un silo con colza, las partículas más gruesas tienden a acumularse contra la pared del silo, mientras que las finas se acumulan en el centro. Esto crea condiciones de mayor resistencia al paso del aire por el centro o corazón del silo, dificultando la aireación y poniendo en riesgo la conservación del grano. La instalación de desparramadores de granos no ha demostrado mejorar la distribución de los finos y las materias extrañas en el llenado del silo (Jayas y col. 1987). Para solucionarlo se recomienda realizar la práctica de descorazonado, que consiste en descargar del silo unas pocas toneladas (hasta invertir el pico o copete), limpiar las semillas de finos y volver a cargarlas al silo para completar el espacio. Durante el descorazonado se remueve la columna central de granos, que incluye la mayor proporción de finos.

Manejo y almacenamiento

Las semillas de colza son muy susceptibles al calentamiento y desarrollo de hongos, por lo que es muy importante almacenar la semilla en instalaciones de buena calidad para prevenir la entrada de humedad. El tamaño pequeño de la semilla hace que la colza fluya con mucha facilidad a través de pequeños agujeros o grietas, por lo que, una vez más, conviene almacenar la colza en instalaciones de buena calidad de construcción y adecuado mantenimiento para prevenir el "escurrimiento" o pérdida de semillas. Hay que prestar especial atención a las puertas de techo y las puertas de hombre, a las juntas entre las chapas, inclusive los agujeros de los tornillos deben estar adecuadamente sellados. Como los problemas de migración de humedad suelen ser más frecuentes en

INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

las grandes estructuras de almacenamiento, conviene almacenar las semillas de colza en las estructuras (silos o celdas) más pequeños que sean posible, sin sacrificar la conveniencia de manejo y la logística del establecimiento.

En las estructuras de almacenamiento con base de concreto es muy importante controlar rajaduras por donde pueda filtrarse la humedad. Inclusive, en aquellos lugares donde la napa de agua se encuentra cerca de la superficie, puede haber rehumedecimiento de las semillas en estructuras de concreto que no presentan fisuras ni rajaduras. Esto sucede porque el vapor de agua puede difundir a través del concreto y lentamente rehumedecer la semilla. En estos casos siempre conviene aplicar una lámina de material impermeable entre el concreto y el suelo. Por supuesto esto habría que hacerlo antes de la construcción del silo.

Debido a que la colza tiene un período de alta respiración antes de tornarse quiescente, cuando se llena un silo con colza conviene dejar la puerta del techo abierta (durante condiciones de buen tiempo) para facilitar la salida del calor y la humedad del interior del silo. Se ha reportado que la eficiencia del proceso de acondicionamiento mejora sensiblemente cuando se limpia la semilla previo al almacenamiento (Thomas, 1984).

Los vehículos de transporte también merecen especial atención. Debido al pequeño tamaño de la semilla y a la facilidad con que fluye a través de las aberturas es necesario controlar y tapar todos los orificios, grietas y rajaduras en la caja del camión con cintas autoadhesivas u otros implementos. También es importante cubrir con lonas de manera muy prolija la carga, ya que el viento producido durante el transporte hace que la semilla se "vuele" con mucha facilidad.

Los sinfines o roscas se deben utilizar a máxima capacidad, ya que de lo contrario parte de las semillas se desplazarán hacia abajo por el espacio que queda entre la rosca y el caño. Se deben reparar todos los orificios o ranuras de los transportes en la planta, tales como norias, sinfines, caños de bajada, etc para evitar que la semilla fluya hacia afuera. El daño en la semilla de colza por movimiento en la planta es menor, a no ser que se maneje colza con menos de 7% de humedad.

En la Tabla 4 se puede apreciar que la colza tiene una densidad específica menor a la del trigo, por lo tanto en un silo de 100 toneladas base trigo se podrán almacenar aproximadamente unas 87 toneladas de colza (dependiendo de la variedad). La Tabla C del anexo brinda una orientación sobre las toneladas de colza que se pueden almacenar para silos de distintas capacidades base trigo. En la misma sección del anexo se ofrece una ecuación para convertir capacidades de almacenamiento entre distintos granos en base a la densidad específica o peso hectolítrico.

Acondicionamiento

El acondicionamiento consiste en llevar y mantener al grano o semilla a una condición de almacenamiento segura a través de las operaciones de secado y aireación. La posibilidad de acondicionar la semilla permite comenzar la cosecha anticipadamente, ya que la colza puede ser levantada del campo con humedades superiores a 10 o 12%. El grado en que puede extenderse el período de cosecha depende de la capacidad de acondicionamiento de la semilla. La cosecha anticipada y el posterior acondicionamiento en planta reducen las pérdidas de calidad y cantidad (rendimiento), ya que la semilla permanece menos tiempo en el campo expuesta a las inclemencias climáticas. Además, la cosecha anticipada reduce las pérdidas de cosecha ya que al cosechar con mayor humedad se reducen las pérdidas causadas por la acción mecánica de la cosechadora sobre las vainas. Finalmente, la combinación de cosecha anticipada

de semilla húmeda y secado artificial en planta reduce el riesgo de cosechar semillas sobresecadas (por cosecha tardía), lo cual resulta en pérdidas económicas debido a que se entrega semilla por debajo de la humedad base de recibo (menos kilos de semilla entregados) (Thomas, 1984).

Para realizar una adecuada conservación de las semillas de colza es necesario tener un conocimiento acabado de las condiciones de almacenamiento y su cambio en el tiempo. Es importante monitorear frecuentemente la condición de humedad de la semilla para determinar cuando la operación de acondicionamiento fue concluida (humedad final cercana a 8% y uniforme). Se aconseja un muestreo exhaustivo del silo para determinar las condiciones de temperatura y humedad de toda la masa de granos para su correcto almacenamiento definitivo. Para un adecuado monitoreo de la temperatura se recomienda la instalación de cables de termometría, que aunque agregan costos a la inversión inicial, aseguran una mejor calidad de monitoreo ya que permiten conocer la evolución de la temperatura en el tiempo, dato más valioso que el valor puntual de temperatura.

Los sistemas de acondicionamiento se dividen en sistemas de aireación, sistemas de secado con aire natural o baja temperatura y sistemas de secado con alta temperatura. Los sistemas de secado con aire natural utilizan la capacidad "secante" del aire ambiente, en tanto que los sistemas de secado de baja y alta temperatura utilizan además calor suplementario producto de la combustión de gas natural o gas propano. Los sistemas de secado de baja temperatura calientan el aire entre 3 y 7°C por encima de la temperatura ambiente, y proporcionan la ventaja de independizar la operación de secado de las condiciones climáticas. Los sistemas de secado de alta temperatura generalmente tienen mayor capacidad de secado, debido a la baja humedad relativa del aire de secado y el mayor caudal de aire utilizado.

Aireación

La principal función de los sistemas de aireación es controlar la temperatura de la semilla almacenada. Se utilizan para enfriar la semilla recientemente cosechada y para mantener y uniformizar la temperatura de la semilla durante el almacenamiento a largo plazo. Estos sistemas, cuando se dimensionan correctamente, también pueden utilizarse para mantener temporariamente grano húmedo previo al secado o para enfriar y terminar de secar el grano caliente que sale de la secadora de alta temperatura.

Operación de los sistemas de aireación

Es importante tener en cuenta que el objetivo o la finalidad de un sistema de aireación depende del caudal específico de aire disponible, el cual se expresa en metros cúbicos de aire, por minuto y por tonelada de grano almacenada ($\text{m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$). En general, para mantener grano seco en buenas condiciones de almacenamiento se requiere entre 0,1 y $0,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, mientras que para mantener frío grano húmedo se requieren mayores caudales de aire ($0,3-0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$), mientras que para el secado con aire natural se requieren entre 1 y $1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$. Si se intenta realizar una operación de secado en un silo cuya aireación no fue dimensionada con tal objetivo, el grano se dañará indefectiblemente antes de concluir el secado del mismo. La Tabla 3 indica el caudal de aire recomendado para las diferentes finalidades de la aireación.



Tabla 3: Caudal específico para distintas finalidades de aireación.

Finalidad de aireación	Caudal específico requerido (m ³ aire/min*t de grano)
Enfriar y uniformar temperaturas	0,1
Mantener frío grano húmedo	0,3-0,5
Secado y enfriado en seca-aireación	0,5-0,6
Secado con aire natural	1-1,5

El caudal de aire recomendado para aireación de colza es de 0,10 a 0,20 m³ min⁻¹ t⁻¹.

Con un caudal de aire de 0,1 m³ min⁻¹ t⁻¹ se logra enfriar la totalidad de la masa de granos en aproximadamente 150 a 200 horas de funcionamiento de ventilador (el tiempo cronológico de enfriado dependerá de cuantas horas por día funcione el ventilador). A 0,2 m³ min⁻¹ t⁻¹ el tiempo de enfriado se reduce a la mitad.

Los ventiladores de aireación deberían encenderse tan pronto como se pone la primera carga de semilla en el silo y se cubren los conductos de aireación, de esta manera se enfriará rápidamente la semilla previniendo el calentamiento. Los ventiladores se deben operar de manera continua (independientemente de la humedad relativa ambiente) hasta que la semilla se enfría hasta alcanzar aproximadamente la temperatura ambiente. Debido a que el proceso de aireación es esencialmente un proceso de enfriado, se debe prestar más atención a la temperatura ambiente que a la humedad relativa ambiente. El principal objetivo es enfriar la semilla por debajo de 18°C (evitar el desarrollo de insectos y reducir la actividad de los hongos), y luego de alcanzada esa temperatura se debería airear cuando la temperatura ambiente se encuentre unos 5°C por debajo de la temperatura de la semilla. El proceso de acondicionamiento no termina hasta que se haya alcanzado en todo el silo y de manera uniforme la temperatura y humedad deseada. Luego de concluido el proceso de acondicionamiento el silo debe ser monitoreado periódicamente para detectar cualquier inicio de calentamiento o migración de humedad.

Aireación se puede implementar tanto aspirando como insuflando aire, y la diferencia radica en que la última porción de grano que se enfría cuando el sistema trabaja insuflando es la capa superior, mientras que cuando aspira la última capa en enfriarse es la inferior. En general se recomienda airear insuflando aire ya que permite encender los ventiladores inmediatamente después que se puso la primera carga de semillas en el silo y se cubren los conductos de aireación. Al insuflar no se tienden a tapar los orificios de los conductos (especialmente importante en colza debido al tamaño de la semilla), y además permite agregar sucesivas cargas de semilla caliente a medida que progresa la cosecha. La principal desventaja de insuflar radica en que se puede producir condensación de humedad en el techo del silo, sobre todo cuando se airea en noches frescas. El efecto de condensación puede ser particularmente importante en los primeros días de almacenamiento, debido a que la alta actividad biológica de la semilla fresca produce un importante calentamiento, el cual resulta en aire caliente y cargado de humedad saliendo de la masa de granos. Sin embargo, el problema de la condensación de humedad puede ser solucionado instalando en el techo del silo sistemas de extracción de aire (ventilación activa). Esto extractores, correctamente dimensionados (deben poseer una capacidad de extracción de aire entre 25 y 50% superior a la capacidad del

ventilador de aireación) y combinados con un adecuado número de ventilaciones pasivas (bocas de venteo), garantizan una adecuada mezcla del aire que sale de la masa de granos saturado de humedad con el aire ambiente externo, lo cual evita la condensación (Mason y col, 1996). Finalmente, el fin del proceso de acondicionamiento se puede determinar monitoreando las condiciones de temperatura y humedad de la semilla en la superficie del silo, que siempre es más visible y accesible que la base o el cono. Mover aire de arriba hacia abajo (aspirar) evita la condensación de humedad en el techo. Sin embargo, cuando agregamos semillas frescas y calientes sobre semillas previamente acondicionadas el calor, producto de la respiración, debe ser removido pasando por las semillas que fueron acondicionadas previamente. Cuando se aspira existen posibilidades de desarrollo de focos de calentamiento en la base del silo, los cuales son difíciles de detectar a no ser que estos ocurran en las cercanías de un cable de termometría. Finalmente, cuando se opera el sistema moviendo aire hacia abajo en el verano se reduce el potencial de enfriamiento, ya que se introduce en la masa de semillas el aire caliente del entretecho del silo.

Para leer más sobre estrategias de aireación recomendadas para las diferentes regiones geográficas de Argentina se puede consultar el trabajo de Bartosik y col. (2007).

Aireación de colza

Los sistemas de aireación diseñados para colza deben tener en cuenta la particular susceptibilidad de la semilla al daño por autocalentamiento y las características físicas de la semilla.

Como se puede apreciar en la Tabla 4, la semilla de colza es extremadamente pequeña en comparación con las de los demás cereales y oleaginosas normalmente cultivados. Por ejemplo, comparando la semilla de colza con la de trigo podemos apreciar que el peso de 1000 granos de colza es de 2,9 gramos, mientras que el de trigo es de 32 gramos, o sea 10 veces mayor. Por el contrario, la porosidad (espacio vacío) de un silo con colza es similar a la de un silo con trigo (38 y 39-42, respectivamente), pero como el tamaño de la semilla de colza es menor, entonces el tamaño de los espacios porosos es un silo de colza también serán menores. Como el aire durante el proceso de aireación y secado se mueve a través del espacio poroso y este es muy pequeño, la resistencia al pasaje de del aire es mayor en la colza que en los otros cereales y oleaginosas. Esta particularidad de la colza hace que se deban tomar precauciones especiales en el diseño de los sistemas de aireación, o en la operación de sistemas existentes que fueron diseñados para airear otros tipos de granos.

Tabla 4. Propiedades físicas de diferentes granos y semillas oleaginosas.

Semilla/grano	Densidad (kg/m ³) ^{*1}	Peso 1000 granos ^{*2}	Porosidad (%) ^{*1}	Ángulo de reposo ^{*3}	Pendiente ^{*3}
Colza	669	2,9	38,4-38,9	22 ^{*4}	0,40 ^{*4}
Trigo	772	32-40	39,6-42,6	25	0,47
Maíz	721	325-330	40,0-44,0	23	0,42
Soja	772	77-167	33,8-36,1	25	0,47
Girasol	412	-	-	27	0,51
Arroz	579	15-27	46,5-50,4	-	-
Sorgo	721	12-33	-	29	0,55
Cebada	618	-	44,5-57,6	-	0,53
Avena	412	20-28	47,6-55,5	28	0,53

*1 ASABE-D241.4 (2004)

*2 Brooker y col. (1992) y Stroshine (2001)

*3 MWPS-29 (1980)

*4 Boyles y col. (2007)

La operación de sistemas de aireación con colza se realiza a presiones estáticas entre 2 a 3 veces más altas que para los demás cereales, lo cual, si el ventilador no está adecuadamente dimensionado, puede derivar en insuficiente caudal de aire y riesgo de desarrollo de hongos y daños en la semilla. La Tabla A del anexo indica el caudal de aire específico disponible y la presión estática que debe soportar el ventilador cuando se agregan sucesivas capas de granos hasta llenar un silo cuya aireación fue diseñada para mantener frío granos de trigo almacenado seco ($0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$). Como se puede apreciar en la tabla, al agregar sucesivas capas de granos aumenta la presión estática del sistema, por lo que el ventilador ofrece cada vez menos caudal de aire. Si en un silo que originalmente fue diseñado para enfriar trigo lo llenamos de colza, la presión estática aumenta de 776 a 883 Pa, resultando en insuficiente caudal de aire para mantener en buenas condiciones las semillas de colza. Para lograr el caudal de aire mínimo necesario para mantener en buenas condiciones la semilla de colza seca ($0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$) se debería reducir la altura de almacenamiento a no más de 6 m, esto es 3 m menos que la altura máxima del silo (9 m). Como regla general podríamos decir que cuando se almacena colza en un silo originalmente diseñado para airear trigo, la altura máxima de semilla no debería superar los 2/3 de la altura del silo. Cuanto más chica, húmeda o sucia sea la semilla, menor debería ser la altura a la que se llena el silo.

Existe una gran variedad de conductos y sistemas de distribución del aire dentro de los silos y celdas. Debido a la sensibilidad de la colza al calentamiento y a la dificultad que presenta al paso del aire se prefieren los sistemas que tengan una gran proporción de

INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

superficie perforada, siendo el piso plano perforado el sistema más conveniente (Thomas, 1984). Las perforaciones de los conductos de aireación (o del piso plano) deben ser lo suficiente pequeñas como para evitar que las semillas ingresen a los conductos. Cuanto más grande es la estructura de almacenamiento, más difícil es lograr una distribución del aire uniforme (generalmente la distribución del aire es más desuniforme en las celdas, debido a la diferencia de altura de granos). Desuniformidad en el caudal de aire puede llevar a la formación de áreas en la masa de granos con poca o nula circulación del aire, con el consiguiente riesgo de calentamiento de la semilla. Para solucionar este problema se puede dimensionar el ventilador de manera de proporcionar mayor caudal de aire (ej: $0,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$), compensando de esta manera cualquier posible desuniformidad en el caudal. Cuanto mayor sea el porcentaje de finos y materias extrañas que contiene la semilla, mayor será la resistencia al paso del aire y mayor será también la desuniformidad en la distribución del aire (menos aire y más despasejo). Para solucionarlo se recomienda realizar una prelimpieza del grano previo al llenado del silo y/o realizar la práctica de descorazonado una vez lleno el silo.

Secado en silo con aire natural / baja temperatura

Los sistemas de aire natural / baja temperatura (AN/BT) se caracterizan por el secado en silo con aire natural, o aire calentado hasta 7°C por sobre la temperatura ambiente. El caudal de aire requerido para secado en silo es de $1 \text{ a } 1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, de 10 a 15 veces mayor que el caudal de aire requerido para aireación de mantenimiento. Es muy importante contar con un buen sistema de distribución del aire, siendo de preferencia los sistemas con piso plano totalmente perforado. Prestar atención a que para lograr el mencionado caudal de aire debemos contar con ventiladores de gran potencia (más de 10 veces de potencia que los normalmente utilizados para aireación de mantenimiento). Otra alternativa es reducir la altura de granos. Por ejemplo, si en el silo considerado en la Tabla A del anexo se agregan aproximadamente 1,5 m de colza, entonces el caudal de aire será de $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$.

Durante el proceso de secado en silo se forma un frente de secado que avanza en dirección del flujo de aire. Por debajo del frente de secado se encuentra el grano ya seco, mientras que por encima del frente de secado se encuentra el grano todavía húmedo (Figura 2). El proceso de secado se considera terminado cuando el frente de secado atraviesa toda la masa de granos. Una limitante de los sistemas de secado AN/BT es el relativamente largo tiempo de secado. Para bajar 5 puntos porcentuales (ej: 13 a 8%) con un caudal de aire de $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ se requieren entre 600 y 1200 horas de ventilador, de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar (tener en cuenta que si el ventilador funciona entre 10 y 15 horas por día, entonces el periodo de secado se extiende durante por lo menos 40 días). Esto implica que los granos de la capa superior del silo van a permanecer húmedos (aproximadamente a la misma humedad a la que fue cosechado) durante un largo periodo de tiempo. Esto conforma una zona de riesgo, con posibles pérdidas de materia seca (MS) y calidad del grano. Esta situación puede ser aun más crítica en regiones de climas cálidos, en donde la temperatura durante la época de secado es elevada, con lo cual aumenta la actividad biológica en la capa superior del silo (mayor respiración del grano, hongos e insectos presentes).

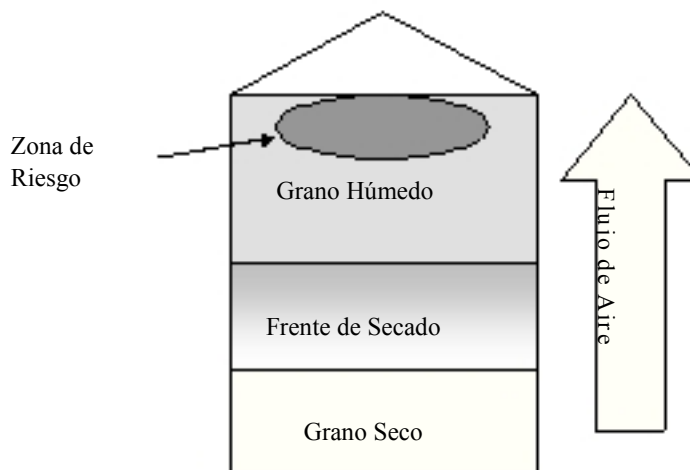


Figura 2. Distribución de la humedad en la masa de granos durante el secado en silo con aire natural o baja temperatura y conformación de la zona de riesgo de descomposición de granos en la parte superior y central del granel.

El objetivo del secado en silo con AN/BT es llegar con el frente de secado a la parte superior del silo antes que se produzcan pérdidas de materia seca y calidad del grano. La velocidad del desplazamiento del frente de secado depende, fundamentalmente, del caudal de aire. A mayor caudal de aire, más rápidamente se completará el secado de la masa de granos, pero a su vez se incurrirá en mayores costos operativos debido al mayor tamaño del ventilador.

El desempeño de los sistemas de secado en silo con AN/BT es muy influenciado por las condiciones climáticas. Si las condiciones climáticas de una determinada localidad durante la época de secado son muy secas, la operación de secado se completará en poco tiempo. Sin embargo, cuando el frente de secado atraviese la totalidad de la masa de granos, las capas inferiores van a estar significativamente sobresecadas. Por otra parte, si las condiciones climáticas de una localidad en particular son demasiado húmedas durante la época de secado, entonces el frente de secado tardará muchos días en alcanzar la capa superior del granel, con el consecuente riesgo de pérdidas de calidad y materia seca del grano. Para incrementar la velocidad de secado, y ganar independencia de las condiciones climáticas, se puede utilizar calor suplementario. El calor suplementario se puede generar con quemadores de gas o calentadores eléctricos que se colocan, generalmente, por delante del ventilador [Nota: el ventilador aspira aire ambiente a través del quemador, luego pasa por el ventilador y finalmente ingresa a los conductos de aireación o al plenum del silo]. El incremento de unos pocos grados por sobre la temperatura ambiente disminuye la humedad relativa (HR%) del aire, con lo cual incrementa la capacidad de extraer agua del grano (reduce el contenido de humedad de equilibrio del aire). Sin embargo el uso de calor suplementario es muy difícil de cuantificar, por lo que generalmente causa sobresecado en los granos de las capas inferiores. Estudios realizados indican que las estrategias de calor suplementario son especialmente adecuadas para el secado de granos en el Sudeste Bonaerense (por la elevada humedad ambiente), zona con mayor potencial para el desarrollo del cultivo de colza (Bartosik, 2005).



Para tener una indicación sobre las condiciones de contenido de humedad de equilibrio de la colza para diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa del aire en el Anexo se presenta la Tabla B, basada en la ecuación de contenido de humedad de equilibrio de Halsey (ASABE-D245.5) y los parámetros propuestos por Da-Wen Sun (1999).

Para más información sobre secado en silo se recomienda revisar el artículo "Secado en silo con aire natural/baja temperatura", disponible en la página web del PRECOP (www.cosechaypostcosecha.org).

Secado a alta temperatura

El secado a alta temperatura de las semillas de colza permite bajar la humedad de cosecha a valores seguros para el almacenamiento con mucha mayor rapidez que los sistemas de secado con aire natural o baja temperatura. Esto es porque el aire caliente tiene mucha mayor capacidad de extraer agua que el aire natural, y además porque las secadoras de alta temperatura utilizan caudales de aire muy superiores a el de los demás sistemas ($75 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$). El secado a alta temperatura se debería implementar cuando la semilla se debe secar por encima de tres puntos (ej. semilla cosechada a 11% de humedad) para llevarla a la condición de almacenamiento segura (8%).

Temperaturas de secado

Los lotes de colza que serán utilizados como semilla deben secarse a temperaturas inferiores a los 45°C, mientras que aquellas semillas destinadas a la industria aceitera la temperatura de secado se puede extender hasta 82°C (Tabla 5). Cuando se prevé almacenar el grano durante un periodo superior a los 6 meses se recomienda operar la secadora a menores temperaturas. Las semillas sobresecadas resultan con daños en su cubierta seminal y frecuentemente presentan niveles marcadamente altos de ácidos grasos libres, causando problemas y rechazos en la calidad del aceite. Las semillas sobresecadas por debajo de 6% resultan muy susceptibles al daño mecánico durante el manipuleo y transporte en la planta de acopio, mientras que las semillas por encima de 7% de humedad por lo general no sufren roturas (Nash, 1978).

Tabla 5. Temperaturas del aire de secado máximas recomendadas para el secado de colza para diferentes condiciones de humedad inicial, diferentes usos y diferentes tipos de secadoras. Fuente: Thomas, 1984

Condición del grano (% inicial de humedad)	Temperatura máxima de secado °C (aire)		
	Semillas	Grano con destino comercial (aceite)	
		Mezclado durante el secado (caballetes y columnas flujo mixto)	Sin mezclar (columnas)
Mayor que 10%	45	82	71
Mayor que 12,5%	43	71	60

INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

La temperatura máxima del aire en el plenum de la secadora depende de la humedad inicial de la semilla, la temperatura compatible con la viabilidad de la semilla, el periodo de almacenamiento previsto y el tipo de secadora. Generalmente, para preservar la calidad de una semilla más humedad durante el secado se debe reducir la temperatura y extender el tiempo de secado. Las secadoras que no producen un efecto de mezclado de las semillas (como por ejemplo las secadoras de columnas) deben ser operadas a temperaturas más bajas, ya que las semillas próximas al plenum de aire caliente alcanzarán la temperatura del aire de secado.

Consideraciones de secado a alta temperatura

El secado de semillas de colza es más lento que el de los cereales, y esto es porque al ser una semilla más pequeña aumenta la presión estática en la secadora, con lo cual se reduce sustancialmente el caudal de aire. Como consecuencia de ello, la temperatura del aire de secado aumenta considerablemente en el plenum de la secadora, a no ser que se regule el quemador de manera apropiada.

Otra consideración importante para el secado de colza en secadoras de alta temperatura es la pérdida de granos. Las secadoras son generalmente diseñadas para secar maíz, soja o trigo, todos ellos granos mucho más grandes que la semilla de colza (Tabla 1). En consecuencia conviene revisar la secadora para detectar posibles roturas o fisuras por donde se puedan escapar las semillas, especialmente las mallas cribadas de las secadoras de columnas. Este aspecto es de gran importancia en las secadoras de más de 10 años de antigüedad. También se debe regular apropiadamente el caudal de aire en las secadoras de caballetes y las de columnas de flujo mixto, ya que de lo contrario las semillas pequeñas pueden "volarse" del interior de las mismas (Harner, 1989).

El material verde que viene con las semillas de colza, como así también los pedazos de tallo y vainas pueden atascarse en el interior de la secadoras, researse y recalentarse con el peligro de terminar en un incendio de la secadora (Thomas, 1984).

Agradecimiento

El autor agradece al Ing. Leandro Cardoso por la valiosa revisión del artículo

Referencias

ASABE Standards. 2001. ASAE D241.4. Density, Specific Gravity, and Mass-Moisture Relationships of Grain for Storage. St. Joseph, Mich.: ASABE, EEUU.

ASABE Standards. 2001. ASAE D245.5. Moisture relationships of plant-based agricultural products. St. Joseph, Mich.: ASABE, EEUU.

Bartosik, R.E. 2005. Secado en silo con aire natural o baja temperatura. Revista Aposgran. Año XVII, N°91, Volumen 3, páginas 36-40. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/precop/sistsecado.htm>

Bartosik, R.E.; de la Torre, D. y Rodriguez, J.C. 2007. Estrategias de enfriado de granos almacenados para diferentes zonas agro-climáticas. Proceedings del IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. 19-22 septiembre de 2007, Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/precop/>

Boyles, M., Peeper, T. y Stamm, M. 2007. Great plains canola production handbook. Oklahoma State University, Kansas State University y University of Nebraska. EEUU. Disponible en: <http://www.oznet.ksu.edu/library/crps12/mf2734.pdf>. Accedido en enero de 2008.



INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

Brooker, D.B, F.W. Bakker-Arkema y C.W. Hall. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, EEUU.

Burrell, N.J.; G.P. Knight; D.M. Armitage y S.T. Hill. 1980. Determination of the time available for drying rapeseed before the appearance of surface mold. J. Stored Prod. Res. 16:115-118.

Da-Wen Sun. 1999. Comparison and Selection of EMC/ERH Isotherm Equations for Drying and Storage of Grain and Oilseed. CIGR Ejournal vol I. Disponible en: <http://cigr-ejournal.tamu.edu/>. Accedido en: 24 de enero de 2008.

Harner, J.P. III. 1989. Handling and storage. P. 11-13. Kansas State University Cooperative Extension Service, Manhattan, Kansas, EEUU.

Jayas, D.S., S. Sokhansanj, E.B. Moysey y E.M. Barber. 1987. Distribution of foreign material in canola bins filled using a spreader or spout. Can. Agric. Eng. 29:183-188. Manitoba Agriculture. 1980. Harvesting, storage and grades. P. 601-638. In rapeseed '80. Manitoba Agriculture, Winnipeg, Canada.

Lacey J. Hill, S.T., y Stewards, M.A. 1980. Microorganisms in stored grains: their enumeration and significance, Trop. Stored Prod. Inform., 38, 19-32.

Mason, I.; Maier, D. y Woloshuk, C. 1996. Post harvest pocket guide. Integrated pest management. Purdue University Cooperative Extension Service. West Lafayette, Indiana, EEUU.

Midwest Plan Service. 1980. Low temperature and solar drying handbook. MWPS-22. Iowa State University, Ames, Iowa, EEUU.

Mills, J.T. (1996). Storage of canola. Agriculture and Agri-Food Canada, Winnipeg, Canada. Disponible en: [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/crop1301](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/crop1301). Accedido en enero de 2008.

Mills, J.T. 1989. Spoilage and heating of stored agricultural products. Prevention, detection and control. Agriculture Canada, Ottawa, Ont. Publ. 1823E.

Nash, M.J. 1978. Crop conservation and storage in cool temperate climates. Pergamon, Oxford, Reino Unido.

SAGPyA. 1994. Norma 7. Comercialización de colza. Resolución N° S.A.G. y P. 1075 / 94. Disponible en: <http://www.bcr.com.ar/pagcentrales/laboratorio/normas.asp>. Accedido en enero de 2008.

Sinha, R.N. y H.A.H. Wallace. 1977. Storage stability of farm-stored rapeseed and barley. Can. J. Plant Sci. 57:351-365

Stroshine R. 2001. Physical Properties of Agricultural Materials and Food Products. Purdue University, West Lafayette, Indiana, EEUU.

Stroshine, R., Tuite, J., Foster, H y Baker, K. 1986. Self-study guide for grain drying and storage. Plant Pathology Department Publications, Purdue University, West Lafayette, Indiana, EEUU.

Thomas, P.M. 1984. Swathing- combining, storage and conditioning of canola. P. 1101-1215. In Canola Growers Manual. Canola Council of Canada, Winnipeg, Manitoba.



Anexo

Tabla A. Caudal específico que ofrece ($m^3 \text{ min}^{-1} t^{-1}$) y presión estática que debe soportar un ventilador axial de 1,5 HP (14 pulgadas de boca) para airear distintas alturas de granos de trigo, colza, maíz, soja y girasol en un silo de 6 m de diámetro y 9 m de altura (con cono y pico de grano no nivelado). Aireación original diseñada para mantenimiento de trigo seco.

Altura Grano	Trigo			Colza (tobin)			Maíz			Soja			Girasol		
	Ton.	Qe ($m^3/\text{min}/t$)	PE (Pa)	Ton.	Qe ($m^3/\text{min}/t$)	PE (Pa)	Ton.	Qe ($m^3/\text{min}/t$)	PE (Pa)	Ton.	Qe ($m^3/\text{min}/t$)	PE (Pa)	Ton.	Qe ($m^3/\text{min}/t$)	PE (Pa)
1.0	25.6	3.55	440	22.1	2.47	595	25.8	4.68	291	24.3	5.20	256	13.6	8.33	338
2.1	51.1	1.26	552	44.1	0.79	704	51.6	2.00	391	48.6	2.30	348	27.2	3.33	440
3.1	76.7	0.66	612	66.2	0.40	766	77.4	1.15	450	72.8	1.35	411	40.8	1.86	500
4.2	102.2	0.41	659	88.3	0.24	809	103.1	0.76	490	97.1	0.90	453	54.4	1.21	545
5.2	127.8	0.29	694	110.3	0.16	839	128.9	0.55	523	121.4	0.65	488	67.9	0.86	577
6.3	153.3	0.21	722	132.4	0.12	861	154.7	0.42	550	145.7	0.50	515	81.5	0.65	602
7.3	178.9	0.16	744	154.5	0.09*	873	180.5	0.33	572	169.9	0.39	540	95.1	0.51	622
8.4	204.4	0.13	764	176.6	0.07*	881	206.3	0.27	590	194.2	0.32	560	108.7	0.41	644
9.0	220.0	0.11	776	190.0	0.06*	883	222.0	0.24	600	209.0	0.29	570	117.0	0.37	657

* insuficiente caudal de aire (menor a $0,1 m^3 \text{ min}^{-1} t^{-1}$)



Tabla B. Contenido de humedad de equilibrio para semillas de colza basado en el modelo de Halsey Modificado y los parámetros propuestos por Da-Wen Sun (1999). Humedad relativa en % y humedad de la semilla en % base húmeda.

Humedad Relativa (%)	Temperatura del Aire (°C)															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
	20	4.25	4.20	4.15	4.10	4.06	4.01	3.96	3.92	3.87	3.83	3.78	3.74	3.69	3.65	3.61
25	4.65	4.60	4.54	4.49	4.44	4.39	4.34	4.29	4.24	4.19	4.14	4.09	4.04	4.00	3.95	3.90
30	5.06	5.00	4.95	4.89	4.83	4.78	4.72	4.67	4.61	4.56	4.51	4.45	4.40	4.35	4.30	4.25
35	5.50	5.43	5.37	5.31	5.25	5.19	5.13	5.07	5.01	4.95	4.89	4.84	4.78	4.73	4.67	4.62
40	5.96	5.89	5.82	5.76	5.69	5.62	5.56	5.50	5.43	5.37	5.31	5.25	5.19	5.13	5.07	5.01
45	6.46	6.39	6.32	6.25	6.17	6.10	6.03	5.97	5.90	5.83	5.76	5.70	5.63	5.57	5.50	5.44
50	7.03	6.95	6.87	6.79	6.71	6.64	6.56	6.49	6.41	6.34	6.27	6.20	6.13	6.06	5.99	5.92
55	7.66	7.57	7.49	7.40	7.32	7.24	7.16	7.08	7.00	6.92	6.84	6.76	6.68	6.61	6.53	6.46
60	8.39	8.30	8.21	8.11	8.02	7.93	7.85	7.76	7.67	7.58	7.50	7.41	7.33	7.25	7.17	7.09
65	9.26	9.16	9.05	8.95	8.85	8.76	8.66	8.56	8.47	8.37	8.28	8.19	8.10	8.01	7.92	7.83
70	10.31	10.20	10.08	9.97	9.86	9.76	9.65	9.54	9.44	9.33	9.23	9.13	9.03	8.93	8.83	8.73
75	11.63	11.51	11.38	11.26	11.14	11.02	10.90	10.78	10.66	10.55	10.43	10.32	10.21	10.09	9.98	9.87
80	13.38	13.24	13.10	12.96	12.83	12.69	12.56	12.42	12.29	12.16	12.03	11.90	11.77	11.65	11.52	11.40
85	15.88	15.71	15.55	15.39	15.23	15.08	14.92	14.77	14.61	14.46	14.31	14.16	14.01	13.87	13.72	13.58
90	19.88	19.69	19.49	19.30	19.11	18.92	18.74	18.55	18.37	18.18	18.00	17.82	17.64	17.47	17.29	17.12
95	28.10	27.85	27.61	27.36	27.12	26.88	26.64	26.40	26.17	25.93	25.70	25.46	25.23	25.00	24.77	24.54



INTA-PRECOP - PE: Eficiencia de Poscosecha.

Ecuación de Halsey Modificada (ASABE D-245.5).

$$\text{Hum} = \frac{\ln RH}{- \text{Exp}(A + B * T)^{-C}}$$

Donde: Hum es la humedad de la semilla (porcentaje, base seca); RH es la humedad relativa ambiente (decimal) y A, B y C son parámetros de la ecuación.

Parámetros de la ecuación Da-Wen Sun (1999).

A (C1) = 2.8380

B (C2) = -9.6915x10⁻³

C (C3) = 1.5845

Tabla C. Relación entre capacidad de almacenamiento base trigo de un silo y su capacidad estimada para colza.

Capacidad base trigo	Capacidad colza (estimada)
50	43
100	87
150	130
200	173
350	303
400	347
500	433
700	607
1000	867

Capacidad estimada en base a las densidades del trigo y la colza. Para ello se consideró una densidad de 772 kg por m³ para el trigo y de 669 kg por m³ para la colza (ASABE D241.4). La conversión se realizó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad Colza} = \frac{\text{Capacidad Trigo} * 669}{772}$$

Para estimar capacidades de almacenamiento para diferentes granos solo basta con reemplazar los valores de densidad de cada uno de ellos. La densidad del grano cambia con la humedad (granos secos tienen mayor densidad). Los valores presentados en la tabla corresponden a granos a humedades de recibo.