

Buenas prácticas en silo bolsa: claves para el uso correcto de una herramienta estratégica para toda la cadena

Ing. Agr. (Dr.) Ricardo Bartosik¹, Ing. Agr. Leandro Cardoso²

¹ especialista en poscosecha de granos (bartosikricardo@gmail.com)

² IPADS Balcarce (INTA-CONICET) (cardoso.marcelo@inta.gob.ar)

El objetivo de este artículo es destacar que el silo bolsa no es una tecnología riesgosa. Por el contrario, la diferencia entre un silo bolsa correctamente manejado y otro mal manejado es muy significativa, pero también perfectamente evitable. Cuando se aplican las buenas prácticas de almacenamiento, la tecnología actualmente disponible permite alcanzar niveles de pérdidas comparables a los de un sistema de acopio tradicional. En consecuencia, la brecha entre un buen y un mal resultado no responde a limitaciones de la tecnología, sino a la calidad de su implementación.

1. Introducción: el silo bolsa como herramienta fundamental de la poscosecha argentina

1.1 Origen y evolución de la adopción en Argentina

El silo bolsa no nació como tecnología de granos: llegó a la Argentina a principios de los años 90 como sistema de conservación de forraje (silaje), y recién a mediados de esa década se adaptó al almacenamiento de granos secos. Su primer uso documentado en grano data de mediados de la década del 90. Durante los primeros años el crecimiento fue lento —en 1997 se almacenaba menos de 1 millón de toneladas por año en todo el país—, pero a partir de 2001 la curva cambia de pendiente de forma abrupta: en apenas seis campañas, para 2007, el volumen embolsado ya superaba las 25 millones de toneladas anuales.

Ese quiebre entre 1995-2001 y lo que vino después no es casual: coincide con el desarrollo local de las máquinas embolsadoras y extractoras (con capacidades de trabajo que hoy llegan a 300-400 t/hora) y la generación de información técnica por parte del INTA y las empresas, condiciones necesarias para que una tecnología pase de nicho a estándar de industria.

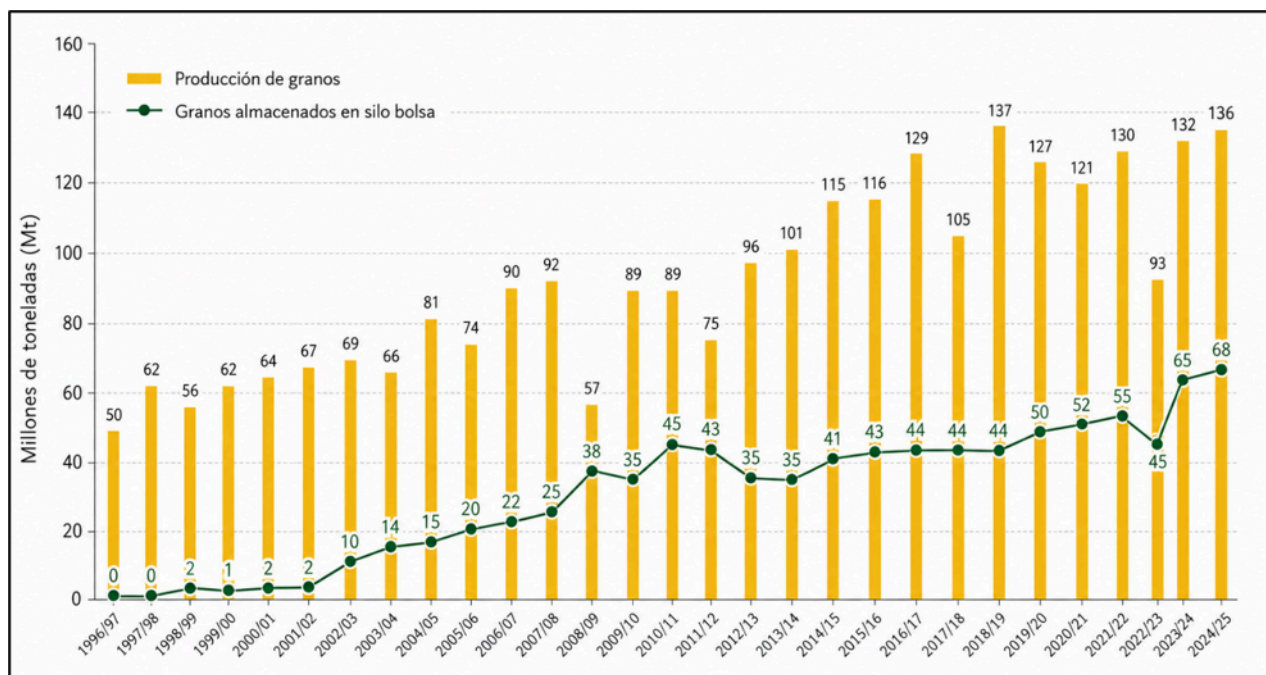


Figura 1. Evolución de la producción nacional de granos vs. toneladas almacenadas en silo bolsa, campaña 1995/96 a 2024/25 — gráfico de barras/línea con la serie histórica completa.

1.2 Magnitud actual: una tecnología que ya no es marginal

Los números de la última década muestran que el silo bolsa dejó de ser una solución de emergencia para convertirse en un pilar de nuestro sistema de poscosecha:

- En la campaña 2024/25, Argentina produjo 136 millones de toneladas de granos, de las cuales 68 millones (50%) se almacenaron en silo bolsa.
- Esto representa un salto respecto de mediados de la década de 2000, cuando la proporción rondaba el 25-30% de la producción.
- La tecnología se exporta: hoy se utiliza en más de 50 países, desde climas tropicales (Brasil, Colombia, Ecuador, América Central, África subsahariana) hasta climas templados (Australia, Sudáfrica, Chile, Estados Unidos, Turquía) y fríos (Canadá, Rusia, Ucrania).

Dicho de otro modo: en la actualidad, prácticamente uno de cada dos granos cosechados en el país pasa, en algún momento de la cadena, por una bolsa plástica. En consecuencia, ya no se trata de una práctica marginal, sino de un eslabón sistémico de la cadena granaria argentina.

1.3 Por qué el silo bolsa se impuso en el sistema productivo argentino

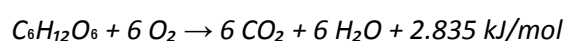
La adopción masiva no respondió únicamente a una ventaja tecnológica, sino a una combinación de factores estructurales del agro argentino:

- Déficit de infraestructura fija: el crecimiento de la producción de granos superó ampliamente la capacidad de almacenamiento instalada en silos y plantas de acopio.
- Restricción de crédito para inversión en estructuras permanentes de almacenamiento.
- Crisis económicas que llevaron a la quiebra de numerosos acopios comerciales, reduciendo la oferta de almacenamiento de terceros.
- Modelo productivo basado en arrendamiento de tierra, que desincentiva la inversión de productores en instalaciones fijas dentro de campos que no son propios.
- Una ventaja logística y comercial concreta: almacenar en el propio establecimiento le da al productor flexibilidad para elegir el momento de venta, evitando la dependencia de la logística y los precios de plaza en el momento de cosecha.

1.4 Principio de funcionamiento: hermeticidad y atmósfera autogenerada

El éxito del sistema depende de dos condiciones que deben cumplirse simultáneamente, y que son, a la vez, el punto de partida conceptual de todo este artículo: embolsar grano seco y mantener la integridad física de la bolsa durante todo el almacenamiento. Casi la totalidad de los problemas de calidad e inocuidad que se describen en la Sección 2 son, en el fondo, una falla en una de estas dos condiciones.

El silo bolsa es, por diseño, un sistema de almacenamiento hermético: a diferencia de los silos y celdas metálicas o de hormigón —donde existe intercambio libre de gases con el exterior—, el film de polietileno restringe el paso de gases entre el interior y el exterior. Esto genera una atmósfera intergranaria auto-modificada por la propia respiración biológica del granel (grano, microorganismos e insectos), que consume oxígeno y libera dióxido de carbono:



Los valores típicos ilustran por qué la humedad de embolsado es la variable crítica del sistema:

- Con grano seco (por debajo de la tolerancia de recibo), la actividad biológica es baja y la atmósfera se modifica levemente: O_2 entre 16-18%, CO_2 entre 1-3% (comparado con 21% y 0,03% del aire normal, respectivamente).

- Con grano húmedo, la actividad biológica se dispara y la atmósfera se modifica intensamente: O_2 puede caer a 0-5%, y el CO_2 puede subir hasta 30% — con registros puntuales de hasta 70% en casos de grano muy húmedo. Aquí la hermeticidad funciona como un reaseguro.
- El control efectivo de insectos por atmósfera requiere condiciones extremas: O_2 por debajo de 2% o CO_2 por encima de 20-30%, umbrales que solo se alcanzan cuando hay suficiente humedad y hermeticidad como para generar una atmósfera modificada. Sin embargo, alta humedad es una condición que también favorece el deterioro por hongos.

Esta dualidad es clave para el mensaje del artículo: la atmósfera modificada que genera el silo bolsa es un beneficio real (reduce actividad de hongos e insectos), pero deja de ser protectora y pasa a ser un indicador de deterioro en curso cuando el grano se embolsó húmedo o perdió hermeticidad.



Figura 2. Componentes del ecosistema de granos almacenados: componentes bióticos y abióticos, espacio poroso

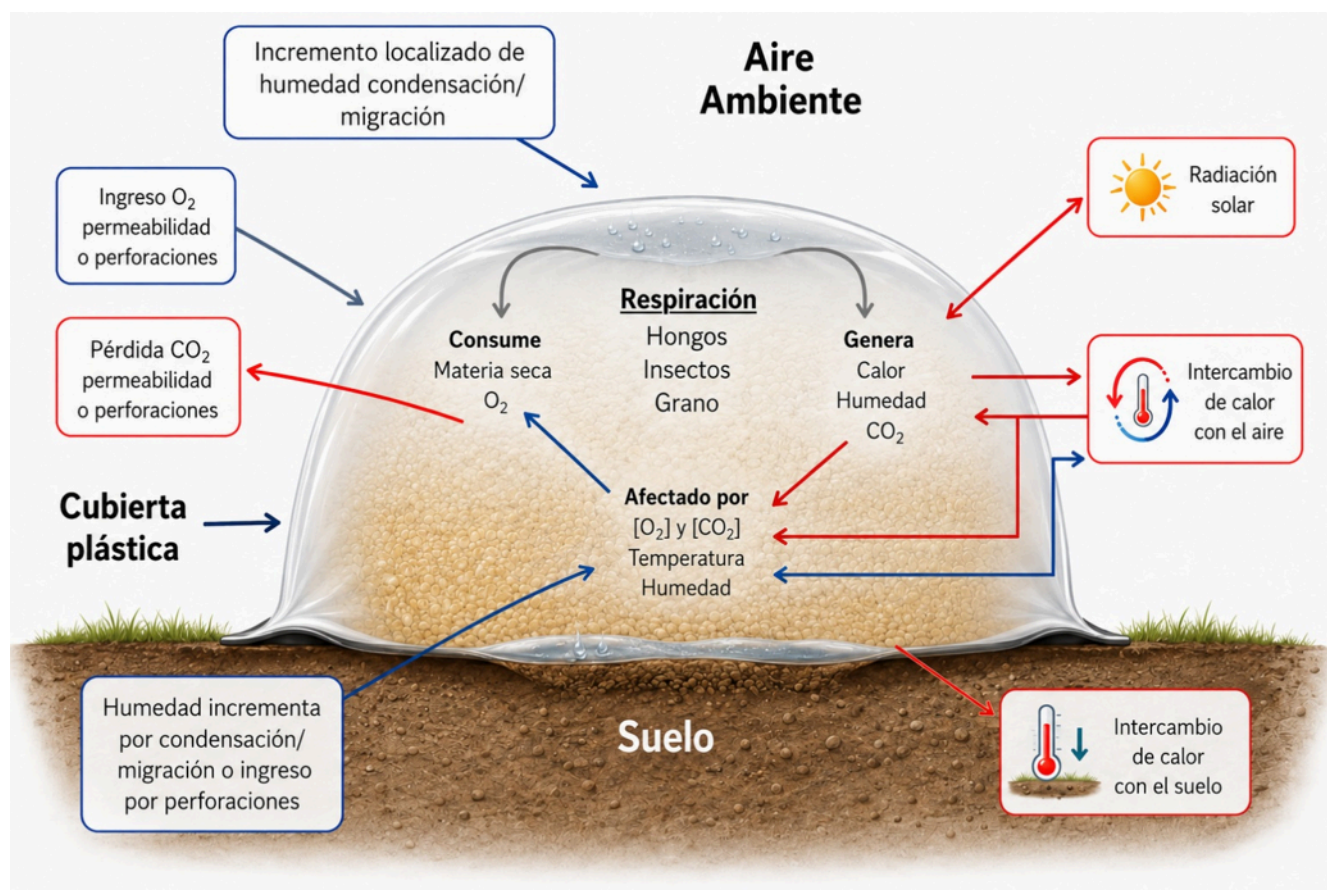


Figura 3. Relaciones de intercambio de calor, humedad y gases (O_2/CO_2) y variables que gobiernan la respiración durante el almacenamiento en silo bolsa.

1.5 Componentes del sistema y capacidades de trabajo

El silo bolsa no es solo "una bolsa": es un sistema con cuatro componentes desarrollados específicamente para integrarse con la capacidad de cosecha de una cosechadora moderna, sin generar cuellos de botella en plena trilla.

Tabla 1. Dimensiones y capacidades técnicas de los componentes del sistema silo bolsa.

Componente	Especificación técnica
Bolsa plástica	Diámetro 1,22 a 3,66 m; longitud 30 a 150 m. Configuración más común: 2,74 m × 75 m. Capacidad: 220-260 t de trigo/maíz/soja/cebada/sorgo, ~150 t de girasol
Máquina embolsadora	Sinfín de hasta 450 mm de diámetro; capacidad de hasta 400 t/hora; requerimiento de potencia ~80 HP (versión a toma de fuerza). También hay versiones de embolsadoras que funcionan sin partes activas (tornillo sinfín), donde el grano fluye por gravedad.
Máquina extractora	Capacidad de trabajo de 300-360 t/hora; sinfín de descarga de ~400 mm y sinfines barreadores de ~260 mm; 60-120 HP
Carro tolva autodescargable	Capacidad de 8 a más de 30 t según eje simple/doble; descarga de hasta 10 t/minuto; 120-180 HP

Estas cifras no son un detalle técnico menor: la capacidad de embolsado (hasta 400 t/h) y de extracción (300-360 t/h) es la que permite que el sistema funcione al ritmo de la cosecha sin generar demoras — una de las razones de fondo de su adopción masiva frente a la logística de acopios de terceros.

2. Cuando las buenas prácticas fallan: anatomía y cuantificación del daño

2.1 Problemas más frecuentes en el campo

Más allá de la enorme adopción del sistema, su implementación en el campo dista de ser homogénea. Los relevamientos de INTA identifican un conjunto acotado y recurrente de fallas, que se repiten campaña tras campaña independientemente del tipo de grano almacenado:

- Bolsas emplazadas en terrenos anegables o sin la pendiente adecuada para escurrir agua de lluvia.
- Bolsas armadas sobre rastroy sin alisar, que generan mayor riesgo de punción (perforaciones).
- Cierres de extremos deficientes (sin termosellado), que dejan un punto de ingreso de aire, agua e insectos desde el primer día.
- Embolsado de grano con humedad superior a la condición segura — la falla de origen más determinante, porque condiciona todo lo que sigue.
- Ausencia de monitoreo sistemático, que retrasa la detección de una rotura o de un foco de deterioro hasta que la pérdida ya es irreversible.

El dato más contundente en este punto es sobre la integridad física en sí misma: el 75% de los silos a campo pierde hermeticidad con el tiempo. Es decir, la pérdida de hermeticidad no es la excepción sino la norma estadística — lo que cambia es la magnitud del daño resultante, que depende de cuán rápido se detecta y se repara.

2.2 La cascada del deterioro: de la falla física a la pérdida de calidad

Las fallas descritas no producen pérdida de calidad de forma directa ni inmediata — lo hacen a través de una secuencia encadenada, y entender esa secuencia es lo que permite intervenir a tiempo:

1. **Falla inicial:** embolsado con humedad excesiva o rotura del film (por fauna, clima o error de confección). El ingreso de agua por roturas hace que la humedad local sube por encima del umbral de actividad microbiana.
2. **Aceleración de la respiración del granel:** se genera calor y humedad de forma autocatalítica — cuanto más deteriorado está el grano, más respira, más calor y humedad libera, y más rápido se expande el área dañada.
3. **Condensación interna y desarrollo de olores:** la dinámica térmica genera condensación en la zona superior de la bolsa, favoreciendo la migración de humedad hacia sectores previamente sanos. El desarrollo microbiológico genera olores que afectan al grano circundante.
4. **Deterioro visible e irreversible:** grano ardido, mohoso, con olores objetables, desarrollo de acidez, pérdida de viabilidad — en este punto, la pérdida de valor comercial ya está consumada.

El detalle importante para una persona que gestiona silos a campo es que el proceso tiene una fase silenciosa (pasos 1 a 2) que puede durar semanas, y solo se vuelve visible externamente (paso 3-4) cuando ya es tarde para una intervención de bajo costo. Por eso el monitoreo de CO₂ —que detecta la fase silenciosa— tiene tanto valor relativo frente al monitoreo puramente visual. El tiempo que se tarda en pasar de fase depende del tipo de grano, su humedad y temperatura, y el parámetro de calidad en cuestión (ej, la viabilidad de la semilla se pierde más rápido que otro parámetro de calidad).

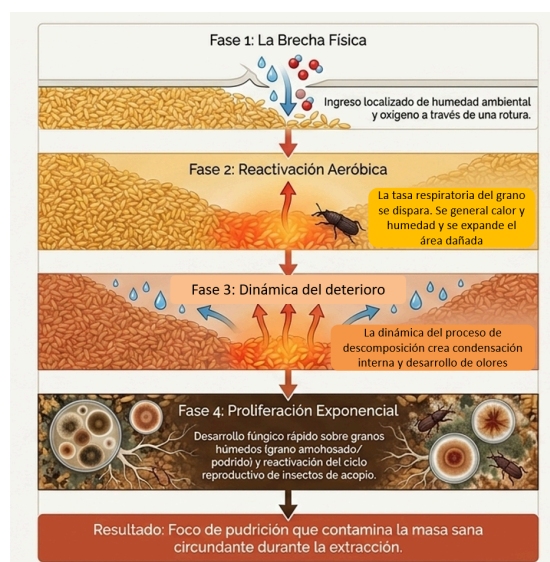


Figura 4. Esquema de "cascada del deterioro": línea de tiempo desde la falla inicial hasta el deterioro visible, señalando el punto en que el CO₂ ya es detectable vs. el punto en que el daño se hace visible externamente.

2.3 Riesgo diferencial según el tipo de grano

No todos los granos almacenados en silo bolsa enfrentan el mismo riesgo ni requieren la misma vigilancia. La magnitud del sistema por cultivo y sus parámetros críticos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción, volumen estimado en silo bolsa y parámetros críticos por cultivo.

Grano	Producción nacional (últ. campaña)	Estimado en silo bolsa	Humedad de cosecha	Riesgo principal
Trigo	18,6 Mt	6-7 Mt	12-14%	Actividad microbiológica, calidad panadera, poder germinativo (semilla), insectos
Cebada	4,9 Mt	1-2 Mt	12-14%	Actividad microbiológica (olores), poder germinativo, insectos
Girasol	4,9 Mt	≥1 Mt	9-11%	Almacenamiento húmedo (>9%), actividad microbiológica, acidez, enranciamiento
Maíz	49,0 Mt	≥20 Mt	14-17%	Almacenamiento húmedo (>16%), actividad microbiológica, micotoxinas, insectos
Soja	50,3 Mt	≥20 Mt	12-16%	Almacenamiento húmedo (>15%), actividad microbiológica, acidez, poder germinativo (semilla)

El caso del girasol merece una mención aparte: con un umbral de humedad de riesgo mucho más bajo que el resto de los granos (9% vs. 14-17%), es el cultivo donde el margen de error del productor es más estrecho — dos o tres puntos de humedad de más significan cruzar el umbral crítico con mucha más facilidad que en maíz o trigo.

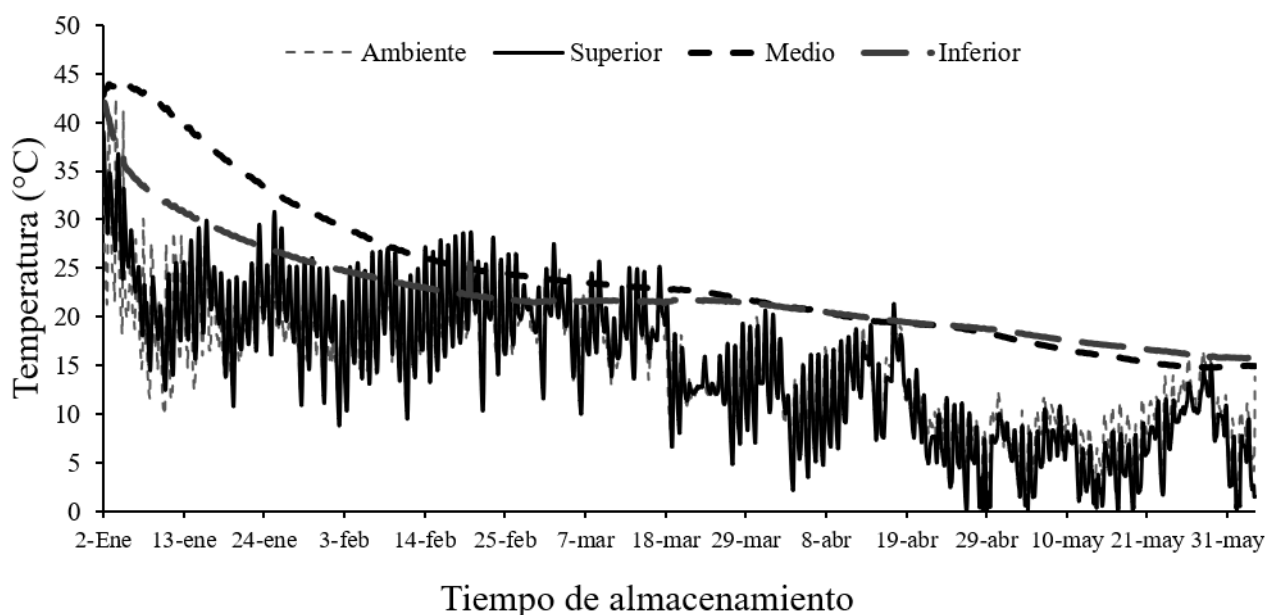
2.4 El efecto de la época de cosecha: el clima como variable de riesgo adicional

La fecha de cosecha determina la temperatura ambiente bajo la cual arranca el almacenamiento, y esa temperatura de partida modula cuánto margen de error tolera un desvío de la humedad.

Maíz y soja se cosechan en otoño e ingresan al almacenamiento con varios meses de invierno por delante. La temperatura del grano dentro de la bolsa en esa época suele ubicarse en el orden de 10-15°C — un rango en el que la actividad respiratoria de hongos y del propio grano se mantiene comparativamente baja. En la práctica, esto le da al productor un margen real: un desvío de humedad de uno o dos puntos por encima de la tolerancia de recibo no se traduce en deterioro inmediato si las primeras semanas o meses transcurren con temperaturas bajas — hay tiempo para detectarlo con el monitoreo (Sección 3.4) y actuar (extracción anticipada, secado programado) antes de que llegue la primavera y la actividad biológica se reactive.

Trigo y cebada, en cambio, se cosechan a fines de primavera o principios de verano, cuando las temperaturas ambiente en la zona núcleo ya superan ampliamente los 25-30°C. Un lote embolsado en esas condiciones no cuenta con ese "colchón" térmico: cualquier desvío de humedad se traduce casi de inmediato en actividad microbiana acelerada y pérdida de calidad — precisamente en la época del año en que, según la Tabla 5, la frecuencia de muestreo recomendada ya es la más exigente. Algo similar ocurre con el girasol, que se cosecha a mediados o fines del verano.

La implicancia práctica es doble. Primero, la misma tolerancia de humedad "sobre el papel" no representa el mismo nivel de riesgo real en todos los casos: depende de si el grano entra al almacenamiento en invierno o en verano. Segundo, el margen de reacción disponible antes de que un problema se vuelva irreversible es mucho más acotado en trigo, cebada y girasol que en maíz y soja — lo que debería traducirse en una frecuencia de monitoreo más temprana e intensiva desde el primer día de embolsado en los cultivos de cosecha estival, y no recién cuando ya se detecta un problema.



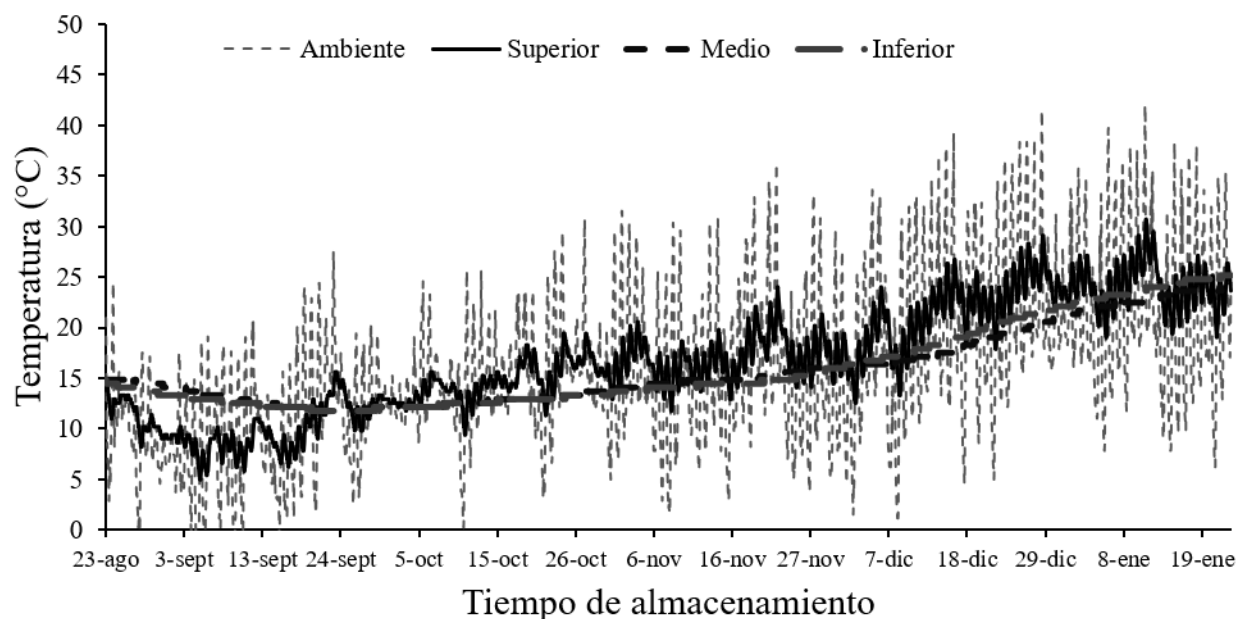


Figura 5. Evolución de la temperatura del grano dentro de la bolsa en diferentes estratos (superior, medio e inferior) según época de embolsado. Arriba trigo (verano/otoño/invierno). Abajo maíz (invierno/primavera/verano). Fuente: Bartosik y col. (2023).

2.5 El rol de la fauna silvestre y doméstica

La fauna es una de las causas de rotura más citadas y, a la vez, una de las más prevenibles con medidas de bajo costo. Según releva Zufiaurre et al. (2020), la incidencia de daño por fauna varía marcadamente según la ubicación de la bolsa:

- **Bolsas ubicadas a campo:** incidencia de daño por fauna de hasta el 80% de los casos relevados.
- **Bolsas ubicadas en acopio o industria:** incidencia sensiblemente menor, en el orden del 20-30%.

Esta diferencia (más de 2,5 veces mayor a campo que en un centro de acopio) es consistente con la exposición a fauna silvestre (roedores, aves, peludos, jabalíes) que es mucho mayor en un lote productivo que en una planta con actividad humana constante y superficies pavimentadas. El corolario práctico es directo: la ubicación de la bolsa no es un detalle logístico, es una decisión de gestión de riesgo, y en predios con antecedentes de daño por fauna, la inversión en cercado eléctrico se amortiza con relativa rapidez frente al costo de una rotura no detectada a tiempo.

2.6 Impacto económico: cuantificando la falla por eslabón

Es importante destacar que los aspectos que se analizan a continuación no le corresponden exclusivamente al grano almacenado en silo bolsa, sino a todo el grano almacenado. En este caso, como el artículo se refiere a la tecnología de silo bolsa, hacemos referencia a ella, pero sería perfectamente aplicable al almacenamiento convencional también.

En el productor: pérdidas por calidad y el costo de la corrección de urgencia

Cuando el grano se embolsó con exceso de humedad, o cuando la falta de monitoreo retrasa la detección de problemas y su corrección, se generan daños que resultan en pérdidas y costos que, en definitiva, salen del bolsillo del productor.

Daños en la calidad: Las consecuencias más frecuentes de un almacenamiento deficiente son comunes a la mayoría de los granos, aunque su impacto económico varía según el destino comercial de cada producto. Entre los principales efectos se encuentran el incremento del porcentaje de granos dañados por actividad fúngica, la disminución del peso hectolítrico (indicador indirecto del deterioro y de la pérdida de materia seca), la reducción del poder germinativo (especialmente crítica en cebada cervecera y en soja destinada a

semilla) y el aumento de la acidez (particularmente relevante en girasol y otras oleaginosas, ya que afecta directamente el rendimiento de extracción de aceite). La magnitud de los descuentos comerciales asociados a estas alteraciones depende de las normas de comercialización y de los estándares de calidad aplicables a cada grano. Cuando el lote presenta, además, olores objetables, es frecuente que las plantas de acopio, la industria o los exportadores rechacen la mercadería o negocien su recepción "a resolución", es decir, fuera de las tablas de descuentos establecidas. En la práctica, esta situación suele traducirse en pérdidas económicas considerablemente superiores a las derivadas de los descuentos reglamentarios.

Secado de urgencia: Cuando un lote es despachado a puerto y, al momento de su recepción, se detecta un contenido de humedad superior al permitido, resulta necesario realizar un secado de urgencia, generalmente en una planta acondicionadora o en un acopio cercano al puerto. Este tipo de intervención implica un costo significativamente mayor que el secado programado realizado en origen, debido a la menor disponibilidad de instalaciones, la urgencia operativa y los mayores costos logísticos asociados. En términos generales, el secado de emergencia suele tener un costo entre un 20 y un 30% superior al secado convencional, lo que representa aproximadamente US\$ 6 a 9 por tonelada, dependiendo del cultivo, la cantidad de puntos a secar y las tarifas vigentes.

Logística de rechazo: si el lote es rechazado en destino, el camión debe volver al origen y luego reprogramarse hacia un nuevo destino. Esto representa $\approx$ US\$ 11/t, a lo que pueden sumarse demoras y costos de descarga-recarga (US\$ 3-8/t adicionales según el caso). En la práctica comercial, este costo logístico muchas veces no se traduce en un viaje físico, sino en una renegociación del precio con un descuento sustancial en destino — pero el orden de magnitud del descuento suele reflejar ese mismo costo evitado.

Sobre una bolsa estándar de 200 t, si el problema afecta un sector del orden del 15% de su volumen ($\approx$ 30 t), el costo combinado atribuible a la mala práctica —secado de urgencia (US\$ 6-9/t) mas logística de rechazo (US\$ 11-19/t)— ronda US\$ 17-28/t afectada, es decir, entre US\$ 510 y 840 para ese sector de la bolsa, sin contar todavía el eventual descuento comercial por pérdida de calidad.

En el acopio/industria: costos de gestión

Los acopios y la industria también deben afrontar costos extras cuando reciben mercadería en malas condiciones de campo. Por un lado, se presenta la necesidad de disponer de silos sanitarios o almacenamiento diferenciado para lotes fuera de estándar y, por otro lado, está el costo de las mezclas para diluir un lote dañado dentro de un volumen mayor sano — una práctica habitual pero que sacrifica calidad general del lote resultante.

En la exportación: el costo se multiplica en la punta de la cadena

El impacto más severo ocurre cuando el problema de calidad se detecta recién en la terminal portuaria. Un lote con exceso de daño, contaminación por micotoxinas o presencia de insectos vivos (poco frecuente en silo bolsa) puede frenar la cinta de embarque de un buque — con un costo que ya no solo se mide en US\$/t por retrasos en la carga del buque, sino que también en el riesgo de default de contrato y penalidades internacionales por incumplimiento de especificación. La corrección de urgencia en esa instancia es la peor posible desde el punto de vista económico: contratar una secadora, chamiquera o servicio de control de insectos cerca del puerto, en un mercado de oferta acotada y tarifas elevadas por la urgencia misma del pedido.

Tabla 3. Escenarios ilustrativos de costo por eslabón de la cadena ante distintas fallas de manejo, discriminando costo de base (ineludible) del sobre costo atribuible a la mala práctica. Valores orientativos, no casos documentados publicados.

Escenario	Costo atribuible a la mala práctica
Mercadería con exceso de humedad no detectada en origen	Secado de urgencia (25-30% extra): US\$ 6-9/t
Rechazo en destino por deterioro	Ida+vuelta + demora/recarga: US\$ 11-19/t

Escenario	Costo atribuible a la mala práctica
Pérdida localizada de calidad por rotura no reparada o bolsa mal cerrada	Descuentos o rechazo: muy variable
Detección tardía en puerto (micotoxinas, insectos vivos, etc)	Freno de cinta + acondicionamiento de urgencia + riesgo contractual. Muy variable

3. Buenas prácticas de manejo: cómo lograr un almacenamiento seguro

El INTA trabajó en los últimos 25 años desarrollando los procedimientos y recomendaciones apropiadas para gestionar el almacenamiento en silo bolsa de manera segura. A continuación, hacemos un resumen de estas.

3.1 Elección del terreno y planificación de la ubicación

La decisión de dónde emplazar la bolsa se toma una sola vez por campaña, pero condiciona el riesgo durante los 6 a 18 meses siguientes. Los criterios técnicos, en orden de importancia:

- **Terreno elevado y con leve pendiente.** Un sitio anegable no solo aumenta el riesgo de que una rotura o un cierre imperfecto derive en ingreso de agua: en el caso extremo, directamente impide el acceso para extraer la mercadería cuando el suelo está saturado.
- **Terreno alisado, libre de rastrojo sin trabajar.** El armado sobre rastrojo sin alisar favorecen la punción del film durante el llenado y el asentamiento posterior de la bolsa.
- **Alejado de árboles y cortinas forestales,** para reducir el riesgo de rotura por caída de ramas — una causa de falla física poco mencionada pero enteramente evitable con una decisión de ubicación.
- **Sector permanente,** reutilizado campaña tras campaña. Esto no es solo comodidad operativa: simplifica el monitoreo, permite mantener el lugar libre de malezas de forma sistemática, y habilita la instalación de un cerco eléctrico fijo — la medida de control de fauna más costo-efectiva cuando la ubicación es recurrente.
- **Agrupamiento de a 2, o a lo sumo 4 bolsas por playón,** dejando espacio suficiente entre bolsas de un mismo grupo para que un operario pueda inspeccionar cualquiera de ellas, y espacio suficiente entre grupos para que una tolva o camión pueda posicionarse en la periferia durante la extracción. Este detalle logístico es lo que permite reaccionar rápido —extrayendo una bolsa puntual— ante un problema detectado, en vez de tener que mover o comprometer el resto del playón.
- **Terrenos con pendiente pronunciada:** llenar en sentido ascendente (contra la pendiente), con recaudos redoblados en el cierre del extremo final — si el cierre falla en un terreno con pendiente a favor, el agua que ingresa circula libremente por el fondo de la bolsa en vez de quedar contenida en un punto. Nunca cruzar la pendiente con la bolsa porque impide el drenaje del terreno.
- **Preferentemente orientación Norte-Sur.** Con esta orientación, ambos laterales de la bolsa reciben una carga de radiación solar más pareja a lo largo del día, lo que reduce el gradiente térmico entre caras y, con él, el riesgo de migración de humedad hacia el sector menos expuesto.



Figura 6. Esquema de emplazamiento correcto de un playón de silo bolsas: limpieza, nivelación, buen acceso, agrupamiento de a 2-4, distancias entre bolsas y entre grupos, cerco perimetral.

3.2 Confección de la bolsa: la hermeticidad se define en el llenado

La hermeticidad inicial de la bolsa —y buena parte de su capacidad de mantenerla en el tiempo— se define en unas pocas decisiones tomadas durante el embolsado:

- **Sellado de extremos**, preferentemente por termosellado.
- **Durante el embolsado**: Levantar la máquina embolsadora entre 15 y 30 cm del suelo (según el modelo) y estirar la bolsa hasta el límite que indique el fabricante —sin excederlo—, para que ingrese la mayor cantidad de grano posible. Sobre estirar de más debilita mecánicamente el film (el fabricante fija un máximo de deformación tangencial del 10% para no comprometer su resistencia posterior) y lo predispone a roturas. Controlar el funcionamiento apropiado del freno de la embolsadora es clave para poder ajustar el estiramiento de la bolsa de manera apropiada.
- **Terreno firme y parejo, frenos de la embolsadora en buen estado**, para evitar baches o depresiones en la parte superior de la bolsa — estas depresiones son puntos de condensación, especialmente riesgosos si el grano se embolsó con humedad.
- **Registro de humedad y materias extrañas por cada tolva** que ingresa a la bolsa, no solo un valor promedio del lote. Este dato es el que permite, después, asignar niveles de riesgo diferenciados dentro de la misma bolsa y orientar dónde concentrar el muestreo — sin este registro, el monitoreo posterior no tiene dónde apuntar.

3.3 Monitoreo de integridad física

Dado que el 75% de las bolsas a campo pierde hermeticidad con el tiempo (Sección 2.1), el monitoreo de integridad física no es una tarea opcional sino la que determina si esa pérdida de hermeticidad se traduce en pérdida de calidad o queda contenida.

Manejo de fauna. Con una incidencia de daño de hasta 80% en bolsas a campo (Sección 2.4), el control de fauna concentra buena parte del retorno de la inversión en prevención:

- **Cercos eléctricos** como barrera de exclusión — requieren mantener el pasto corto en la línea del cerco para que el pulso de alta tensión funcione correctamente (el pasto en contacto con el alambre deriva la corriente a tierra sin llegar al animal).
- Repelentes aplicados según un esquema de cobertura del perímetro de la bolsa.
- El principio rector es el de manejo integrado de plagas: conocer la especie y su comportamiento, aplicar medidas preventivas de exclusión, y recién después recurrir a control activo con productos y herramientas permitidas — en ese orden.

Evaluación de hermeticidad. Detectar perforaciones pequeñas a simple vista, sobre todo en la parte superior o inferior de la bolsa, es poco confiable en condiciones de campo. La técnica de referencia es el ensayo de pérdida o caída de presión (PDT, pressure decay test): se genera una depresión controlada dentro de la bolsa y se mide el tiempo que tarda en recuperarse a la mitad del valor original— a menor tiempo de recuperación, mayor la superficie de fuga. Existen equipos automatizados desarrollados por el INTA que generan la depresión y transmiten el resultado a un smartphone por Bluetooth, lo que permite una evaluación objetiva de la hermeticidad de la bolsa sin depender de la inspección visual. Los umbrales de referencia de PDT según el uso previsto se detallan en la Tabla 4.



Figura 7. Izq. Chequeo visual de integridad física del silo bolsa; Der. Equipo automático de evaluación de hermeticidad desarrollado por el INTA.

Tabla 4. Umbrales de hermeticidad (PDT) según el tipo de tratamiento o condición de almacenamiento requerida.

Tratamiento	PDT de referencia
Fumigación con fosfina	1,5 minutos
Atmósfera controlada	3 minutos
Atmósfera modificada / almacenamiento estándar	5 minutos

3.4 Monitoreo de calidad del grano

El monitoreo de calidad se rige por un principio simple pero con implicancias operativas claras: la frecuencia de muestreo debe aumentar con el nivel de riesgo. El riesgo, a su vez, está determinado por tres variables que ya se conocen desde el momento del embolsado (si se registraron, como se recomendó en 3.2):

- **Humedad del grano** respecto de la tolerancia de recibo.
- **Calidad inicial** (proporción de granos dañados, partidos, materias extrañas).
- **Temperatura ambiente / época del año** — en climas templados como el argentino, la llegada de la primavera dispara el deterioro acelerado en bolsas que acumularon humedad excedente o roturas no reparadas durante el invierno, porque la temperatura ambiente vuelve a activar una actividad biológica que el frío había mantenido latente.

Tabla 5. Frecuencia de muestreo recomendada según humedad de embolsado, calidad inicial y época del año — Fuente: INTA.

Condición de embolsado	Humedad	Calidad	Frecuencia invierno	Frecuencia verano
Adecuada	1 punto bajo tolerancia	Buena	3 meses	3 meses
Adecuada	1 punto sobre tolerancia	Buena-Media	45 días	35 días
Adecuada	≥2 puntos sobre tolerancia	Buena	35 días	20 días
Adecuada	≥2 puntos sobre tolerancia	Media-baja	20 días	15 días
Inadecuada (rotura o riesgo de anegamiento)	—	—	Aumentar frecuencia según riesgo de ingreso de agua	Aumentar frecuencia según riesgo de ingreso de agua

Muestreo con calador. Un calador tipo sonda de 1,8 m (calador de camiones) se inserta en diagonal desde el lateral superior hacia la zona centro-inferior de la bolsa, a través de un orificio realizado en el film. Con condiciones iniciales homogéneas (fundamentalmente en humedad) alcanza con un mínimo de 3 sitios de muestreo; si no se conocen las condiciones iniciales, se requieren al menos 6 caladas. Cada orificio debe sellarse inmediatamente después de extraer la muestra (ver 3.5) — es, en sí mismo, una intervención sobre la hermeticidad que hay que revertir. La ventaja de este método es que permite análisis directos sobre el grano (olores, daño visible, poder germinativo, calidad comercial); la desventaja es que cada punto de muestreo es, hasta que se sella, una nueva fuga potencial.

Monitoreo por concentración de CO₂. Se basa en que la respiración del granel modifica la atmósfera intergranaria de forma proporcional a la actividad biológica: con grano seco, el CO₂ se mantiene entre 1,5 y 4% (frente al 0,03% del aire ambiente); en procesos de descomposición por hongos, la actividad biológica aumenta y con ella la modificación de la atmósfera interna (superando el 5%). La ventaja frente al calador es doble: no daña el film (no requiere sellado posterior) y tiene mayor sensibilidad para detectar un problema antes de que el grano muestre deterioro visible — incluida la detección de focos en el fondo de la bolsa, inaccesibles para el calador. El INTA recomienda mediciones a intervalos no mayores a 6 metros desde el extremo de armado. Los equipos portátiles actuales permiten monitorear entre 15 y 20 bolsas por hora. Con este sistema se puede realizar un monitoreo mucho más frecuente que con el calado tradicional. Además, si se detecta un foco en un sitio de la bolsa, se puede direccionar el calado a dicho lugar.

3.5 Sellado de roturas y puntos de muestreo

Toda rotura detectada y todo orificio de muestreo deben sellarse de inmediato, preferentemente con parche desarrollado específicamente para silo bolsa (limpiando la zona con alcohol antes de pegar, para mejorar adherencia y prolongar la duración del cierre). Existen dos métodos validados, ambos pensados para un cierre permanente:

- Para roturas pequeñas: parche adhesivo sobre el orificio.
- Para roturas grandes: cinta adhesiva bifaz enmarcando la rotura, cubierta por un parche confeccionado con un retazo de la misma bolsa plástica.

En condiciones de mayor riesgo (bolsa muy deteriorada por animales o granizo), la recomendación es retirar la mercadería o reembolsar.

3.6 Tecnologías de apoyo disponibles hoy

La brecha entre "saber qué hacer" y "hacerlo de forma sistemática en decenas de bolsas por campaña" es, en la práctica, donde más se pierde. Existen hoy herramientas específicamente diseñadas para cerrar esa brecha operativa:

- **Sistemas de monitoreo remoto de CO₂** que combinan mediciones periódicas por bolsa con un algoritmo que asigna un ranking de riesgo por bolsa y por sector dentro de cada bolsa, visualizable desde un smartphone.
- **Dispositivos automatizados de PDT** (desarrollado por INTA), que estandarizan la evaluación de hermeticidad y la vuelven menos dependiente de la interpretación subjetiva del operario.
- **Termosellado**, máquinas que permiten un sellado óptimo por calor del comienzo y final de la bolsa.
- **Parches especiales para silo bolsa**, con adhesivo a base de caucho (de mejor adherencia que el polietileno estándar) y coloración blanca para mantener la reflectividad solar del film original.

4. Conclusiones

El silo bolsa constituye una de las innovaciones más importantes que ha incorporado la agricultura argentina en las últimas décadas. Lo que comenzó como una solución para ampliar transitoriamente la capacidad de almacenamiento se transformó en un componente estratégico de la logística y la comercialización de granos. Hoy, una parte significativa de la producción nacional depende de esta tecnología, que ha contribuido decisivamente a la competitividad del sector al aportar flexibilidad operativa, eficiencia logística y capacidad de almacenamiento a bajo costo.

Precisamente por esa importancia, el silo bolsa debe ser gestionado como un verdadero sistema de almacenamiento y no simplemente como un recipiente plástico. Las pérdidas de calidad y cantidad que se observan en la práctica no son consecuencia de una tecnología deficiente, sino, en la gran mayoría de los casos, del incumplimiento de buenas prácticas de manejo. La elección del sitio, el correcto embolsado, el monitoreo de la integridad de la bolsa y de la calidad del grano, y la reparación inmediata de cualquier daño forman parte de un mismo proceso, donde cada etapa resulta indispensable para preservar la calidad almacenada.

Las consecuencias de un manejo inadecuado trascienden al productor. Un grano deteriorado genera mayores costos de acondicionamiento, descuentos comerciales, rechazos y pérdidas de eficiencia que terminan afectando a toda la cadena agroindustrial. Por el contrario, cuando el silo bolsa se utiliza correctamente, constituye un sistema de almacenamiento seguro y confiable, ampliamente validado por la experiencia y por la evidencia científica acumulada durante más de dos décadas.

El conocimiento para minimizar las pérdidas ya existe. El desafío no pasa tanto por desarrollar nuevas tecnologías, sino por lograr una adopción más amplia y sistemática de las buenas prácticas. Fortalecer esa cultura de manejo es una responsabilidad compartida por todos los actores de la cadena y una condición

indispensable para aprovechar plenamente una tecnología que se ha convertido en un verdadero activo estratégico para la producción de granos en Argentina.

5. Referencias

- Abadía, B., Bartosik, R., 2013. Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Primera ed. INTA Ediciones, Buenos Aires, Argentina.
- Bartosik, R., Urcola, H., Cardoso, L., Maciel, G., Busato, P., 2023. Silo-bag system for storage of grains, seeds and by-products: a review and research agenda. *Journal of Stored Products Research* 100, 1–11.
- Bartosik, R., Cardoso, L., de la Torre, D., Abadía, B., Igartua, M., 2016. An approach for developing a phosphine dosage procedure and calculator for silo bags. En: *Proc. 10th Intern. Conf. Controlled Atm. Fumi. Stored Prod. (CAF2016)*, Winnipeg, Canadá, pp. 371–376.
- Bartosik, R., Cardoso, L., Albino, J., Busato, P., 2013. CO₂ monitoring of grain stored in silobag through a web application. En: *Proceedings of the EFITA, WCCA, CIGR 2013 Conference*, Torino, Italia, pp. 24–27.
- Bartosik, R., 2012. An inside look at the silo-bag system. En: *Proc. 9th Intern. Conf. Controlled Atm. Fumi. Stored Prod.*, Antalya, Turquía, pp. 117–128.
- Bartosik, R., Cardoso, L., Urcola, H. (s.f.). Silo Bag Storage. Capítulo 4, en: *CAF Book — Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products*.
- Cardoso, L., Bartosik, R., de la Torre, D., Abadía, B., Santa Juliana, M., 2014. Almacenamiento de granos en silo bolsa. *Resultados de investigación 2009-2013*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Cardoso, L., Bartosik, R., Campabadal, C., de la Torre, D., 2012. Air-tightness level in hermetic plastic bags (silo-bags) for different storage conditions. En: *Proc. 9th Intern. Conf. Controlled Atm. Fumi. Stored Prod.*, Antalya, Turquía, pp. 583–589.
- CATAC/FADEEAC, 2026. Tarifas de referencia para el transporte de granos, actualización 2026.
- Puerto San Martín Cereales SA, 2024/2025. Tarifas de acondicionamiento, campaña 2024/2025.
- Resolución SAGyP N° 1075/94. Normas de Calidad, Muestreo y Metodología para los granos y subproductos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Zufiaurre, E., Abba, A., Bilenca, D., 2020. Damage to silo bags by mammals in agroecosystems: A contribution for mitigating human-wildlife conflicts. *Wildlife Research*, Early view.