

Guía para el manejo de maíz húmedo en postcosecha

de la Torre, D. A.; Cardoso, M.L.; Depetris, G.J. y Bartosik, R. E.
EEA INTA Balcarce, Ruta 226 km 73,5, Balcarce (7620), Bs.As., Argentina.

delatorre.diego@inta.gob.ar; cardoso.marcelo@inta.gob.ar;
depetris.gustavo@inta.gob.ar; bartosik.ricardo@inta.gob.ar

La conservación del maíz desde la cosecha hasta su uso final debe realizarse con la menor pérdida de calidad posible. La calidad se refiere a los atributos del grano que le dan valor para su uso final. Por ejemplo, si se destina a la molienda, la integridad física es fundamental; si es para forraje, su valor nutricional y bajo contenido de micotoxinas son claves; para semillas, su poder germinativo es esencial; y para consumo humano, la inocuidad del producto también es crucial (concentración de micotoxinas y pesticidas menor a las tolerancias establecidas). Durante el almacenamiento, la principal causa de deterioro de la calidad es el desarrollo de microorganismos. Estos se activan a cierta humedad del grano (humedad en equilibrio con 70% de humedad relativa – ver Tabla 1), y a mayor humedad del grano, más rápido se deteriora. Es importante tener en cuenta que, si los granos se almacenan muy húmedos, también incrementa el riesgo de producción de micotoxinas por ciertas especies de hongos que proliferan en el granel. Por ello, la técnica de conservación universal es el secado, manteniendo el grano con una humedad lo suficientemente baja para evitar el desarrollo de hongos.

Cuadro 1 - Contenido de humedad (CH) equivalente a HR de equilibrio de 70 (inicio de actividad microbiana) y 84% (inicio de producción de micotoxinas) a 20°C para diferentes granos. Valores obtenidos con la aplicación de Aireación y Almacenamiento de Granos del INTA-ISU (Maier y Bartosik, 2020) utilizando los valores de humedad relativa de equilibrio del 70 y 84% y las ecuaciones y parámetros de relación de humedad de ASAE (2001)

Grano	CH (%) equivalente a HR de 70% (almacenamiento seguro)	CH (%) equivalente a HR de 85% (desarrollo micotoxinas)
Sorgo	15,9	18,6
Cebada	15,3	18,6
Trigo	14,9	18,1
Arroz	14,6	17,4
Maíz	14,0	16,6
Soja	12,8	16,5
Colza	9,2	13,8
Girasol	8,3	12,5

Además del control de la humedad, la temperatura es otro aspecto clave a considerar. Si se almacena el grano frío se reduce la actividad biológica de los microorganismos. A su vez, mantener el grano por debajo de 17°C limita severamente el desarrollo de insectos. La presencia de impurezas o materias extrañas también es indeseable, ya que pueden contener más humedad y favorecer el desarrollo de microorganismos e insectos. Por último, los granos afectados por patógenos tienen menos defensas contra agentes biológicos dañinos que los sanos.

En definitiva, para conservar los atributos del maíz durante su almacenamiento el grano debe estar: **SECO** (contenido de humedad igual o inferior a 14,5%), **FRIO** (17°C o inferior), **LIMPIO**

(sin materias extrañas, grano partido etc.) y **SANO** (poca incidencia de enfermedades, fundamentalmente fúngicas).

La condición inicial del grano junto al sistema de almacenamiento usado definirá el tiempo de almacenamiento seguro (TAS), el tiempo que puede almacenarse antes de perder sus atributos de calidad, según su destino final. En función de estos factores, las recomendaciones de manejo en postcosecha son las siguientes:

Previo a la cosecha

Es crucial prepararse adecuadamente para la cosecha. Esto incluye asegurarse de que los silos estén limpios por dentro, especialmente los pisos, conos y conductos de aireación, sin residuos de granos ni materiales extraños. Una vez limpios, se puede aplicar un insecticida residual aprobado para granos almacenados para controlar infestaciones persistentes en las instalaciones. Es importante llevar un registro de los silos disponibles y su calidad de aireación para asignar los silos con mejor aireación (aireación reforzada con más de $0,2 \text{ m}^3$ de aire por minuto y por tonelada [$\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{t}^{-1}$]) para la mercadería más húmeda. Se debe planificar junto al responsable de calidad, recepción y personal de la planta la estrategia de manejo según la condición de la mercadería recibida. En resumen, se debe establecer un protocolo de trabajo basado en la humedad y calidad de la mercadería recibida (por ejemplo, definir qué nivel de humedad se considera seco, cuál se almacena como húmedo, a partir de qué humedad se envía a secadora y qué silos se destinan para cada caso).

Recepción de la mercadería

Tanto en el almacenamiento a campo como en el acopio, es crucial tener un conocimiento preciso de la humedad de la mercadería antes de su almacenamiento. Esto es fundamental para tomar decisiones adecuadas y evitar riesgos innecesarios. Se recomienda utilizar medidores de humedad en buen estado y calibrados antes del inicio de la campaña. Además, es importante realizar un muestreo riguroso para obtener muestras representativas y registrar correctamente la humedad al momento del ingreso. El responsable de la recepción debe trabajar en estrecha coordinación con el responsable de la planta para garantizar que se tomen las decisiones correctas conforme a los procedimientos establecidos antes de la cosecha. Esto incluye las prácticas de acondicionamiento y la asignación del destino del grano dentro de la planta de acopio.

Acondicionamiento por humedad en silos

Si el maíz ingresa con hasta un 16,5% de humedad, puede airearse en un silo con aireación reforzada. Este sistema puede reducir un punto de humedad en aproximadamente un mes, lo que permite el almacenamiento seguro del grano. Por ejemplo, si se cosecha maíz con un 15,5% de humedad y se almacena en un silo con una aireación reforzada de $0,5 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{t}^{-1}$, es posible reducir su humedad a un 14,5% (humedad de recibo) antes de que los hongos comiencen a desarrollarse y dañar el grano. Para lograrlo, es importante que el ventilador esté encendido la mayor parte del tiempo hasta reducir la humedad. Solo habría que apagarlo cuando la humedad relativa ambiente sea superior a 80%.

Mantenimiento de grano húmedo previo al secado

Maíz con alta humedad, por ejemplo 18%, no puede almacenarse a largo plazo en silos. Además, la secadora no suele secar el grano al mismo ritmo con el que llega la mercadería húmeda a la planta. Por lo tanto, es necesario destinar un silo para recibir la mercadería húmeda que luego será secada. Este silo debe tener una aireación reforzada ($0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$). La aireación debe mantenerse de manera continua, excepto en caso de lluvias o lloviznas. El grano húmedo respira muy intensamente, generando calor y afectando la calidad del grano. Mantener la aireación constante ayuda a mantener la temperatura del grano cercana al ambiente, conservando su calidad hasta que pueda ser secado. En ocasiones, cuando la cosecha tiene una humedad muy alta, es recomendable realizar una doble segregación del grano húmedo. Por ejemplo, se puede destinar un silo para el grano con humedad entre 17 y 19%, y otro silo para el grano con humedad superior al 19%. Esta práctica permite gestionar mejor el riesgo y optimizar el funcionamiento de la secadora. Mantener una humedad de ingreso constante a la secadora facilita su regulación, evitando variaciones bruscas que reduzcan su eficiencia. Además, cuando se necesita secar mercadería muy húmeda, por ejemplo, con más del 20% de humedad, puede ser conveniente realizar el secado en dos pasadas para obtener mejores resultados.

Mezclado

Si hay instalaciones adecuadas y una cantidad suficiente de maíz seco, se puede mezclar el grano húmedo (CH menor o igual a 16,5%) con el grano seco para obtener un lote con un contenido de humedad promedio seguro para almacenarlo. En el lote de granos mezclados, los granos más húmedos pierden humedad y los más secos la absorben, pero este intercambio no es perfecto y puede demorar varios días. Por lo que es importante evitar mezclar lotes con una diferencia de más de 3 puntos porcentuales de humedad y /o utilizar grano muy húmedo en la mezcla (mayor a 16,5%). De no respetar estas premisas es probable que los granos más húmedos de la mezcla sufran pérdida de calidad por desarrollo de hongos: “verdín”, pérdida de peso hectolítrico y calentamiento, lo que podría comprometer la conservación a mediano plazo de todo el lote.

Secado en silo

En algunos campos se disponen de sistemas de secado en silos, los cuales se conocen con “silos secadores”. Estos silos secadores permiten el secado de maíz de hasta 22% de humedad con aire natural o mínimamente calentado, hasta una humedad final de 14,5% en aproximadamente un mes. Estos silos tienen características de diseño específicas que los diferencian de los silos convencionales. Cuentan con un caudal de aire diez veces superior al de una aireación estándar ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$), un sistema de distribución de aire bien dimensionado (generalmente un piso plano completamente perforado), un quemador y un controlador automático del sistema. En su configuración típica la capacidad de estos silos va desde 100 hasta 300 toneladas de capacidad, y pueden funcionar tanto con gas (natural o propano) como con resistencias eléctricas. El NTA ha desarrollado un Silo Secador enfocado principalmente en el secado de granos con valor diferencial, como maíz pisingallo, semillas especiales y maíz para la industria. Sin embargo, también puede ser una alternativa viable para productores de maíz a pequeña y mediana escala.

Secado alta temperatura

La opción más común para secar el grano es mediante secadoras de flujo continuo, alta temperatura (aproximadamente 90°C) y alta capacidad (toneladas por hora). Estas secadoras son valoradas por su capacidad para secar el grano de manera rápida. Sin embargo, un calentamiento excesivo del grano o una extracción de humedad muy acelerada pueden afectar permanentemente la calidad del grano. Para prevenir este problema, es crucial asegurarse de

que la temperatura y la velocidad de secado del grano no excedan los límites indicados en el Cuadro 2, según el destino final del maíz. Por otra parte, como se indicó, segregar la humedad de la mercadería, para abastecer la secadora con una humedad de ingreso más homogénea facilita su regulación. Por otro lado, es importante respetar la tasa de secado máxima (Cuadro 2) para optimizar la eficiencia de la secadora y reducir el daño en la calidad de la mercadería.

Cuadro 2. Temperatura del grano de maíz y tasa de secado máximas para no afectar su calidad de acuerdo con el destino final.

Destino final	Temperatura máxima del grano	Tasa de secado máxima
Semilla & Molienda Seca	38-43°C	Menos de 5 %/hora
Molienda Húmeda	54-60°C	Menos de 5 %/hora
Forrajero	71-82°C	Sin límite

Monitoreo

Una vez acondicionado el grano y dispuesto en un silo para su almacenamiento definitivo es importante monitorear su estado de conservación para detectar el desarrollo de focos de calentamiento (actividad biológica) causados por, entrada de agua, infestación de insectos, condensación de humedad, entre otras causas. El estándar para monitorear el estado de los granos consiste en la revisión periódica de la temperatura indicada por los cabales de termometría, en busca de incrementos de temperatura puntuales. Recientemente INTA lanzó un sistema de monitoreo complementario a la termometría que mide la concentración de CO₂ dentro del silo como indicador de actividad biológica (<https://co2ntrol.com.ar/>). Este sistema es muy sensible y se anticipa a las pérdidas de calidad adaptándose a silos de cualquier tamaño.

Almacenamiento en silo bolsa (sistema hermético)

Al momento de almacenar maíz húmedo en silo bolsa deberemos tener dos premisas claras respecto a este sistema de almacenaje.

1. **HUMEDAD Y HERMETICIDAD:** mediante un correcto manejo, el silo bolsa puede lograr una alta hermeticidad, lo que constituye una ventaja para almacenar grano húmedo. Si el maíz se encuentra por debajo de 17% de humedad, en el silo bolsa se desarrollarán principalmente hongos. En un ambiente hermético la actividad respiratoria reducirá los niveles de oxígeno hasta valores próximos a la anoxia y la actividad de los hongos se restringirá. Mientras que esta situación persista, se obtendrá un ambiente beneficioso para la conservación. En los sitios donde esto no se logre (sitios no sellados del silo bolsa o con roturas) el oxígeno entrará desde el exterior permitiendo que el desarrollo fúngico continúe. Con maíz con un contenido de humedad superior a 17%, otros microorganismos pueden desarrollarse (levaduras y bacterias) aún en ausencia de oxígeno, por lo que los efectos de la hermeticidad no serán efectivos.

Una buena hermetización del silo bolsa también evitará el ingreso de agua al granel. Para lograrla se debe: 1) armar la bolsa en un terreno alto, nivelado, con ligera pendiente. ; 2) limpiar el terreno de malezas y residuos del cultivo anterior (evitar roturas en la base de la bolsa); 3) termo-sellar el inicio y cierre de la bolsa; 4) monitorear regularmente y emparchar todas las roturas y/o perforaciones (restaurar hermeticidad); 5) instalar cerco perimetral, implementar control de roedores, mantener el pasto corto y el terreno limpio en las

inmediaciones (evitar la presencia de animales en los alrededores y minimizar riesgos de daños).

Es importante señalar que lograr y mantener un silo bolsa hermético es posible, aunque difícil de lograr en condiciones de campo. En tal sentido, a los fines prácticos, otros factores que afectan la actividad biológica del granel, como la temperatura, toman relevancia.

2. **TEMPERATURA:** Otra particularidad del silo bolsa es que la temperatura del grano almacenado sigue la temperatura ambiente. Esto tiene implicancias directas sobre las posibilidades de manejo y la preservación de la calidad, sobre todo en situaciones donde la hermeticidad no es total. Por ejemplo, a una misma humedad de grano, este se conservará mejor durante el invierno (momento de cosecha) en un clima templado frío respecto a si se tratase de un clima cálido. Sin embargo, en las regiones más frías se tiende a cosechar más tardíamente, ya que las condiciones de humedad ambiente durante otoño e invierno no son favorables para el secado rápido en planta. Si se retrasa la cosecha, buscando una humedad de grano cercana a la de recibo, puede que el momento de embolsado se extienda casi hasta primavera. Si esto se conjuga con grano aun húmedo (por ejemplo 16% de humedad) almacenado tardíamente, se debe considerar que los meses primaverales por delante conllevan un aumento de temperatura del grano en la bolsa, lo que implica un mayor riesgo de deterioro.

Otro factor que debe considerarse con el almacenamiento de grano húmedo es el riesgo de condensación y rehumidificación de estratos superiores del silo bolsa. Este proceso puede observarse luego de algunos meses de almacenaje, ya que es un proceso lento, que se acentúa si la bolsa está floja (sectores de poca tensión) y/o si está expuesta a una importante amplitud térmica (alta oscilación térmica entre día y la noche).

Ensilado o silaje

Cuando el destino final del grano de maíz es el consumo animal (forrajero), donde lo importante es conservar su valor nutricional y minimizar la pérdida de energía digestible, surge otra posible técnica de conservación. En este caso en vez de conservar el grano por deshidratación la técnica consiste en favorecer el desarrollo de bacterias que en ausencia de O₂ provocan una fermentación ácida (bacterias epífíticas de ácido láctico (BAC)) reduciendo el pH del medio hasta niveles que impiden el desarrollo de bacterias y hongos saprófitos causantes del deterioro del grano (putrefacción). Para favorecer el desarrollo de las BAC el grano debe ser cosechado con un contenido de humedad de 25% o superior y almacenado en un sistema de almacenamiento hermético (normalmente se utiliza el silo bolsa) que impida la entrada de O₂. En un tiempo se obtendrá un producto forrajero de calidad que podrá conservarse durante un tiempo prolongado.

El grano así conservado tiene la ventaja de tener similar valor energético, y proteína que el grano seco, como lo demuestran los ensayos realizados por Mader *et al.*, (1991) en engorde a corral, quienes también observaron que un incremento en el porcentaje de humedad impacta positivamente en la eficiencia de conversión. Otras ventajas para considerar de esta técnica de conservación son la ausencia de costo de secado, el incremento del rendimiento por hectárea, debido a la menor caída de espigas (pérdidas pre-cosecha) gracias a la cosecha temprana, y la posibilidad de cultivar híbridos con una madurez relativa mayor.

También pueden considerarse desventajas, como no tener alternativas de comercialización (solo alimentación animal) y el requerimiento de maquinaria específica para embolsado y procesado. Además, un inadecuado proceso de ensilado generará más pérdidas y se deben tener más cuidados durante la alimentación de los animales debido a su mayor tasa de digestión y a la posibilidad de un aumento de la ocurrencia de abscesos hepáticos, posiblemente asociados a episodios de acidosis ruminal (detectado por Mader *et al.*, 1991).

El grano cosechado húmedo debería ser molido o partido previo al almacenaje ya que facilita el proceso de ensilado. Otra opción es la del agregado de ácido propiónico o mezclas de propiónico- acético, estos permiten una rápida caída del pH y limitan la actividad microbiana. La concentración de propiónico a utilizar dependerá del contenido de humedad de grano almacenado siendo del 0,45% (base húmeda) con 18% de humedad al 0,70% con el 24% (Bucholtz et al, 1992). La desventaja que presenta es que los ácidos son corrosivos para los metales con lo cual es necesario el lavado posterior de la maquinaria utilizada para el embolsado, no así cuando se realiza el suministro ya que el ácido habría sido absorbido por el grano (Bucholtz et al, 1992).

COROLARIO

De lo expuesto, se concluye que, según la humedad de cosecha del maíz y el destino final, se determinan las posibilidades de almacenamiento en cuanto a técnica de conservación, sistema de almacenamiento y TAS. En el siguiente esquema podemos verlo resumido:

	CH < 14,5%	14,5%<CH<16,5%	16,5% < CH < 25%	25% <CH
RIESGO	BAJO	MODERADO	ALTO	BAJO
TAS	Entre 6 meses y 1 año dependiendo de temperatura y manejo.	Entre 1 y 3 meses dependiendo de temperatura y manejo.	NO SE PUEDE CONSERVAR HÚMEDO	Entre 6 meses y 1 año dependiendo de manejo
Destino	Múltiple	Múltiple	Múltiple	Forrajero
Practicas recomendadas	<ol style="list-style-type: none">1. Almacenar en silobolsa.2. Almacenar en silo tradicional, aireación de mantenimiento (enfriar para evitar insectos).	<ol style="list-style-type: none">1. Almacenar en silobolsa.2. Airear con aireación reforzada, bajar humedad y almacenar en silo tradicional.3. Mezclar con grano más seco	<ol style="list-style-type: none">1. Secar con secadora hasta 14,5 %.2. Tratamiento con ácidos propiónico/ acético.	<ol style="list-style-type: none">1. Conservación por fermentación ácida en silo bolsa.

Referencias:

1. Bucholtz, H; Ritchie, H; Rozeboom, D and Rust, S. 1992 **High Moisture Corn 1992. STORAGE AND FEEDING OF HIGH MOISTURE CORN WITH EXCESSIVE MOISTURE LEVELS.** Disponible en:
https://www.msu.edu/~mdr/Mold_HighMoistureCorn1992.pdf.
2. Mader, T L; Dahlquist, J M; Britton R A; and Krause V E. 1991. **Type and mixtures of high-moisture corn in beef cattle finishing diets.** J ANIM SCI, 69:3480-3486.

Lecturas recomendadas:

1. ABADIA M.B., BARTOSIK R.E. ,CARDOSO M.L. , DE LA TORRE D.A. ,Giorda J.J. , Hoyos M. y Rúveda C. **MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN POSCOSECHA DE GRANOS.** Disponible en:
<https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/10434?locale-attribute=en>
2. Herramientas de cálculo para la Poscosecha. Acceso libre y gratuito en:
<http://progranos.org/aireAr/mainMenu>
3. Silo Secador INTA: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/05/silo-secador-2020.pdf>
4. Santini F.J., 2014. **EL SILO BOLSA EN LOS MODELOS PRODUCTIVOS DE CARNE.** Congreso Internacional de Silo Bolsa, INTA, Balcarce. FCA, UNMdP. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/346648239/INTA-El-Silo-Bolsa-en-Produccion-de-Carne>