

Manual del Cultivo del Trigo



Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
Programa Latinoamérica Cono Sur
<http://lacs.ipni.net>

Manual del cultivo de trigo / Bernardette Abadia ... [et al.]; compilado por
Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García; editado por Guillermo A. Divito; Fernando Oscar García. -
1a ed. compendiada. - Acassuso: International Plant Nutrition Institute, 2017.
224 p.; 28 x 19 cm.

ISBN 978-987-46277-3-5

1. Agricultura. 2. Cultivo Agrícola. 3. Manuales. I. Abadia, Bernardette II. Divito, Guillermo A., comp. III.
García, Fernando Oscar, comp. IV. Divito, Guillermo A., ed. V. García, Fernando Oscar, ed.
CDD 633

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso de los editores.

1ra edición Octubre 2017

Impreso en Argentina

ISBN 978-987-46277-3-5



Presentación

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales genera desafíos, oportunidades y amenazas para los sistemas de producción agrícola. Esta demanda requiere de sistemas que provean productos en cantidad y calidad mejorando la vida de las personas y preservando el ambiente. El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. Así, el desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes.

En este marco, la expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles constituye una severa amenaza a la sostenibilidad de los sistemas, por lo que, entre las alternativas propuestas, impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso ha sido considerada prioritaria. En Argentina, se han estimado brechas entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano del orden del 32%, 41% y 41% para soja, maíz y trigo, respectivamente (ver Capítulo 1 de esta publicación).

El cultivo de trigo ha sido una de las principales producciones agrícolas en los países del Cono Sur de Latinoamérica y actualmente incluye aproximadamente 6 millones de ha en Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay y Uruguay. Su importancia dentro de la economía de estas naciones, su relevante participación como proveedor de alimento para sus poblaciones y, desde el punto de vista agronómico, su rol en las rotaciones de cultivos anuales, han sido destacados y ampliamente discutidos en numerosas publicaciones.

Este manual trata de cubrir los temas más relevantes de la producción, industrialización y comercialización de trigo, con énfasis en los sistemas de la región triguera argentina. A través de catorce capítulos y una serie de anexos se revisan aspectos relacionados al crecimiento y la fenología; la ecofisiología y la generación de rendimiento; las nuevas variedades; la importancia del manejo del cultivo para calidad; la nutrición y las mejores prácticas de manejo de la fertilización; la identificación y manejo de malezas, enfermedades y plagas más relevantes; el manejo de cultivo en distintas regiones; la cosecha y el almacenamiento de granos; la molienda y la panificación; y el mercado actual.

Como editores queremos dejar expreso nuestro más sincero agradecimiento al trabajo, dedicación y paciencia que han demostrado los autores de los distintos capítulos. Estos destacados científicos y profesionales son referentes insoslayables en las distintas temáticas abordadas y es un honor contar con su contribución en este manual.

Guillermo A. Divito
Fernando O. García

EDITORES

Guillermo A. Divito

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Doctor en Ciencias Agrarias. Actualmente se desempeña como asesor privado y Asistente Técnico de la Regional Necochea de Aapresid. Es especialista en manejo de cultivos agrícolas. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

Fernando O. García

Ingeniero Agrónomo, Magister Scientiae y Ph.D. en Agronomía. Actualmente es Director Regional del International Plant Nutrition Institute (IPNI) Programa Cono Sur de Latinoamérica. Es especialista en fertilidad de suelos y nutrición de cultivos. Ha dirigido y asesorado tesis de grado y posgrado. Ha publicado numerosos trabajos en revistas científicas nacionales e internacionales con referato y de divulgación.

AUTORES

Bernadette Abadía

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abadia.maria@inta.gov.ar

Pablo E. Abbate

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
abbate.pablo@inta.gov.ar

Cristian Álvarez

INTA Gral. Pico, La Pampa, Argentina.
alvarez.cristian@inta.gov.ar

Fernando Aramburu Merlos

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
aramburumerlos.f@inta.gov.ar

Mirian Barraco

INTA Gral. Villegas, Buenos Aires, Argentina.
barraco.miriam@inta.gov.ar

Ricardo Bartosik

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
bartosik.ricardo@inta.gov.ar

Javier Bujan

Kimei Cereales S.A. y Cámara Arbitral Bolsa de Cereales de Buenos Aires
bujan@kimei.com.ar

Leda E. Campaña

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Miguel J. Cardoso

Molino Campodónico, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
laboratorio@molinocampodonico.com.ar

Leandro Cardoso

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
cardoso.marcelo@inta.gov.ar

Dora Carmona

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.
carmona.dora@inta.gov.ar

Marcelo Carmona

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina
carmonam@agro.uba.ar

Pablo Calviño

Asesor y director técnico. Tandil, Buenos Aires, Argentina.
calvinopabloa@gmail.com

Adrián A. Correndo

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

acorrendo@ipni.net

Diego de la Torre

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

delatorre.diego@inta.gob.ar

Guillermo A. Divito

Asesor Privado. AAPRESID, Asistente Técnico Regional Necochea. Buenos Aires, Argentina.

guillermodivito@yahoo.com.ar

Oswaldo Ernst

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Paysandú, Uruguay.

oernst@fagro.edu.uy

Ariel Jesús Faberi

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

faberi.ariel@inta.gob.ar

Jorge A. Fraschina

EEA INTA Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

fraschina.jorge@inta.gob.ar

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI), Latinoamérica-Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

fgarcia@ipni.net

Lisardo González

Buck Semillas. La Dulce, Buenos Aires, Argentina.

lgonzalez@bucksemillas.com.ar

Esteban Hoffman

EEMAC, Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica. Paysandú, Uruguay.

tato@fagro.edu.uy

María I. Leaden

Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

mileaden@hotmail.com

Gisele Maciel

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

maciel.gisel@inta.gob.ar

Pablo Manetti

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

manetti.pablo@inta.gob.ar

Juan Pablo Monzon

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

monzon.juanpablo@inta.gob.ar

Carla Salvio

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

salvio.carla@inta.gob.ar

Francisco Sautua

Facultad de Agronomía - UBA, Buenos Aires, Argentina

sautuaensayo@gmail.com

Santiago Néstor Tourn

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tourn.santiago@inta.gob.ar

María Celia Tulli

Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

tulli.maria@inta.gob.ar

Índice	Pág.
1. El trigo, su difusión, importancia como alimento y consumo _____	7
Pablo E. Abbate, Miguel J. Cardos y Leda E. Campaña	
Brechas de rendimiento de trigo en Argentina _____	20
Fernando Aramburu Merlos y Juan Pablo Monzon	
2. Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo _____	22
Pablo E. Abbate y Guillermo A. Divito	
3. Ecofisiología y manejo del cultivo de trigo _____	33
Pablo E. Abbate	
4. Cambios recientes y venideros en las variedades de mayor difusión en Argentina ____	53
Lisardo González	
5. ¿Por qué es importante la calidad del trigo? _____	57
Jorge A. Fraschina	
6. La nutrición del cultivo de trigo _____	67
Guillermo A. Divito, Adrián A. Correndo y Fernando O. García	
7. Identificación y manejo de malezas _____	85
María I. Leaden	
8. Criterios para el manejo integrado de las enfermedades _____	93
Marcelo Carmona y Francisco Sautua	
9. Caracterización y manejo de plagas animales _____	109
Dora Carmona, Pablo Manetti, María C. Tulli, Carla Salvio y Ariel J. Faberi	
10. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones _____	123
10.a Región Pampeana Central	
Jorge A. Fraschina	
10.b Región Sudeste de Buenos Aires	
Pablo Calviño y Guillermo A. Divito	
10.c Noroeste de Buenos Aires y Este de La Pampa	
Cristian Álvarez y Mirian Barraco	
10.d Uruguay	
Esteban Hoffman y Oswaldo Ernst	
11. Eficiencia en la cosecha de trigo _____	143
Santiago N. Tourn	
12. Almacenamiento y acondicionamiento de trigo _____	152
Ricardo Bartosik, Bernadette Abadía, Leandro Cardoso, Diego de la Torre y Gisele Maciel	
13. Calidad, molienda y panificación de trigos _____	172
Miguel J. Cardos, Leda E. Campaña y Pablo E. Abbate	
14. ¿Y tranqueras afuera? Consideraciones para la comercialización _____	194
Javier Bujan	
Anexos _____	198

Capítulo XII: Almacenamiento y acondicionamiento de trigo

Ricardo Bartosik^{1,2}; Bernadette Abadía¹; Leandro Cardoso¹; Diego de la Torre¹; y Gisele Maciel²

¹Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina.

²CONICET, Argentina.

La poscosecha de granos es una etapa esencial de la cadena productiva de cereales y oleaginosas que comprende su almacenaje, transporte y acondicionamiento posterior a la cosecha y previo a su industrialización y uso final. Una adecuada conservación es esencial ya que el deterioro durante el almacenaje puede ser muy rápido debido a los efectos de la respiración de los propios granos y, principalmente, al desarrollo de hongos e insectos que proliferan fácilmente al encontrarse con condiciones óptimas de humedad y temperatura.

El almacenamiento y acondicionamiento de trigo tiene particularidades que se derivan de sus características físicas y químicas. La **Tabla 1** lista algunas de las propiedades importantes de los granos, entre las que se destacan que el trigo tiene una alta densidad volumétrica y un tamaño de semilla relativamente chico. En las secciones siguientes se tratarán las problemáticas específicas derivadas de estas características.

Tabla 1. Parámetros físicos, contenido de aceite, humedad de recibo y humedad de almacenamiento segura de los diferentes granos. Fuente: ASAE (2001); ASAE (2013); ASAGIR (2010); Maciel et al. (2015); MWPS-22 (1980); SAGyP (1994).

Parámetro	Girasol	Trigo	Maíz	Soja	Cebada	Colza	Arroz
Densidad volumétrica (kg/m ³)	410	770	720	770	620	670	580
Peso de 1000 granos (g)	130-170	30-45	380	150-220	30-45	2-3	27
Contenido de aceite (%. rango)	39-55	2-4	5-7	18-22	2-4	43-45	2-4
Humedad de recibo (%)	11	14	14.5	13.5	12.0	8	14
Humedad de almacenamiento segura (para 20°C y 67% HR)	7-12	14	13-14	12-13	14	8	14
Ángulo de reposo promedio (°)	27	25	23	25	28	22	36
Pendiente	0.51	0.47	0.42	0.47	0.53	0.40	
Espacio poroso (%)	35-45	40-45	40-44	35-40	45-50	35-40	45-50

1 Principales problemáticas del trigo en la poscosecha

En líneas generales se pueden identificar tres problemáticas distintivas de la poscosecha del trigo:

- 1) necesidad de segregar por calidad
- 2) inocuidad (residuos de insecticidas y presencia de micotoxinas)
- 3) efecto del secado sobre la calidad

La comprensión de los fundamentos de estas tres problemáticas es crítica para garantizar un adecuado tratamiento en la poscosecha y garantizar el éxito en su comercialización y procesamiento en alimentos. En las siguientes secciones se abordan los conceptos teórico-prácticos necesarios para implementar un programa de **Buenas Prácticas en la Poscosecha de trigo**, haciendo especial énfasis en los tres ejes mencionados.

2 Almacenamiento

2.1 Actividad microbiana

Los hongos que crecen con mayor frecuencia en el campo, tales como *Fusarium*, *Cladosporium* y *Alternaria* son sustituidos en el almacenamiento por especies que se adaptan a condiciones más xerófilas como *Penicillium* y *Aspergillus spp.* Los hongos también pueden reducir la viabilidad de los granos, así como causar su decoloración y manchas (Navarro y Noyes, 2001). Los hongos que se desarrollan durante el almacenamiento son los principales responsables de las pérdidas de calidad de granos durante la poscosecha. Al contrario de los insectos, que son la segunda causa de pérdidas en la poscosecha, no puede evitarse la presencia de hongos en el granel (implicaría una esterilización de la mercadería). La única forma de reducir los daños que pueden ocasionar es generando condiciones del ambiente intergranario desfavorables para su desarrollo.

Los hongos que se desarrollan durante el almacenamiento son los principales responsables de las pérdidas de calidad de granos durante la poscosecha.

De acuerdo con lo que se puede observar en la **Tabla 2**, la temperatura no es un factor estrictamente limitante para la proliferación de hongos, ya que su rango de desarrollo es muy amplio e inclusive logran hacerlo a temperaturas por debajo de los 0°C (aunque a bajas temperaturas la tasa de crecimiento es mucho menor). En cambio, la condición que realmente limita el desarrollo de microorganismos es la humedad relativa (HR) del espacio intergranario. Dicha tabla muestra que la HR mínima que se requiere para la germinación de esporas de hongos es de 71%, implicando que una HR inferior evitaría el desarrollo de hongos y el consecuente deterioro del grano. Por lo tanto, se define como condición de almacenamiento segura a aquella cuya HR del espacio intergranario es menor a 67% (ligeramente menor a 71% para mantener un margen de seguridad). La HR intergranaria está íntimamente relacionada con el contenido de humedad del grano y, en menor medida, con la temperatura del ambiente intergranario. La humedad relativa de equilibrio (HRE) determina la máxima presión de vapor del aire intersticial (HR) que puede ser alcanzada dada una cierta humedad y temperatura de los granos almacenados. Entonces, el contenido de humedad de almacenamiento segura (CHAS) de cualquier grano es aquel que se equilibra con una HR del aire en el espacio intergranario igual o menor a 67% (**Figura 1**).

Se define como condición de almacenamiento segura a aquella cuya HR del espacio intergranario es menor a 67%

Tabla 2. Condiciones de humedad relativa de equilibrio (HRE) que requieren para germinar, su correspondiente contenido de humedad de equilibrio (CHE) y temperatura mínima, máxima y óptima para el crecimiento de las especies de hongos más importantes en granos almacenados. Fuente: Lacey et al. (1980).

Hongos	HRE min. para germinar (%) ^a	Temperatura de crecimiento (°C)		
		Mínima	Óptima	Máxima
<i>Alternaria</i>	91	-3	20	36-40
<i>Aspergillus candidus</i>	75	10	28	44
<i>A. flavus</i>	82	6-8	36-38	44-46
<i>A. fumigatus</i>	82	12	37-40	50
<i>A. glaucus</i>	72	8	25	38
<i>A. restrictus</i>	71-72	--	--	--
<i>Cephalosporium acremonium</i>	97	8	25	40
<i>Epicoccum</i>	91	-3	25	28
<i>Fusarium moniliforme</i>	91	4	28	36
<i>F. graminearum</i>	94	4	25	32
<i>Mucor</i>	91	-3	28	36
<i>Nigrospora oryzae</i>	91	4	28	32
<i>Penicillium funiculosum</i>	91	8	30	36
<i>P. oxalicum</i>	86	8	30	36
<i>P. brevicompactum</i>	81	-2	23	30
<i>P. cyclopium</i>	81	-2	23	30
<i>P. viridicatum</i>	81	-2	23	36

Referencias: ^a Aproximadamente más del 5% de las esporas pueden germinar a esta HRE.

2.2 Contenido de humedad de equilibrio de los granos

El contenido de humedad de equilibrio (**CHE**) puede ser definido como la humedad a la cual la presión de vapor interna del grano está en equilibrio con la presión de vapor del ambiente (HR del ambiente intergranario). Por lo tanto, el CHE determina la humedad a la que un grano puede ser secado bajo condiciones particulares de HR y temperatura del aire de secado. En la **Figura 1** se grafica la relación de equilibrio aire-grano para trigo a 20°C, donde se observa que a medida que la HRE del aire aumenta también aumenta la humedad del grano. Por una parte, desde el punto de vista práctico, la implicancia es que si el trigo almacenado es aireado con una condición del aire de 20°C y 60% de HR, entonces tenderá a secarse hasta 13% aproximadamente, mientras que si es aireado con aire a 65%, se equilibrará a 14% de humedad, y si es expuesto a 80% de HR, el trigo se equilibrará a 17% de humedad. Por otra parte, la relación de la **Figura 1** también nos indica cuál sería la HR del espacio intergranario para diferentes humedades de almacenamiento del grano. Por ejemplo, si el trigo es almacenado con una humedad de 12%, la HR del espacio intergranario será de 50%, mientras que si es almacenado con 14%, la HR será de 65-70% y si es almacenado con 17%, la HR será de 80%. Esto tiene importantes implicancias desde el punto de vista del desarrollo de hongos, tal como se discutió en la sección anterior. Es importante destacar que diferentes variedades de trigo pueden tener curvas de contenido de humedad de equilibrio diferentes, especialmente si existe variabilidad en el contenido de aceites, aunque este efecto es mucho más marcado en otros tipos de granos (ej. girasol).

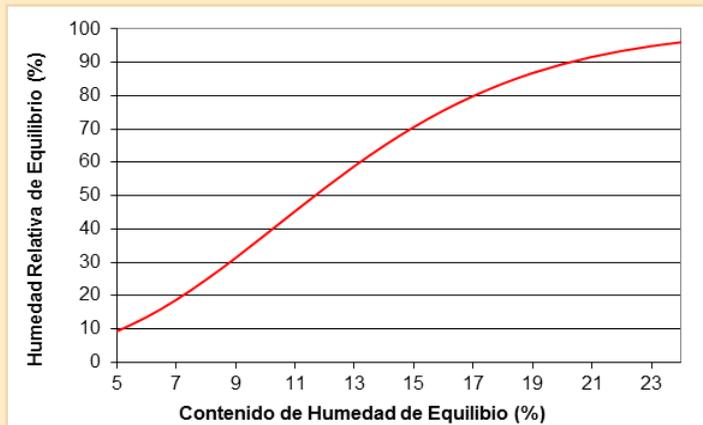


Figura 1. Contenido de humedad de equilibrio de trigo (isoterma de 20°C).

La **Figura 2** muestra la humedad de almacenamiento segura para diferentes temperaturas. Como se puede apreciar, a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento, la humedad a la que se debe almacenar el grano para evitar el desarrollo de hongos es cada vez menor. Esto es porque, para una misma humedad del grano, a medida que aumenta la temperatura, la humedad relativa de equilibrio es cada vez mayor. Desde el punto de vista práctico, la figura indica que almacenar trigo a 14% de humedad a una temperatura inferior a 30°C es seguro.

Almacenar trigo a 14% de humedad a una temperatura inferior a 30°C es seguro.

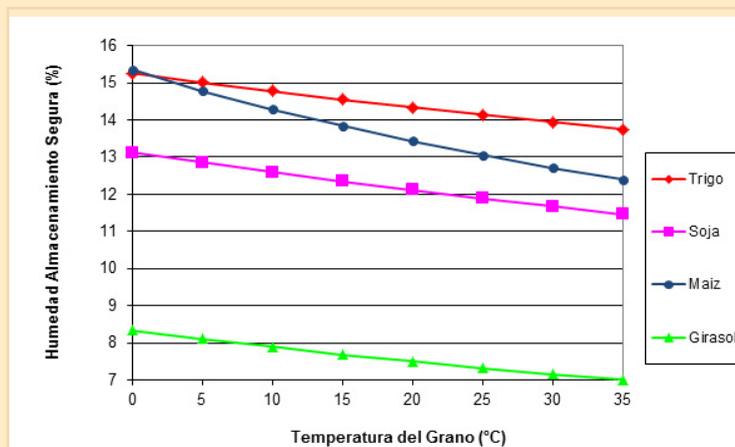


Figura 2. Humedad de almacenamiento segura de diferentes granos para rango de temperatura entre 0 y 35°C (Fuente: ASAE, 2001)

Una tecnología fundamental para monitorear las condiciones de almacenamiento de los granos es la termometría. La medición periódica de la temperatura durante el almacenamiento permitirá detectar a tiempo incrementos de temperatura y corregirlos mediante aireación, evitando daños en la mercadería.

Una tecnología fundamental para monitorear las condiciones de almacenamiento de los granos es la termometría.

3. Aireación

El proceso de aireación consiste en el movimiento forzado de aire ambiente a través de la masa de granos. Es una técnica fundamental para mantener la calidad de los granos durante su almacenamiento dado que permite:

- 1) **mantener lo más baja posible la temperatura del granel.** El proceso de aireación limita el desarrollo de los insectos, dado que reduce su actividad metabólica. Asimismo, reduce la actividad metabólica de los hongos y de los propios granos, favoreciendo el almacenamiento prolongado
- 2) **mantener uniforme la temperatura del granel.** La aireación limita el desarrollo de hongos e insectos que se disponen en focos localizados de humedad en el granel. La aparición de dichos focos localizados se debe a los movimientos convectivos de aire que ocurren con los cambios estacionales de temperatura y radiación solar. Esto favorece la actividad de hongos e insectos en sectores específicos del granel (aunque también los focos de calentamiento pueden ser consecuencia de dicha actividad)
- 3) con adecuado caudal de aire y durante un tiempo relativamente prolongado de funcionamiento de la aireación, **se puede secar algunos puntos de humedad.** Es importante destacar que el secado de trigo con aire natural es más dificultoso que en otros granos, como girasol o soja

3.1 Manejo de la aireación

Si se almacena trigo a 14%, la actividad biológica resultante será baja, por lo que no sería esperable que el grano tenga tendencia a calentarse durante el almacenamiento. En tal sentido, el principal objetivo de la aireación de grano seco es evitar o minimizar el riesgo de desarrollo de insectos. La **Tabla 3** muestra el efecto de la temperatura sobre los insectos plagas de los granos almacenados.

Tabla 3. Efecto de la temperatura sobre los insectos plagas de los granos almacenados (Fuente: Muir and Fields, 1997).

Temperatura	Efecto
Mayor a 50°C	Muerte en minutos
Mayor a 35°C	Detención del desarrollo y decrecimiento poblacional
25 - 33°C	Óptimo
17 - 25°C	Sub-óptimo
13-17°C	Desarrollo lento o se interrumpe
3 - 13°C	Muerte en días (no climatizados) – Sin movimiento
-5 a -10	Muerte en semanas o meses
-15	Muerte en minutos

El principal objetivo debería ser mantener los granos a una temperatura inferior a 25°C, fuera del rango óptimo de desarrollo de insectos y, de ser posible, por debajo de los 17°C. Por debajo de esta temperatura, la mayoría de los insectos no logran reproducirse y se interrumpe el crecimiento de la población, por lo que dejan de causar daño. Sin embargo, esta no es una medida de control, ya que para matar insectos la temperatura debería llegar a -5°C. Al mantener los granos por debajo de 17°C, además de controlar su desarrollo, se prolonga el efecto de protección de los insecticidas residuales y se reduce además la actividad de los hongos.

Para lograr este objetivo, la aireación de granos se maneja por ciclo (p. ej. tiempo que se tarda en pasar el frente de enfriado a través de toda la masa de granos). Dependiendo del caudal de aire, el ciclo de aireación puede tardar entre 100 y 200 horas de funcionamiento del ventilador. Se recomienda establecer para cada ciclo una temperatura límite de funcionamiento del ventilador, la cual debe estar en relación con las condiciones climáticas de la localidad y con la estación del año. Para el caso del trigo, teniendo en cuenta que se cosecha a principios del verano, lo ideal sería mantener la temperatura del cereal por debajo de 25°C de diciembre a marzo (primer ciclo de aireación). En marzo se podría realizar un

segundo ciclo y enfriarlo a menos de 17°C y, si se prolonga el almacenamiento, en los meses más fríos (junio-agostos) se podría realizar un tercer ciclo hasta bajar la temperatura a menos de 10°C. Teniendo en cuenta que el ventilador debería funcionar un 30-40% del tiempo, implica que cada ciclo de aireación se deberá cumplir en aproximadamente un mes de tiempo. Una vez que se logró enfriar el grano se debe sellar la boca del ventilador y mantener el trigo frío durante el resto del almacenamiento.

En caso de almacenar trigo húmedo, la actividad biológica tenderá a calentar la mercadería. Para evitar el calentamiento se deberá utilizar aireación con frecuencia para mantener la temperatura en valores normales. Posiblemente se deberá seguir utilizando aireación de manera más o menos agresiva hasta que se logre secar la mercadería.

A través de los sucesivos ciclos de aireación la humedad puede bajar (a razón de 0.2 a 0.5°C por ciclo), por lo que en tres ciclos de aireación la humedad puede bajar 0.5 a 1%. El sobresecado de los granos puede ser más importante cuantas más horas funciona el ventilador. Por ello, es importante ser muy eficiente en el uso de la aireación, no solo para consumir menos energía sino también para evitar sobresecados excesivos. La mejor forma de evitar el sobresecado es instalar un controlador automático de aireación para aprovechar al máximo las mejores horas (las más frías).

En el Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos, editado por INTA, se detalla cómo implementar una estrategia de aireación de acuerdo al tipo de grano y localidad (Abadía y Bartosik, 2013).

3.2 Refrigeración artificial

En regiones geográficas o estaciones del año excesivamente calurosas, puede resultar muy difícil e incluso imposible enfriar los granos a una temperatura inferior a 17°C por medio de aireación con aire ambiente. En Argentina, por ejemplo, esta situación se presenta en la zona centro-norte del país durante gran parte del año y también en otras regiones durante la época estival.

En estos casos, se debe recurrir a la refrigeración artificial de los granos para enfriarlos. Esta tecnología permite enfriar los granos por medio de equipos frigoríficos a expensas de un consumo eléctrico. Estos equipos acondicionan artificialmente el aire ambiente entregándolo al granel a una temperatura inferior a la ambiental. Algunos de ellos permiten además controlar el contenido de humedad del aire, para insuflarlo al silo en condiciones de equilibrio higroscópico con el grano, evitando así el sobresecado o el rehumedecimiento. En la actualidad, existe una gran variedad de equipos en el mercado con diferentes capacidades de refrigeración. La capacidad de refrigeración del equipo debe estar respaldada por una instalación eléctrica adecuada y se debe tener en cuenta que el consumo eléctrico aumentará cuanto mayor sea la temperatura ambiente, cuanto menor sea la temperatura final del grano y cuando el grano esté seco. Ensayos realizados por INTA han estimado consumos de energía de 2.6 a 4.1 kWh por tonelada.

4. Secado

El objetivo principal del secado es reducir la humedad de cosecha de granos y semillas hasta la **Humedad de Almacenamiento Seguro**, para lograr una adecuada conservación. Adicionalmente, el secado permite reducir la humedad de cosecha de los granos hasta el nivel establecido en las normas de comercialización (humedad de recibo).

La calidad final del grano puede verse afectada por múltiples parámetros del proceso de secado: temperatura excesiva del grano dentro de la secadora, tiempo de exposición demasiado prolongado a la alta temperatura, elevada tasa de secado y/o elevada tasa de enfriamiento (enfriado rápido). El tipo de daño a la calidad dependerá del grano y de uso final. En el caso particular del trigo, el parámetro a considerar es la calidad panadera. El exceso de temperatura daña las proteínas del gluten a través de un proceso de desnaturalización, el cual es irreversible (**Figura 3**). Si bien la temperatura a la cual se daña el gluten puede variar con la humedad y la variedad, en líneas generales se recomienda que la temperatura del grano dentro de la secadora nunca supere los 43°C. Desde el punto de vista práctico, la mejor manera para asegurarse que no se está excediendo la temperatura crítica es regulando la temperatura de trabajo de la secadora, la cual no debería superar los 45°C (temperatura de aire caliente).



Figura 3. Efecto del secado a alta temperatura sobre la calidad panadera de trigo. De izquierda a derecha: secado con 100% de daño, secado con 50% de daño, secado con 25% de daño, secado sin daño y testigo sin secar a alta temperatura. Fuente: INTA.

5. Control de plagas

La actividad de los insectos influye negativamente sobre la calidad de los granos almacenados, por múltiples razones:

- En Argentina está prohibido comercializar y exportar granos con insectos vivos.
- Afecta la calidad comercial del grano. Al alimentarse directamente del grano, los insectos causan reducción de peso y aumentan el porcentaje de granos dañados. Además, los restos de insectos muertos, telas y deyecciones aumentan el porcentaje de materias extrañas en el granel. Asimismo, los insectos pueden afectar algunas características relevantes del producto, por ejemplo, disminuir el poder germinativo de las semillas, entre otros.
- Las infestaciones por insectos generan condiciones propicias para el ataque de hongos.
- La utilización de productos químicos para el control de los insectos pone en riesgo la inocuidad del grano si se exceden los límites máximos de residuos.

Las consecuencias van entonces desde impedimentos comerciales hasta severas pérdidas de calidad en grandes masas de granos. La clave para proteger los granos del ataque de estas plagas es la incorporación de un enfoque de **Control Integrado de Insectos**. Este enfoque utiliza diferentes estrategias y prácticas de control para limitar el daño de los insectos de la forma más económica posible, al mismo tiempo que preserva la inocuidad del grano y minimiza el impacto ambiental. En ese contexto, se busca reducir al mínimo la utilización de insecticidas.

El **Control Integrado de Insectos** está conformado por estrategias orientadas a:

- 1) Prevenir la aparición de la plaga.
- 2) Monitorear e identificar la plaga.
- 3) Controlar la plaga evaluando las alternativas más adecuadas

En líneas generales, la prevención de los insectos plaga de granos almacenados se basa fundamentalmente en la limpieza de la planta, el tratamiento de las instalaciones vacías con insecticidas antes de recibir la nueva cosecha y el enfriamiento de los granos por medio de aireación o refrigeración. Para períodos largos de almacenamiento pueden utilizarse en forma complementaria insecticidas preventivos para proteger al grano apenas se almacena, con el objetivo de reducir la necesidad posterior de la utilización de estos químicos.

5.1 Prevenir la infestación

Las tareas de prevención de insectos son la clave para evitar la infestación y las aplicaciones de insecticidas. Por lo tanto, la prevención debe realizarse de forma sostenida en el tiempo: antes, durante y después de la llegada del grano al depósito.

5.1.1 Antes del ingreso de la mercadería

La principal medida preventiva antes del llenado de los recintos es la limpieza. En particular, se recomienda realizar los siguientes procedimientos entre dos y tres semanas antes de la llegada del grano al depósito.

- Limpiar la cosechadora, camiones, vagones, tolvas y sinfines antes de cosechar para remover restos de granos que pudieran estar infestados. Utilizar cepillos, escobas y aspiradoras.
- Limpiar los silos y celdas vacíos, incluyendo paredes, techos, vigas y tirantes, removiendo los restos de granos. Utilizar cepillos, escobas y aspiradoras. Remover posibles incrustaciones de granos de las paredes de silos y celdas.
- Limpiar los restos de granos de los ventiladores y los ductos de aireación. Si el silo posee piso perforado, también retirar los restos de granos que se encuentran por debajo de este.
- En lo posible remover los granos que se encuentran en los amortiguadores de caída por gravedad. Lo ideal sería promover entre los fabricantes de silos y transportes una mayor accesibilidad a los amortiguadores y su facilidad de limpieza.
- Limpiar los pozos de noria, túneles, plataforma de descarga hidráulica, canaletas y desagües pluviales.
- Limpiar los restos de grano que se encuentren en las inmediaciones de los silos. Esto ayudará a que los insectos presentes en el grano infestado en el exterior no ingresen al interior del silo. Se recomienda que el piso lindante al silo sea de material (no de tierra) liso y sin rajaduras para facilitar la limpieza y evitar que insectos y roedores lo utilicen como refugio.
- Colocar barreras físicas para excluir a los insectos. Puede utilizarse mallas de entramado pequeño para cubrir las bocas de los ventiladores y, si fuera necesario, en el espacio abierto que queda entre la pared del silo y el techo. Colocar la tapa de los ventiladores cuando no están funcionando.
- Mantener el área cercana a los silos libre de vegetación, ya que el pasto actúa como refugio de insectos y de roedores. Utilizar un herbicida para eliminar la vegetación en la zona más próxima al silo.
- Para eliminar los insectos que puedan haber quedado en zonas de difícil acceso a la limpieza, rociar el interior del silo incluyendo las paredes (hasta unos 5 metros de altura), las vigas, los tirantes y el piso con un insecticida residual al punto de escurrimiento (es decir, que “chorree”). También puede hacerse una aspersión en la parte interna superior y en el techo desde la puerta de inspección, previa limpieza.
- Otra práctica recomendable para este tipo de tratamientos en las instalaciones es la nebulización en frío. Este sistema posee dos ventajas sustanciales sobre una aspersión convencional: una es el tamaño de gota que, por ser mucho más pequeño, a igual volumen de producto cubre más superficie; la segunda es que el tamaño de la gota evita la necesidad de chorrear, minimizando así la acción corrosiva de los insecticidas sobre todo en paredes metálicas.
- En el exterior, rociar la base, las paredes (hasta 1 metro de altura), las bocas de los ventiladores y el suelo que rodea la base con el mismo producto que en el interior.
- Si el silo posee piso perforado y se planea almacenar grano dentro de este por un período prolongado, fumigar la zona que se encuentra debajo del piso perforado con fosfuro de aluminio, cubriendo el piso con una lámina de polietileno (de este modo se calculará la dosis de fosfuro metálico solo para el volumen que se encuentra debajo del piso; de lo contrario, se debería calcular una dosis para todo el volumen del recinto).
- Evitar agregar grano recién cosechado sobre el grano que se encuentra almacenado en el silo, ya que el grano almacenado puede actuar como fuente de infestación. De no ser posible, fumigar el silo con fosfuro de aluminio (encarpando) y asegurarse de que esté libre de insectos antes de agregar nuevo grano.
- Colocar trampas de insectos para verificar la efectividad del tratamiento de limpieza y desinfestación, tanto en el interior como en el exterior de los recintos.

- Adicionalmente, se recomienda realizar la limpieza del grano antes de cargarlo al silo para reducir la concentración de material fino en el granel, por dos razones. La primera es que el material fino es la fuente de alimento preferida por los insectos, dado que es más fácilmente atacable que el grano entero. La segunda es que el material fino dificulta el pasaje del aire durante la aireación y retrasa el enfriado, aumentando el riesgo de infestación por insectos.

5.1.2 Durante el llenado del depósito

Si se planea almacenar el grano por un lapso prolongado, pueden aplicarse insecticidas preventivos en la mercadería, también llamados protectores de grano. Estos productos matan a los insectos cuando se alimentan o caminan por el granel y ofrecen una protección prolongada del grano durante el almacenamiento, gracias a su poder residual.

Los principios activos que se aplican directamente sobre el grano son los mismos que se utilizan para instalaciones vacías, aunque varían las dosis y los métodos de aplicación.

Existen algunos recaudos para tener en cuenta para la aplicación de los protectores de grano en cuanto a la temperatura y la humedad (ya que la degradación de estos principios activos se produce por hidrólisis):

- Mantener los granos fríos aumenta el período de protección, dado que el poder residual de estos insecticidas disminuye al aumentar la temperatura. Así, la efectividad del producto mejora con la aireación o refrigeración del silo.
- Los protectores de grano no deben aplicarse previo al secado en secadora de alta temperatura dado que el calor elevado producirá la rápida volatilización del principio activo y reducirá el poder residual.
- Los protectores de grano deben aplicarse sobre grano seco (humedad de recibo o inferior). Aplicados sobre grano húmedo se degradan rápidamente.
- También, se recomienda la aplicación de fosforo de aluminio (fosfina) al ingreso de mercadería si hay una infestación evidente o bien se sospecha de infestación oculta.

5.1.3 Después del llenado del silo

Una vez que el grano ingresó en el silo, la medida de prevención de insectos más importante es el enfriado por medio de aireación o refrigeración. El fundamento de esta medida radica en que la mayoría de los insectos de granos almacenados son principalmente de origen tropical y subtropical y, en consecuencia, no pueden desarrollarse adecuadamente por debajo de los 17°C.

No obstante, debe tenerse en cuenta que la aireación no constituye un método de control 100% efectivo, puesto que algunas de estas plagas son tolerantes al frío. Por ejemplo, los gorgojos son todavía activos a 15°C y los ácaros a 5°C.

Para optimizar el proceso de aireación, se recomienda practicar el descorazonado del silo o bien el desparamado del material fino. Estos procesos aportan un doble beneficio: evitan la acumulación de material fino en la zona central (o corazón) del silo y ayudan a nivelar la superficie del granel, reduciendo la resistencia al paso del aire y mejorando la distribución del aire en toda la superficie. Por el mismo motivo, debe evitarse el sobrellenado del silo, lo cual permitirá además realizar un correcto monitoreo de los insectos.

En forma alternativa, algunos insecticidas pueden aplicarse sobre la superficie del granel una vez que el silo está lleno (método de “top-dress”).

5.1.3.1 Principios activos registrados en Argentina y clasificación

Con fines prácticos, los insecticidas de granos almacenados pueden dividirse en tres grupos: preventivos, curativos y de rápida acción. Para fines preventivos se utilizan insecticidas residuales líquidos o en polvo, capaces de evitar una infestación por un tiempo prolongado después de su aplicación. Estos se aplican sobre las instalaciones vacías antes de recibir el grano o bien sobre el grano mismo cuando se encuentra en movimiento. Los insecticidas líquidos o en polvo controlan insectos adultos y algunas fases juveniles, pero son incapaces de eliminar los estadios que se desarrollan en el interior del grano. En la **Tabla 4** se ofrece un listado detallado de los insecticidas registrados en SENASA para su utilización en granos almacenados en Argentina.

Tabla 4. Insecticidas registrados por SENASA en Argentina para granos almacenados, clasificación, principio activo y familia, y tipo de plaga que controla. Fuente: Elaboración propia según Resolución SENASA 934/2010, listado de SENASA de principios activos registrados a mayo de 2015 y marbetes comerciales.

	Principio activo / Familia	Insectos y ácaros que controla
Preventivos	Clorpirifos metil Organofosforado	Ácaro, arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio
	Clorpirifos metil + Deltametrina* Organofosforado + piretroide	Ácaro, arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio y taladrillo de los granos
	Deltametrina* + Butóxido de piperonilo Piretroide + sinergizante	Carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio, polilla de la fruta seca, polilla de la harina, taladrillo de los granos.
	Mercaptotion Organofosforado	Gusano amarillo de la harina, palomita de los cereales, polilla de la harina, tribolio confuso.
	Pirimifos metil Organofosforado	Ácaro, arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio
	Pirimifos metil + Lambdacialotrina* Organofosforado + piretroide	Ácaro, arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio y taladrillo de los granos
	Tierra de diatomeas Origen biológico	Amplio espectro
	Tierra de diatomeas + Deltametrina* Origen biológico + piretroide	Amplio espectro
Rápida acción	DDVP Organofosforado	Arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio, polilla de la fruta seca
	DDVP + Deltametrina* Organofosforado + piretroide	Arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio y taladrillo de los granos
	DDVP + Permetrina* Organofosforado + piretroide	Arañuela de la harina, carcoma, gorgojo, palomita de los cereales, tribolio y taladrillo de los granos
Curativos	Fosfuro de aluminio* Inorgánico	Gorgojo, taladrillo de los granos, palomita de los cereales, gorgojo del poroto, gorgojo del café, carcoma del tabaco, tribolio castaño, tribolio confuso, carcoma achatada, carcoma dentada, carcoma grande, polilla de la harina, polilla de la fruta seca, ácaro de la harina, otros ácaros.
	Fosfuro de magnesio* Inorgánico	Gorgojo, taladrillo de los granos, palomita de los cereales, gorgojo del poroto, gorgojo del café, carcoma del tabaco, tribolio castaño, tribolio confuso, carcoma achatada, carcoma dentada, carcoma grande, polilla de la harina, polilla de la fruta seca, ácaro de la harina, otros ácaros

* controla *Rhyzopertha dominica* (taladrillo de los granos)

Dadas las restricciones que se le aplican al trigo relacionado a los productos panificables de consumo humano directo y los límites máximos de residuos de diferentes principios activos, siempre hay que trabajar en función de la cadena para establecer cuáles son los productos permitidos, más allá de lo que está habilitado para su uso por SENASA.

5.1.3.2 Consideraciones sobre el uso de insecticidas químicos

Para fines curativos (esto es, controlar plagas ya instaladas) se utiliza principalmente la fosfina, un insecticida que actúa en forma de gas fumigante. La fosfina es capaz de eliminar todos los estadios de desarrollo del insecto, incluso los huevos y las larvas alojados en el interior de los granos, pero no ofrece protección posterior porque carece de residualidad. Si bien esto último en principio es una desventaja, respecto del control de insectos en trigo constituye una ventaja ya que no deja residuos en el grano. La fumigación con fosfina se aborda en detalle en la sección siguiente.

Cabe destacar que no todos los insecticidas son efectivos contra todas las plagas y de allí que resulte muy importante la tarea de identificación de los insectos presentes. Por ejemplo, el taladrillo de los granos (*Rhyzopertha dominica*) debe ser controlado con piretroides pues es resistente a los organofosforados; en cambio, los organofosforados son más efectivos para el control de los gorgojos (*Sitophilus spp*). En caso de una infestación con ambas especies se debe utilizar una formulación que combine los dos tipos de insecticidas.

Como insecticida de rápida acción, en Argentina suele utilizarse el DDVP. Debido a su elevada presión de vapor, el DDVP es capaz de controlar los insectos adultos en poco tiempo (volteo rápido), pero no controla aquellos estadios que se desarrollan en el interior del grano; por lo tanto, de existir huevos y larvas dentro de los granos se reanuda la infestación al cabo de algunos días. Su poder residual es escaso, en el orden de pocos días.

En Argentina, es usual que se realice la aplicación de DDVP a la carga del transporte cuando se despacha la mercadería con el objetivo de lograr una rápida mortandad de los insectos adultos y así evitar los rechazos en destino. No obstante, esta práctica se debe evitar por las siguientes razones:

- En algunas provincias argentinas está prohibida la aplicación de cualquier sustancia fitosanitaria a la carga del camión (tanto líquidos, como sólidos y fumigantes).
- Una aplicación de DDVP improvisada y a último momento, puede conducir a que no se cumpla el período de reentrada o el período de carencia. Nótese que en los marbetes comerciales se indica un período de carencia de entre 20 y 30 días para el rango de dosis normalmente utilizadas. Esto implica que un lote tratado con DDVP recién puede liberarse para el consumo entre 20 y 30 días después de la aplicación.
- El DDVP es un insecticida registrado en Argentina (posee un LMR de 5 mg kg⁻¹), pero prohibido en otros países, por ejemplo, en la Unión Europea. Para evitar el rechazo de la mercadería en tales destinos, se debe evitar la utilización de este principio activo en toda la etapa de poscosecha.

Planifique la aplicación de insecticidas (líquidos, sólidos y fumigantes) con suficiente anticipación al despacho de la mercadería. Solo así evitará problemas de insectos vivos, residuos e intoxicaciones accidentales.

5.1.3.3 Fumigación con fosfina

El fumigante más utilizado en la actualidad para el control de plagas en granos almacenados es la fosfina. La fosfina se aplica normalmente como fosfuro de aluminio que se vende comercialmente con el formato de pastillas. El fosfuro de aluminio reacciona con la humedad del aire intergranario y libera el gas fosfina. La fosfina es un gas letal para los insectos, capaz de eliminar todos sus estadios de desarrollo, incluso los de las plagas primarias, ya que difunde hacia el interior del grano. Como se profundizará luego, el éxito del tratamiento con fosfina depende de la hermeticidad del recinto y del tiempo de exposición. La fosfina no posee poder residual, de modo que no ofrece protección posterior. Por otra parte, este gas no afecta el poder germinativo de las semillas.

Una fumigación con fosfina solo puede ser realizada por personal habilitado para tal fin debido a los riesgos que conlleva el procedimiento. La fosfina es también altamente tóxica para los roedores y otros animales por lo que hay que tener mucho cuidado con su uso para no afectar

poblaciones que no sean objetivo de control. Además, es corrosivo de los metales blandos y puede encenderse espontáneamente en el aire a concentraciones superiores a 18000 mg kg^{-1} . **Antes de manipular fosfina se debe leer atentamente las recomendaciones de la etiqueta del envase y la Hoja de Seguridad.**

5.1.3.4 Claves para una fumigación exitosa: hermeticidad y dosificación

Como regla general, en Argentina se recomienda una concentración mínima efectiva de 200 mg kg^{-1} de fosfina durante por lo menos 5 días dentro de la estructura de almacenamiento (ya sea silos, celdas, silo bolsas, etc.) para eliminar adultos, huevos y larvas de insectos. Pero, ¿cómo lograr esa concentración?

La clave radica en dos factores muy importantes: la hermeticidad del recinto y la dosificación del fosfuro metálico.

La hermeticidad del recinto debe ser la máxima posible. Esto permite que se establezca la concentración letal de fosfina y que se mantenga por el tiempo necesario para eliminar todos los estadios del insecto. Si la hermeticidad es baja, la mayoría de la fosfina se escapará rápidamente (al cuarto día o antes, **Figura 4**); en este caso es posible que los insectos adultos mueran, pero los huevos, larvas y pupas reiniciarán el ciclo de infestación a los pocos días.

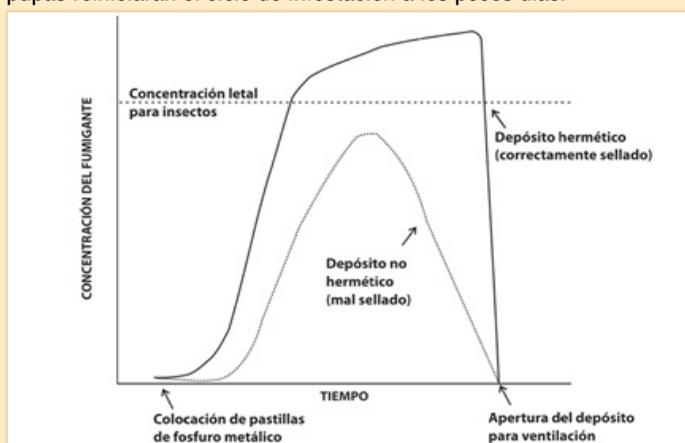


Figura 4. Evolución de la concentración de fumigante en el tiempo en un depósito hermético y en otro no hermético.

Para lograr una correcta hermeticidad se debe tapar la boca de los ventiladores y sellar todas las grietas, aberturas y roturas previamente a la aplicación de las pastillas. También es recomendable realizar el encarpado de la mercadería, el cual consiste en cubrir la superficie del granel con una lámina de polietileno de 150 micrones de espesor, como mínimo, y sellar sus bordes (por ejemplo, colocar parte del mismo grano en los bordes como contrapeso).

De no realizarse el encarpado, se deberán sellar además todas las aberturas del techo del depósito (bocas de venteo, extractores, puertas de inspección, etc.).

En silo bolsas se debe asegurar que la bolsa esté perfectamente cerrada (preferentemente termosellada de los extremos) y que no presente roturas (las cuales deberían emparcharse).

La adecuada dosificación, por su parte, es crítica para llegar a la concentración letal. Esta depende de varios factores, a saber:

- El grano a fumigar. Los diferentes tipos de grano son capaces de adsorber diferentes porcentajes de fosfina que, en consecuencia, no queda disponible para eliminar los insectos. El trigo no tiene

una alta capacidad sortiva, por lo que no se espera una retención importante del gas, contrario de lo que ocurre en girasol.

- Las condiciones ambientales: humedad y temperatura. A menor humedad de los granos y a menor temperatura se requerirá una dosificación de fosfuro metálico mayor porque la liberación del gas será más lenta. No se debe fumigar si la temperatura del granel es menor a 5°C o la humedad del grano es superior a 15% o inferior al 9%.
- La hermeticidad del recinto. A mayor hermeticidad del recinto, se requieren menores dosificaciones de fosfuro metálico, pues la fosfina quedará atrapada en el interior por largos períodos. Pequeñas fallas en la hermeticidad se pueden compensar con una mayor dosis. Si el recinto no es hermético, no se puede compensar dicha falla con una mayor dosificación de fosfuro; en ese caso, el recinto no se debe fumigar.
- El grado de infestación de la mercadería. Infestaciones severas requerirán una dosificación mayor que las infestaciones leves.
- Resistencia de la población. El uso continuo de un producto químico, incluyendo a la fosfina, genera el desarrollo de resistencia en la población de insectos de un silo o planta de acopio. Esta situación se agrava cuando se usa el producto de manera incorrecta (subdosificación). Como resultado de ello, para lograr el control de la población de insectos cada vez se requiere la utilización de dosis más altas.

La dosificación de fosfuro metálico que figura en los marbetes para granos almacenados en silos y celdas está en un rango entre 3 y 6 pastillas de 3 g por tonelada de grano. Como se ha dicho, en condiciones más favorables (recintos muy herméticos, granos de baja adsorción, adecuada humedad y temperatura del grano, infestación leve) se recomienda utilizar las dosis más bajas del rango. En condiciones más adversas es posible utilizar las dosis mayores del rango, siempre respetando el máximo permitido.

Medir la concentración de fosfina dentro del depósito es la única forma de saber si se ha alcanzado la concentración letal por el tiempo suficiente (200 mg kg⁻¹ por cinco días) y, por lo tanto, la fumigación resultará efectiva para el control de la infestación. En otras palabras, dosificar según la recomendación del marbete es fundamental para un tratamiento exitoso, pero no garantiza el control de la infestación. Si no se mide, no se sabe.

Para mayores detalles sobre control de plagas, consulta el Manual de buenas prácticas en la poscosecha (Abadía y Bartosik, 2013).

6. Almacenamiento en silo bolsa

En líneas muy generales, **el éxito del almacenamiento en bolsas plásticas radica fundamentalmente en dos factores: embolsar grano seco y mantener la integridad física de la bolsa durante todo el almacenamiento.** La baja humedad evitará el desarrollo de hongos y el deterioro de calidad asociado a estos. La integridad física de la bolsa, por su parte, evitará la entrada de agua y por lo tanto previene el humedecimiento del grano y, al mismo tiempo, impide la entrada de insectos. De esta forma, si el grano se embolsa libre de infestación, será posible preservarlo en dicha condición durante todo el almacenamiento sin necesidad de aplicar insecticidas.

Si bien en la actualidad Argentina es líder en el desarrollo y uso de esta tecnología, se suelen cometer errores en su implementación que ponen en riesgo la calidad de la mercadería almacenada. Se destacan por su frecuencia la aparición de bolsas armadas en zonas anegables o sobre rastros, bolsas mal cerradas, flojas, rotas y que contienen grano excesivamente húmedo.

Aunque algunas problemáticas son comunes a las observadas en los sistemas tradicionales de almacenamiento muchas son específicas del silo bolsa. A continuación, se ofrecen algunas recomendaciones para obtener la máxima calidad e inocuidad del grano almacenado en bolsas plásticas.

6.1 Elección del terreno y planificación de la ubicación de las bolsas

El armado del silo bolsa requiere planificación y el primer aspecto a tener en cuenta es el lugar de emplazamiento. Lo óptimo es destinar un sector permanente en donde se emplazarán las bolsas durante las sucesivas campañas. La posibilidad de utilizar un solo lugar simplificará el monitoreo y los cuidados posteriores, como mantenerlo libre de malezas e implementar un cerco eléctrico para evitar el daño que ocasionan animales. Adicionalmente, se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:

- El terreno donde se ubicarán las bolsas plásticas debe ser elevado y con una leve pendiente para evitar anegamientos, ya que cualquier rotura o un mal cierre implicaría la entrada de agua y la posterior pérdida de calidad (**Figura 5**). Además, si el sitio es anegable, no se podrá acceder para extraer la mercadería. El lugar seleccionado también deberá estar alejado de árboles y cortinas forestales para disminuir el riesgo de roturas por caída de ramas.



Figura 5. Silo bolsa emplazado en un terreno anegable. Fuente: INTA.

- El terreno donde se ubicarán las bolsas debe estar limpio, sin malezas ni rastrojos que puedan perforar el plástico en la base (**Figura 6, der. arriba**). Por lo tanto, si fuera necesario se debe realizar una pasada de algún implemento tipo pala o rabasto (**Figura 6, Izq.**). Esta práctica además permite darle una leve pendiente al terreno para evitar anegamientos y mejora notablemente la capacidad de frenado de la embolsadora, lo que resulta en una bolsa más pareja (**Figura 6, der. abajo**). No es necesario remover el suelo con una herramienta de labranza pesada; esto provocaría una pérdida de adherencia y capacidad de frenado de la máquina embolsadora, que redundaría en problemas para lograr un correcto llenado de esta.



Figura 6. Emplazamiento de las bolsas en terreno con rastrojos. Sup., der.: bolsa emplazada sobre rastrojo sin alisar. Izq.: pala utilizada para el alisado del terreno. Inf. Der.: bolsa emplazada sobre terreno alisado. Fuente: INTA.

- En terrenos con pendientes pronunciadas debe trabajarse en sentido ascendente para que el llenado se realice de manera controlada y homogénea. Esta práctica debe estar acompañada con todos los recaudos posibles para que el final de la bolsa quede cerrado herméticamente. Si esto no ocurre, es posible que en algún momento del almacenaje se produzca la entrada de agua a la bolsa que, al tener la pendiente a favor, puede fluir por encima de la cubierta plástica. La orientación de la bolsa debe ser en lo posible norte-sur, para que reciba a lo largo del día la misma cantidad de radiación en ambos laterales, disminuyendo así los riesgos de migración de humedad en aquellos casos donde se almacenó grano húmedo.
- Si en un mismo playón se planea ubicar varias bolsas, es recomendable disponer las bolsas de a dos, o a lo sumo agrupadas de a cuatro. Entre los silos bolsas de cada grupo debe existir el espacio suficiente para que un operario pueda acceder a cualquier bolsa e inspeccionar su integridad física. Entre grupos de bolsas deberá dejarse la distancia mínima que permita ubicar la tolva o camión durante la extracción del grano (en la periferia del grupo). Esto permitirá establecer planes de extracción de acuerdo a un sistema de monitoreo y, ante un problema importante de cualquiera de las bolsas se podrá acceder a esta sin inconvenientes

6.2 Confección de la bolsa

En la etapa de la confección de la bolsa se deben extremar todos los recaudos para lograr un correcto llenado y partir de una adecuada hermeticidad inicial. Esto permitirá reducir la incidencia de insectos (y por ende la necesidad de aplicación de insecticidas) y el riesgo de desarrollo de hongos y micotoxinas, manteniéndose así la calidad e inocuidad del grano con mínimas alteraciones. Para lograr lo antedicho:

- Sellar perfectamente los extremos de la bolsa para evitar la entrada de aire, agua e insectos. Para ello recomienda el uso del termosellado (**Figura 7, der.**) o de cintas engomadas específicas (ej. Adhesilo). Una opción menos recomendable es el uso de tablas, ya que estas no permiten un cierre completamente hermético con facilidad (**Figura 7, izq.**).

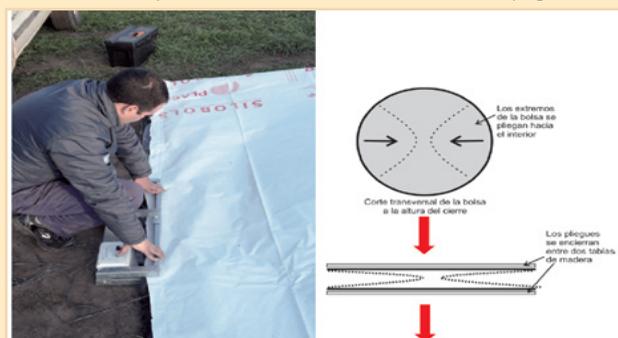


Figura 7. Métodos recomendados para el cierre de la bolsa. Izq.: fotografía del procedimiento de termosellado, mediante una máquina termoselladora. Der.: esquema del cierre por tablas.

- Levantar la máquina embolsadora (dependiendo de la máquina, entre 15 a 30 cm del suelo) y luego efectuar el llenado estirando la bolsa tanto como la regla de estiramiento impresa en la bolsa lo permita para eliminar la mayor cantidad de aire de su interior.
- Extremar los recaudos para lograr una bolsa bien pareja, no dejar baches (depresiones) en la parte superior, por su propensión a la condensación de humedad, sobre todo si se almacenan granos húmedos. Para esto se requiere el correcto funcionamiento de los frenos de la embolsadora, un terreno firme y pareja y que los pliegues de la bolsa estén bien sujetos.
- Antes de embolsar cada partida de granos que proviene del campo, es imprescindible determinar los parámetros más importantes por cada tolva, tal como humedad, materias extrañas, etc., y registrar esa información. Estos datos permitirán asignar diferentes niveles de riesgo de deterioro entre bolsas e incluso delimitar sectores dentro de la misma bolsa y, por lo tanto, orientarán el criterio del monitoreo.

6.3 Monitoreo de la calidad del grano almacenado

Una vez confeccionada correctamente la bolsa es importante realizar un monitoreo sistemático del sistema de almacenamiento para prevenir, diagnosticar y solucionar problemas antes que se afecte la calidad del grano almacenado. Como se detallará a continuación, el tiempo que puede almacenarse un determinado grano de forma segura depende de múltiples factores (como humedad, calidad inicial, temperatura ambiente, hermeticidad del sistema de almacenamiento) y, por lo tanto, en la medida que el almacenamiento se aparte de las condiciones óptimas, mayor deberá ser la frecuencia de muestreo para detectar cuanto antes el deterioro de calidad.

El monitoreo del sistema de almacenamiento puede dividirse en dos aspectos complementarios: de la integridad física de la bolsa y de la calidad del grano almacenado. El monitoreo de la integridad física de la bolsa es fundamental ya que durante el almacenaje es común que se produzcan roturas del plástico de la bolsa por diferentes causas (clima, animales, descuidos en la confección o en el muestreo, entre otros) que comprometen la hermeticidad del sistema (**Figura 8, izq.**). El monitoreo periódico permite detectar a tiempo las roturas y sellarlas. Además, es útil determinar causas y frecuencia de roturas para cuantificar el problema y planificar soluciones (ejemplo: colocar cerco eléctrico para animales o cebos en el caso de roedores, **Figura 8, der.**).



Figura 8. Izq.: Silo bolsa con roturas causadas por animales. Der.: cerco eléctrico para evitar que los animales ataquen el silo bolsa. Fuente: INTA.

Por su parte, el objetivo de monitorear la calidad de los granos es obtener información para tomar mejores decisiones. Aunque visualmente la bolsa no presente ninguna alteración, la calidad del grano puede verse afectada por otros factores de modo que la frecuencia del muestreo de calidad del grano deberá aumentar conjuntamente con el nivel de riesgo.

El factor de mayor importancia es la humedad del grano. El riesgo de deterioro del grano es alto si la humedad es superior a la tolerancia de recibo (**Tablas 5 y 6**). Visto de otro modo, el tiempo de almacenamiento seguro de grano embolsado seco será mayor al del grano embolsado húmedo. La presión de muestreo debe ser mayor en caso de grano húmedo.

Tabla 5. Nivel de riesgo para el almacenamiento de soja, maíz, trigo y girasol con diferentes contenidos de humedad.

Tipo de grano	Bajo*	Bajo - medio	Medio - alto
Soja – maíz - trigo	hasta 14 %	14 – 16 %	mayor a 16%
Girasol	hasta 11 %	11 – 14 %	mayor a 14 %

* El almacenamiento seguro de semillas debe realizarse entre 1 y 2 % por debajo de los valores de la tabla

Tabla 6. Nivel de riesgo para el almacenamiento de soja, maíz, trigo y girasol con diferentes contenidos de humedad según el plazo de almacenaje.

Tipo de grano	Bajo	Bajo - medio	Medio - alto
Soja – maíz – trigo: 14 % Girasol: 11 %	6 meses	12 meses	18 meses
Soja – maíz – trigo: 14 - 16 % Girasol: 11 – 16 %	2 meses	6 meses	12 meses
Soja – maíz – trigo: > 16 % Girasol: > 16 %	1 mes	2 meses	3 meses

6.4 Consideraciones para el embolsado de trigo

Como se mencionó en la sección 1, el trigo tiene alta densidad (peso hectolítrico), por lo que en un silo bolsa (2.74 m de diámetro y 60 m de largo) se pueden almacenar entre 180 y 200 t de trigo, mientras que en la misma bolsa solo se almacenarán 120 t de girasol.

Desde el punto de vista del almacenamiento, el grano de trigo posee parámetros de calidad que deben observarse para evaluar su conservación, entre los que podemos citar grano picado por insecto, calidad panadera, peso hectolítrico, porcentaje de grano dañado por hongo y desarrollo de olores (**Tabla 7**). Los tres últimos rubros están relacionados a la actividad de los hongos, por lo que implican que la mercadería fue almacenada húmeda o que la bolsa tiene alguna rotura por donde ingresa humedad. El desarrollo de hongos tiene implícito el riesgo de desarrollo de micotoxinas, aspecto de suma relevancia en el caso del trigo por tratarse de un producto de consumo humano directo. El desarrollo de hongos puede ser generalizado, si la mercadería se almacenó a un contenido de humedad demasiado alto (por encima de 14%, que es la humedad de almacenamiento segura), o localizado si ingresó agua de lluvia a través de una rotura o un cierre deficiente. En este caso, aunque el daño en la mercadería afecta a una pequeña porción de la masa de granos, el desarrollo de olores objetables puede afectar una porción de granos significativamente mayor, razón por la cual se deben extremar los cuidados para lograr y mantener una alta hermeticidad en la bolsa.

Tabla 7. Evolución de parámetros de calidad de trigo a diferentes humedades durante 150 días de almacenamiento en silo bolsa.

Momento de muestreo	Peso hectolítrico (kg/hl)	Poder germinativo (%)	Parámetros de calidad panadera					
			Gluten (%)	W	P/L	Abs. ^a	VM (cm ³) ^b	VE ^c
Trigo seco (12.5%)								
Inicial	82.4	93.0	30.2	282	0.9	61	620	4.3
Final (150 días)	82.0	87.0	27.8	313	1.1	62	655	4.5
Trigo húmedo (16.4%)								
Inicial	78.7	95.0	29.8	288	1.0	61	675	4.7
Final (150 días)	77.3	40.0	22.6	283	2.6	61	578	4.0

Referencias: a = absorción de agua, b = volumen de masa, c = volumen específico

El trigo se cosecha a fin de primavera o principios del verano. Esto implica que la mercadería se embolsará a una temperatura entre 25 y 40°C y que el régimen de temperatura durante los primeros meses de almacenamiento será elevado, tendiendo el grano a seguir la temperatura promedio ambiente del

aire de los meses de diciembre a febrero (entre 25 y 35°C dependiendo la región geográfica). **Debido al alto régimen de temperatura de los cultivos embolsados a principio del verano (trigo, cebada, etc.), no es posible que se puedan almacenar húmedos ni siquiera por un corto periodo de tiempo sin perder calidad.** Esta es una diferencia muy importante con los cultivos de cosecha gruesa, que se cosechan en el otoño, con un régimen de temperatura menor, y que permiten el almacenamiento de grano húmedo por unos meses sin mayores riesgos. En consecuencia, se recomienda almacenar trigo en silo bolsa estrictamente seco.

Otro factor para considerar es la rotura del silo bolsa por diferentes animales, por ejemplo, roedores, peludos, etc. Aquí se deben extremar los cuidados de combinar prácticas de manejo que minimicen las roturas, por ejemplo, mantener los alrededores del silo bolsa limpios (pasto corto, minimizar la caída de grano durante el llenado de la bolsa), colocar un cerco eléctrico, uso de repelentes, etc. También es importante sellar bien los extremos del silo bolsa (p. ej., termosellado, cintas de sellado o uso de tablas) para evitar el ingreso de animales.

Conociendo los parámetros iniciales del grano (humedad, peso hectolítrico, calidad panadera, etc.) se podrá segregar el grano en el silo bolsa de acuerdo a las posibilidades de venta y el riesgo de almacenamiento. Luego se requiere hacer un seguimiento de la calidad de acuerdo a un sistema de monitoreo. Este puede hacerse mediante la extracción de muestras y análisis de laboratorio (cotejando con los valores iniciales) o bien por sistemas indirectos que indican la actividad respiratoria dentro del silo bolsa (por ejemplo, el nivel de CO₂).

El tratamiento con fosfina para el control de insectos en silo bolsa es una práctica utilizada ya que combina las virtudes de un fumigante de bajo costo y prácticamente libre de residuos con un sistema de almacenamiento hermético. Las dosis varían con el tipo de grano (adsorción) y hermeticidad del silo bolsa. Con un silo bolsa bien confeccionado y con cierre hermético se podrían utilizar dosis cercanas a 1.5 pastillas (1 g fosfina c/u) por tonelada de maíz, trigo o cebada. La fosfina se puede dosificar durante el embolsado del trigo (distribuyendo las pastillas a través de la vena de grano que ingresa a la tolva de la embolsadora) o posteriormente al embolsado (dosificándose cada 5 metros de silo bolsa por medio de un tubo plástico insertado diagonalmente en su interior). Para mayor información consultar el libro Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa. Resultados de Investigación 2009-2013 (Cardoso et al., 2014).

Además de la fosfina se ha evaluado el control de insectos en silo bolsa mediante la inyección de otros fumigantes, como el CO₂, con muy buenos resultados.

7. Sanidad e inocuidad

Los granos, como insumos del proceso de producción de alimentos, se consideran inocuos si no causan daño a los animales y las personas que los consumen. **Las dos causas de contaminación que típicamente resultan con pérdidas de inocuidad de los granos están referidas a la presencia de micotoxinas y de residuos de plaguicidas.**

El consumo de granos contaminados puede derivar en daño a la salud de los animales y las personas o causar pérdidas económicas en la producción de carnes, leche y huevos. A su vez, existen fuertes regulaciones respecto de los límites máximos permitidos, los cuales no son uniformes entre los diferentes países, resultando en serios problemas en la comercialización con pérdidas para países productores de alimentos.

El mundo demanda granos cada vez más sanos e inocuos, por lo que las regulaciones de los países compradores impactan en la forma en que los países productores implementan su cadena logística

y de comercialización, debiendo adaptarse para satisfacer las crecientes demandas impuestas por los consumidores globales.

Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por ciertos tipos de hongos. La proliferación de micotoxinas ocurre cuando el ambiente favorece el desarrollo fúngico e incrementan su importancia bajo ciertas circunstancias, como las condiciones de stress. La contaminación comienza a nivel de campo (pre cosecha) y puede continuar durante el almacenamiento (poscosecha) cuando no se utilizan buenas prácticas. Una vez que un lote de granos está contaminado con micotoxinas no es posible eliminarlas de manera práctica, lo cual limita las posibilidades de uso final de la mercadería y genera serios inconvenientes para su comercialización.

La contaminación con residuos de plaguicidas es una problemática muy diferente. En el caso de la poscosecha de granos, la principal causa de contaminación química es el uso de insecticidas. En este caso, los diferentes países establecen **Límites Máximos de Residuos (LMR)** para cada principio activo y grano, dependiendo básicamente en la peligrosidad del principio activo. La contaminación (presencia de residuos por encima del LMR) puede ocurrir por el uso de productos indebidos (ej. uso en la poscosecha de insecticidas aprobados para su uso en cultivos extensivos), por sobredosisificación de insecticidas permitidos en la poscosecha, por duplicación de dosis en la poscosecha o por no respetar los tiempos de carencia. Al igual que en el caso de las micotoxinas, una vez que un lote de granos se contaminó con residuos de plaguicidas se generan serias limitaciones en las posibilidades de uso final del producto e inconvenientes en su comercialización.

En almacenamiento de granos, la prevención de contaminación con micotoxinas y plaguicidas se basa en la implementación de las **Buenas Prácticas (BP)**. Para el caso de las micotoxinas, las BP comienzan con la selección de variedades resistentes al ataque de hongos, prácticas agronómicas adecuadas (ej. rotación de cultivos, fertilización balanceada, evitar las condiciones de estrés, etc.), ajuste del equipo de cosecha para eliminar granos severamente dañados de baja densidad, y manejo adecuado en la poscosecha (especialmente secado a humedad de almacenamiento segura). En el caso de los plaguicidas, las BP se basan en la sanidad de las instalaciones de almacenamiento y el uso de la aireación y/o refrigeración artificial como medidas preventivas al desarrollo de insectos, y a la implementación de un programa de manejo integrado de plagas. Para ello es necesario la capacitación y concientización de responsables de aplicación para que solamente utilicen productos permitidos y en las dosis aconsejadas. A su vez, para evitar aplicaciones repetidas es fundamental contar con un registro de aplicaciones que se pueda transmitir al resto de la cadena (trazabilidad).

Es importante destacar que, durante el procesamiento de los granos en alimentos, los residuos de plaguicidas y micotoxinas se concentran en algunos productos. Particularmente en el caso del trigo la concentración de residuos y micotoxinas se produce en la cubierta de la semilla, la cual se separa del resto del grano en el momento de la molienda, conformando la fracción denominada afrechillo.

La inocuidad de los granos es una condición necesaria para proteger la salud de la población y acceder a los mercados. Se dispone de tecnologías para la implementación de buenas prácticas de cultivo y poscosecha, que deberían ser aplicadas en sistemas que mejoren la trazabilidad a fin de reducir la contaminación con micotoxinas y plaguicidas a los niveles considerados como seguros.

Agradecimientos

Este trabajo se pudo realizar gracias a los aportes de los proyectos de INTA PNAlyAV - 1130023 - “Tecnologías de agricultura de precisión para mejorar la eficiencia de la producción agropecuaria” y PNCYO-1127022 – “Identificación de situaciones de riesgo, impacto en los territorios y medidas de manejo para reducir la contaminación con productos fitosanitarios en grano de cereales y oleaginosas”.

Referencias

- Abadía, B. y Bartosik, R. 2013. Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos. Primera. Ed. INTA, ed., Buenos Aires, Argentina. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf
- ASAE. 2013. ANSI/ASAE D241.4 FEB03-Density, Specific Gravity, and Mass-Moisture Relationships of Grain for Storage., pp. 545–548.
- ASAE. 2001. ASAE D245.5 JAN01-Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products., pp. 537–550.
- Cardoso, L.; Bartosik, R.; De la Torre, D.; Abadía, B.; Santa Juliana, M. eds. 2014. Almacenamiento de Granos. En Silo Bolsa. Resultados de Investigación 2009-2013. Ediciones INTA. Balcarce. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/almacenamiento-de-granos-en-silo-bolsa-resultados-de-investigacion-2009-2013>
- Lacey, J.; Hill, S.T. y Edwards, M.A. 1980. Microorganisms in stored grains : their enumeration and significance. *Tropical Stored Products Information*, 39, pp. 19–33.
- Maciel, G. et al., 2015. Effect of oil content of sunflower seeds on the equilibrium moisture relationship and the safe storage condition. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(2), pp. 248–258. Disponible: <http://www.cigrjournal.org>
- MWPS-22. 1980. Low temperature and solar grain drying handbook. University of Missouri, Extension. Columbia, Missouri, EE.UU.
- Navarro, S. y Noyes, R.T. 2001. *The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management*, CRC.
- Pixton, S.W. y Warburton, S. 1971. Moisture content relative humidity equilibrium, at different temperatures, of some oilseeds of economic importance. *Journal of Stored Products Research*, 7(4), pp. 261–269.
- SAGyP. 1994. Normas de Calidad, Muestreo y Metodología para los granos y Subproductos–N.º 1075/94., p. 195.