

## PROGRAMA INTEGRAL PARA REDUCIR PÉRDIDAS POSCOSECHA EN MAÍZ\*

### INTEGRAL PROGRAM TO REDUCE POST-HARVEST LOSSES IN MAIZE

Silverio García-Lara<sup>1§</sup> y David J. Bergvinson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Estrés Biótico, Programa Global de Maíz, CIMMYT. Apartado Postal 6-641. 06600 México D.F. <sup>2</sup>Agricultural Development. Bill & Melinda Gates Foundation. PO Box 23350 Seattle WA. 98102 USA. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: sgarcia@cgiar.org

#### RESUMEN

Las pérdidas poscosecha por plagas de maíz plantean un grave problema en países en desarrollo, en especial para los agricultores de escasos recursos. Se ha reportado que en las regiones tropicales las pérdidas ascienden hasta en 40%. El objetivo del presente trabajo fue proponer un programa integral para disminuir las pérdidas poscosecha de grano de maíz, con base en cinco actividades multidisciplinarias: a) cuantificar y cartografiar las pérdidas poscosecha en México e identificar las plagas que las causan, b) desarrollar variedades resistentes a plagas de almacén, c) implementar nuevos métodos de evaluación de resistencia a plagas, d) mejorar las prácticas tradicionales para la conservación del grano y e) transferir mejores prácticas de almacenamiento y conservación a los productores. Se revisaron los avances y logros de investigación en cada una de las cinco actividades. Cada una contribuye a disminuir la pérdida poscosecha de maíz de entre 10 y 30%. En conjunto, el uso de variedades resistentes a plagas de almacén, estructuras de almacenamiento apropiadas y correcto acondicionamiento de grano podrían disminuir la pérdida poscosecha hasta en 60%. El programa integral puede ajustarse para enfrentar las condiciones socioeconómicas y ambientales de cada región.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., almacenamiento, plagas de maíz, variedades resistentes.

#### ABSTRACT

Maize post-harvest losses associated with storage pests pose a serious problem, particularly for low-income farmers in developing countries. Grain weight losses of up to 40% have been reported in tropical regions. The objective of the present work was to propose an integral program oriented to reduce post-harvest losses in maize, based on five multidisciplinary activities: a) quantify and map post-harvest losses in Mexico and identify the responsible storage pests, b) development of maize varieties resistant to storage pests, c) implement new methodologies for the evaluation of pest resistance, d) improve traditional and recommended grain storage practices and e) transfer the grain conservation practices to farmers. The research advances and achievements of the five proposed activities were reviewed. Individually, each activity reduces grain loss from 10 to 30%. As a whole, the use of storage pests resistant cultivars, the use of appropriate storage structures and the proper conditioning of the grain, can reduce postharvest grain losses up to 60%. The integral program can be adapted to meet the diverse socioeconomic status and prevalent climate across regions.

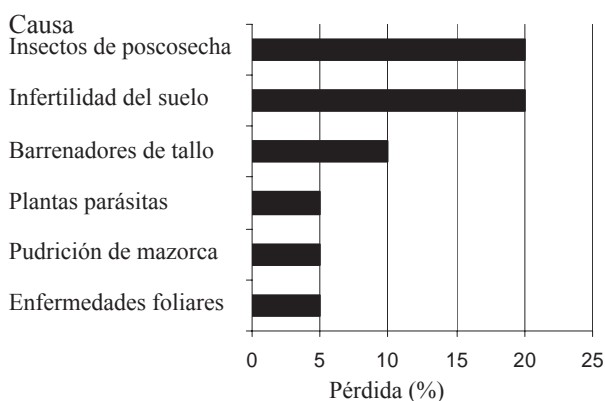
**Key words:** *Zea mays* L., maize pests, resistant cultivars, storage.

\* Recibido: Marzo de 2006  
Aceptado: Junio de 2007

## INTRODUCCIÓN

México es considerado como centro de origen y biodiversidad del maíz; su producción y conservación es importante para el desarrollo agrícola del país; sin embargo, en la última década la producción nacional de grano se ha mantenido alrededor de los 20 000 000 t anuales, mientras que las importaciones han aumentado paulatinamente. La mayor demanda de maíz y sus derivados coincide con el incremento de la población y los nuevos canales de comercialización del mismo. El déficit se atribuye a múltiples factores que han limitado el rendimiento de maíz; suficiente señalar la baja eficiencia de producción por hectárea comparada con los países desarrollados (Bergvinson, 2004; Bergvinson y García-Lara, 2004a).

En este contexto, Pingali y Pandey (2001) identificaron los diversos factores, bióticos y abióticos, causantes de pérdidas en la producción y almacenamiento de maíz a nivel mundial. Un resumen de los datos aportados por este estudio se presenta en la Figura 1. Factor abiótico es, principalmente, la infertilidad del suelo y los insectos poscosecha como factor biótico; en conjunto estos factores son responsables de pérdidas entre 70 a 95% de la cosecha cuando las condiciones de cultivo y almacenamiento son deficientes.



**Figura 1. Principales factores abióticos y bióticos que causan pérdidas durante la producción y almacenamiento de maíz a nivel mundial (Pingali y Pandey, 2001).**

Las plagas causan pérdidas superiores al 10% durante la producción y de 10 a 20% en poscosecha. El grano es resultado del esfuerzo de producción; cualquier pérdida durante el período de almacenamiento se considera como absoluta (García-Lara *et al.*, 2003). En México, la mayoría de los pequeños productores tienen problemas con el

almacenamiento. Algunos programas gubernamentales han implementado diversas acciones para disminuir las pérdidas en poscosecha (Markham *et al.*, 1994), con limitaciones de alcance. En este trabajo el objetivo es proponer un programa integral orientado a disminuir la pérdida poscosecha, con base en cinco actividades innovadoras, promisorias y de carácter multidisciplinario: a) cuantificar y cartografiar las pérdidas poscosecha en México e identificar las plagas que la causan, b) desarrollar variedades resistentes a plagas, c) implementar nuevas metodologías para evaluar la resistencia a plagas, d) mejorar las prácticas tradicionales para la conservación de grano y e) transferir las mejores prácticas de almacenamiento y conservación de grano a los productores.

### Cuantificación, cartografía y plagas poscosecha en México

El término pérdida se define como la reducción de peso o volumen y el daño como la manifestación visible del deterioro, el cual puede posteriormente reflejarse como pérdida. Las pérdidas en poscosecha son el resultado de factores abióticos (físicos, químicos y mecánicos) y bióticos (insectos y microorganismos). Los tipos de pérdidas se agrupan en: peso, valor nutricional, calidad fisiológica, calidad comercial e industrial (Appert, 1987).

Entre los agricultores de bajos recursos las pérdidas globales en poscosecha se reportan entre 10 y 40% (Markham *et al.*, 1994). Se ha demostrado que las pérdidas más importantes (>50%) ocurren bajo condiciones de manejo deficiente y nula asistencia técnica. En regiones tropicales y subtropicales del mundo los problemas de poscosecha inician cuando el cultivo alcanza la madurez fisiológica, durante el secado del grano en el campo de cultivo (Markham *et al.*, 1994). La infestación puede iniciar en campo y posteriormente en el almacén.

En México se han realizado algunos estudios sobre pérdidas poscosecha; en el Bajío, 63% de maíz almacenado durante varios meses se encontró infestado con plagas (Tigar *et al.*, 1994a). Estudios en regiones de clima húmedo reportaron que la presencia de plagas superó 80%, por lo que fue la primera causa de pérdidas en grano almacenado (Tigar *et al.*, 1994b), mientras que en el Altiplano se encontró de 20 a 30% de infestación (Torres, 1995).

Las pérdidas poscosecha en México han sido parcialmente cuantificadas, especialmente en regiones tropicales que comprenden más del 35% del territorio nacional y donde se

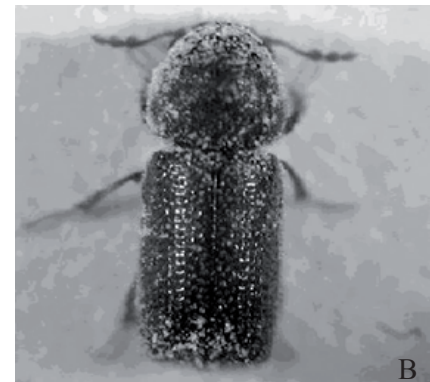
ha reportado que a menudo son muy severas. En un estudio realizado en México entre 1999 y 2000, en 11 localidades se cuantificaron las pérdidas durante el período de poscosecha (Bergvinson *et al.*, 2001; Lilja y Bellon, 2006). En las regiones con clima seco el daño reportado no rebasó 10% con pérdidas inferiores al 1%; en tanto que para regiones subtropicales se encontró entre 25 y 40% de daño con pérdidas entre 10 y 20% y en las regiones tropicales el grado de daño superó 80% con pérdidas entre 20 y 40%. Al analizar los ambientes subtropicales se encontró una enorme influencia de la temperatura y la humedad relativa en los niveles de daño y pérdida (Bergvinson *et al.*, 2001). Recientemente, Bellon *et al.* (2005) utilizaron coordenadas geográficas para generar mapas de daño en maíz durante el almacenamiento. Se utilizaron modelos de predicción de pérdidas y grado de daño relacionados con la temperatura máxima, mínima y humedad relativa.

Bellon *et al.* (2005) cartografiaron las zonas de pobreza rural en México. Las de mayor daño en poscosecha coincidieron con las de pobreza extrema. Esta información confirma que las pérdidas poscosecha se acentúan entre los agricultores de comunidades pobres, principalmente en la zona sureste de México y en la Sierra Madre del Sur. Es importante señalar que en las zonas de extrema pobreza no existe la agricultura comercial, solo de autoconsumo. Otro factor a considerar es que la mayor diversidad de maíz se encuentra en estas zonas, por lo que la pobreza y los problemas de poscosecha son una amenaza para la conservación de esta biodiversidad (Smale *et al.*, 2003).

El almacenamiento inapropiado de grano de maíz constituye una fuente ideal de alimento para los insectos; y la magnitud de las poblaciones depende de varios factores: variaciones de la estación de crecimiento, prácticas de cultivo, competencia inter e intra-específica, enfermedades y abundancia de insectos depredadores y parásitos. Los insectos adaptados a este tipo de hábitat (granos almacenados) generalmente son pequeños y altamente reproductivos (Ortega, 1987).

En maíz almacenado, las plagas primarias son insectos que atacan el grano completo sin previo daño, no cuentan con una amplia variedad de fuentes de alimento y mueren cuando la población alcanza niveles altos. La infestación y el daño puede iniciar en el campo y se considera como las más importantes durante la poscosecha (Savidan y Bergvinson, 2000).

En la Figura 2 se presentan las principales plagas que causan las pérdidas poscosecha en México han sido identificadas por Savidan y Bergvinson (2000); el gorgojo de maíz, *Sitophilus zeamais*, en las regiones tropicales y subtropicales; el barrenador grande del grano, *Prostephanus truncatus*, localizado en las regiones de transición y altas y la palomilla dorada de maíz, *Sitotroga cerealella*, ubicada en las regiones templadas y altas. Plagas secundarias que aparecen con menor frecuencia son: *Plodia interpunctella*, *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica*, *Cathartus quadriollis*, *Cryptolestes ferrugineus*, entre otras.



**Figura 2. Principales plagas que atacan el maíz en poscosecha en México. A: gorgojo de maíz, *Sitophilus zeamais*; B: barrenador grande de grano *Prostephanus truncatus*; C: palomilla dorada de maíz, *Sitotroga cerealella*.**

El manejo integrado de las plagas de almacén se ha sustentado en el control biológico, cultural y químico. Con respecto al primero, varias especies de la familia de los Pteromalidae se localizaron con frecuencia en maíz almacenado. Las avispas *Anisopteromalus calandrae*, *Lariophagus distinguendus*, *Choetospila elegans*, *Pteromalus cerealellae* son ejemplos de los parásitos que atacan a insectos de poscosecha (Savidan y Bergvinson, 2000; García-Lara *et al.*, 2007c).

La preocupación por el impacto ambiental, la conservación de recursos naturales y el peligro potencial de los insecticidas han hecho necesaria la búsqueda de nuevas estrategias en el manejo integrado de plagas. Una opción novedosa es la utilización de variedades resistentes a insectos, con la ventaja de ser de fácil adopción, ambientalmente segura, económica y compatible con otras medidas de control (Sharma y Ortiz, 2002).

### **Desarrollo de variedades de maíz resistentes a plagas de almacén**

La resistencia de la planta huésped se define como el conjunto de caracteres heredables que confieren la protección contra el ataque de insectos y es resultado de la co-evolución entre plantas e insectos (García-Lara *et al.*, 2003). El desarrollo de germoplasma resistente ha sido clave en el manejo integrado de plagas y ha sido posible por las fuentes de resistencia contenidas en los bancos de germoplasma. En las últimas décadas se ha destacado la importancia de identificar y estudiar los factores que confieren la resistencia. Varios reportes indican la existencia de variedades de maíz resistente a plagas de almacén (Arnason *et al.*, 1994; Arnason *et al.*, 1997; Bergvinson y García-Lara, 2003), entre ellas destacan las accesiones Sinaloa 35 y Yucatán 7 (Arnason *et al.*, 1994), así como las poblaciones 84 y 80, a partir de las cuales se han desarrollado estudios de los mecanismos de resistencia en maíz (García-Lara *et al.*, 2004).

### **Mecanismos y bases de la resistencia**

Se han identificado características bioquímicas y biofísicas como mecanismos de resistencia, en particular contra el gorgojo de maíz; los mecanismos más estudiados han sido los compuestos fenólicos, los cuales están correlacionados con la resistencia (Serratos *et al.*, 1987). Estos compuestos actúan de dos maneras: a través de resistencia mecánica (componentes de la pared celular) y antibiosis (amidas aromáticas) a nivel del pericarpio y la aleurona (Arnason *et al.*, 1997). Se ha reportado que el pericarpio de variedades

resistentes contiene niveles altos de ácidos fenólicos simples y ácidos diferúlicos (Arnason *et al.*, 1994); estos últimos son de especial interés, ya que se pueden unir con polímeros de hemicelulosa e incrementar la dureza del pericarpio. Recientemente se reportó que los componentes de la pared celular del pericarpio que incluye ácidos fenólicos simples, ácidos difenólicos, y proteínas estructurales están relacionadas con la dureza de grano y la resistencia a *S. zeamais* (García-Lara *et al.*, 2004). Estos resultados indican que la dureza total de grano puede servir como criterio para evaluar la resistencia a insectos de almacén (Bergvinson y García-Lara, 2003).

Un estudio realizado para comprender la función de las proteínas en la resistencia a plagas de poscosecha se desarrolló en variedades de maíz resistentes a *S. zeamais*. El resultado indicó que la fracción mayoritaria (>80%) de estas proteínas corresponde a las adheridas a la pared celular, conocidas como extensiones o gluco-proteínas ricas en hidroxiprolina. La concentración de estas proteínas fue significativamente mayor en genotipos resistentes en comparación con los susceptibles (García-Lara *et al.*, 2004). Otro grupo de proteínas asociado de manera indirecta con la resistencia a insectos son las enzimas oxidativas como las peroxidasas. Estas enzimas constituyen un mecanismo de defensa al catalizar la oxidación de compuestos de maíz, lo cual limita la penetración del insecto a través del pericarpio (Dowd, 1994). En un análisis reciente se cuantificó la actividad de la peroxidasa en germoplasma con resistencia a *S. zeamais* (García-Lara *et al.*, 2007a); los resultados mostraron mayor actividad de esta enzima en las variedades resistentes que en las no resistentes, sólo la actividad encontrada en el endospermo se correlacionó significativamente con la resistencia a este insecto. La actividad enzimática en el endospermo puede estar vinculada con la oxidación de componentes tóxicos para los insectos como las quinonas. La diferencia en el grado de resistencia observado entre las variedades indica que es posible disminuir en al menos 20% las pérdidas en almacén (García-Lara *et al.*, 2004; García-Lara *et al.*, 2007a).

### **Nuevos métodos para evaluar germoplasma resistente a plagas de almacén**

Los criterios actuales para detectar y evaluar resistencia a plagas en el grano de maíz se fundamentan en: la cuantificación del deterioro causado por el insecto (porcentaje de daño, pérdidas de peso y nivel de infestación), parámetros biológicos y reproductivos del insecto alimentado con el

grano (supervivencia, oviposición, cantidad y aptitud de la progenie, tiempo de desarrollo e índice de susceptibilidad) y características fenotípicas de grano asociadas con la resistencia (aspectos biofísicos y bioquímicos) (García-Lara *et al.*, 2003). Sin embargo, muchos de estos métodos demandan tiempo, costo y personal especializado.

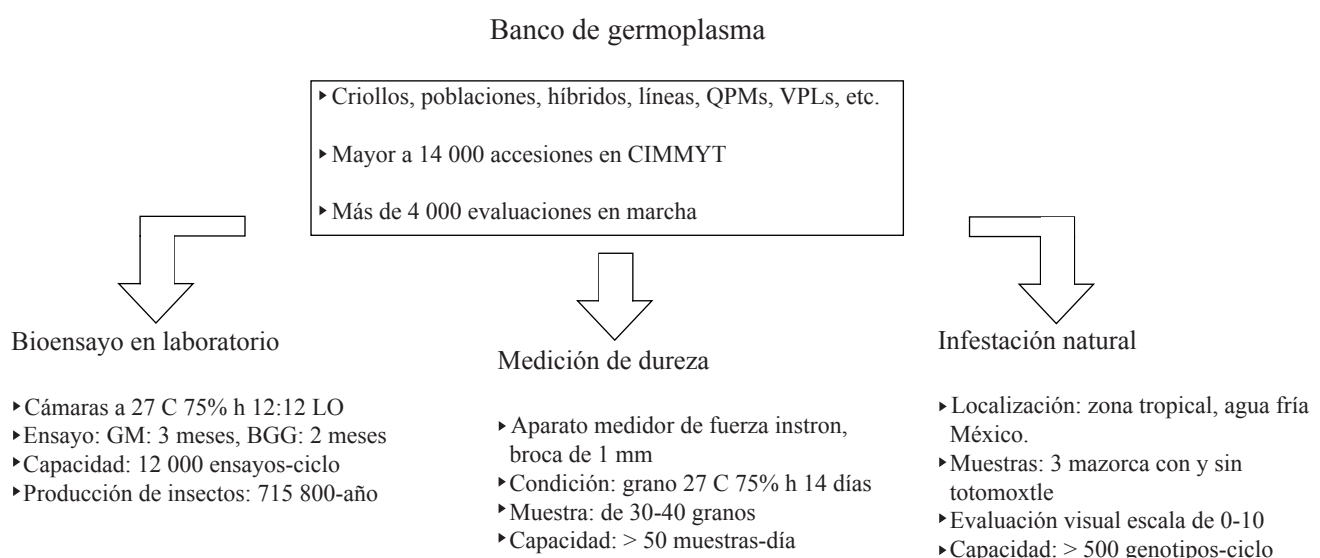
La implementación de nuevos métodos permitiría una evaluación más eficiente y efectiva de las variedades respecto a la resistencia a las principales plagas de poscosecha (Bergvinson y García-Lara, 2004b). En la Figura 3 se presenta de manera esquemática los métodos de evaluación que se proponen: 1) bioensayos en laboratorio para medir la pérdida de peso de grano y la cantidad de la progenie generada por el insecto, 2) evaluación de la dureza de grano asociada con la resistencia y 3) bioensayos bajo condiciones simuladas.

Los bioensayos en laboratorio minimizan la cantidad de material requerido y el tiempo de incubación y permiten evaluar en forma rápida la pérdida de peso de grano y la progenie del insecto. Consisten en infestar un muestra de grano bajo condiciones controladas durante dos meses para *S. zeamais* y tres para *P. truncatus*. Otro método rápido de evaluación consiste en medir la dureza de grano equilibrado a 13% de contenido de humedad por medio de un medidor de fuerza Instron con broca de 1 mm. Los valores de dureza se correlacionan con los parámetros de susceptibilidad. Los bioensayos bajo condiciones simuladas se realizan en una

troje bajo condiciones de temperatura y humedad relativa que se presentan en un almacén típico en una región tropical; el daño se evalúa por medio de una escala visual (Bergvinson y García-Lara, 2004b).

Los resultados obtenidos con el bioensayo en laboratorio permiten una evaluación rápida y precisa de la resistencia a gran escala, en comparación con el índice Dobie de susceptibilidad, que requiere más tiempo para su obtención (Dobie, 1974). Los valores de dureza de grano se correlacionaron con la resistencia a *S. zeamais* ( $r=0.46$ ) y para *P. truncatus* ( $r=0.39$ ). El nivel de correlación fue diferente para variedades de polinización libre, líneas, híbridos y poblaciones. Los ensayos bajo condiciones simuladas permitieron evaluar más de 500 genotipos en un ciclo, en los que se obtuvieron datos precisos de daño, los cuales se correlacionaron con los bioensayos en laboratorio (Bergvinson y García-Lara, 2004b).

Con la aplicación de los métodos anteriores, se logró identificar una amplia variabilidad genética en maíces con calidad proteica (QPM) y normales; así como en germoplasma con diferentes grados de mejoramiento resistente a plagas. Los métodos descritos permiten realizar evaluaciones precisas a gran escala, en menor tiempo y bajo costo (Bergvinson y García-Lara, 2004b). Estas innovaciones son herramientas de gran valor para acelerar el desarrollo de nuevas variedades de maíz resistentes a plagas de almacén.



**Figura 3. Representación esquemática de los métodos de evaluación utilizados en el Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo, para el desarrollo de variedades de maíz resistentes a plagas de poscosecha.**

## Mejoramiento de prácticas de conservación de grano

En los países en desarrollo, más de la tercera parte de la producción de maíz se consume a nivel local (Bergvinson, 2004). Los agricultores a pequeña escala han desarrollado prácticas (tradicionales) que les permiten conservar el grano con niveles de infestación bajos. Estas prácticas se deben promover, ya que son de uso común, bajo costo, bajo riesgo y efectivas; además, son el resultado de conocimientos que se han heredado a través de varias generaciones (Bellon, 1999).

Los estudios sobre la aplicación y mejoramiento de las prácticas tradicionales de conservación destacan aspectos fundamentales como: tiempo óptimo de cosecha, selección de mazorcas, desgranado, limpieza, secado (contenido de humedad de grano), estructuras para almacenamiento y control de plagas en todas las etapas.

Estudios a nivel mundial reportaron que el secado de grano es un punto crítico para su adecuada conservación (FAO, 1985; COSUDE, 1988). En las prácticas tradicionales el secado se realiza en el campo, en el interior de la vivienda (cocina), en espacios abiertos soleados, en espacios techados (colgado de mazorcas) y por medio de secadoras a base de gas (García-Lara *et al.*, 2007a, b).

Otro punto crítico en la conservación de grano son las estructuras de almacenamiento. Las tradicionales son generalmente inapropiadas debido que permiten el desarrollo de plagas o porque no permiten un secado apropiado (FAO, 1985). De acuerdo con Appert (1985), las estructuras de almacén más comunes se pueden clasificar en tres grupos: 1) estructuras abiertas (temporales y corredores), 2) estructuras cerradas (troje, palapa, tapanco, coscomate, bodega entre otras) y 3) contenedores semi o herméticos (bolsa, saco, tambo y silo). Un estudio detallado en el estado de Oaxaca permitió recomendar el uso de silos herméticos, por su eficiencia en el control de plagas (Manuel-Rosas *et al.*, 2007). Este estudio realizado con la participación de agricultores, mostró que el silo metálico hermético fue la mejor estructura de almacenamiento en comparación con dos estructuras tradicionales: mazorca y tenate. El silo metálico hermético mantuvo la semilla más seca (11.2%, contenido de humedad en el grano), con más pureza (98.2%) y con alto porcentaje de germinación (84%). El daño causado por insectos fue de 5.3% al cabo de 9 meses, comparado con 85% observado en otras estructuras. Lo anterior representa una reducción de 80% en daño, que se traduce en pérdidas menores al 30%.

En resumen, el silo permite el adecuado almacenamiento físico y fisiológico porque evita el ingreso de insectos y roedores, propicia la muerte de los insectos en su interior e impide el intercambio de humedad entre el ambiente y grano. Actualmente esta estructura se promociona en varias regiones de México a través de la distribución de un manual para su construcción y utilización (García-Lara *et al.*, 2007b).

Una práctica cultural efectiva es el uso de sustancias inertes que actúan como protectores de grano contra insectos como la tierra diatomea (polvo de alga marina preparado en Canadá); este compuesto ha probado su efectividad en silos comerciales (Fields y Korunic, 2000). En México, un ejemplo de este tipo de sustancias es un mineral que se encuentra en la Sierra de Morones, en el estado de Zacatecas y es conocido como "tizate". El tratamiento del grano con este mineral resultó altamente efectivo en la prevención y erradicación de plagas de almacén al disminuir el daño en 90% y pérdida de peso en 20% respecto al testigo sin tratar (Salcedo, 2002). El mecanismo de acción de estas sustancias se fundamenta en su característica adherente y abrasiva, lo que limita el movimiento de los insectos. El mineral se adhiere a la cutícula del insecto y posteriormente causa su muerte por deshidratación.

El uso de plantas nativas con propiedades repelentes también proporciona protección contra plagas de almacén. Una excelente revisión sobre el uso de más de 120 plantas la publicó el Instituto de Recursos Naturales del Reino Unido (Dales, 1996). La efectividad para combatir las plagas depende del componente activo que contienen y se da en el rango de 10 a 90%. Entre ellas, destacan los extractos proteicos de chícharo que han sido efectivos para el control de plagas en América (Taylor *et al.*, 2004). En México, algunas plantas de uso local como el epazote, hojas de eucalipto y hojas de la planta "maravilla mexicana" fueron evaluadas por Salcedo (2002); quien observó reducciones significativas en la presencia de plagas y en algunos casos mortandad. La difusión de las prácticas culturales mencionadas en las regiones donde el daño por plagas de almacén es crítico puede constituir un medio de control eficiente, de rápida adaptación y al alcance de los agricultores de bajos recursos.

## Transferencia de prácticas de almacenamiento y conservación de grano

Una vez validadas las prácticas de almacenamiento el paso siguiente es la promoción y transferencia, la cual debe llegar

hasta el agricultor para que sea efectiva (Bellon *et al.*, 2003). El material didáctico como manuales y carteles descriptivos, puede distribuirse a través de las instituciones agrícolas oficiales (García-Lara *et al.*, 2007b, c). La capacitación mediante pláticas y talleres, así como la demostración de las prácticas deberán dirigirse hacia los grupos o asociaciones de agricultores indígenas en las zonas más necesitadas. Éstos deben comunicarse en su lengua natal y con énfasis en la participación de las mujeres; ya que son ellas quienes aplican las prácticas de conservación (Bellon, 1999).

Las actividades individuales y el programa en conjunto se deben evaluar en forma periódica para adecuarlas a las condiciones socioeconómicas y ambientales de cada región y a la vez, obtener información sobre la funcionalidad, costo y dificultades de adopción, con lo que se retroalimenta el programa (Smale *et al.*, 2003). En este proceso deben participar agricultores y estudiosos en Ciencias Sociales, a fin de determinar con precisión el impacto de las actividades encaminadas a reducir las pérdidas poscosecha (Bellon *et al.*, 2003; Morris y Bellon, 2004). En México existen varios ejemplos con resultados exitosos (Bellon *et al.*, 2003 y 2005).

Resultados preliminares de la aplicación del programa integral en el Estado de México han permitido reducir significativamente las pérdidas de grano en almacén. En general, se ha estimado que el uso de variedades resistentes puede disminuir hasta en 20% las pérdidas, el silo metálico hasta 30% y la utilización de plantas repelentes y el acondicionamiento adecuado de grano hasta 10%; lo que da un total de 60% (Bergvinson y García-Lara, 2007). La correcta conservación del grano reduce las pérdidas, mejora la calidad y beneficia la economía de los productores (Smale *et al.*, 1998).

## CONCLUSIONES

El programa integral descrito en este trabajo ofrece la posibilidad de implementar actividades para reducir las pérdidas de maíz asociadas a plagas de almacén en México.

El programa propone como primera actividad la cuantificación y cartografía de las pérdidas poscosecha. En México se han determinado en el rango de 10 al 40%. Las regiones más afectadas son las tropicales y subtropicales y los insectos que más daño causan en poscosecha son:

*Sitophilus zeamais*, *Prostephanus truncatus* y *Sitotroga cerealella*.

El uso de variedades de maíz resistentes a plagas de almacén es una posibilidad real. En este sentido se han caracterizado variedades de maíz con esta característica. Los mecanismos y bases de resistencia se fundamentan en la composición del pericarpio y el endospermo. Estas estructuras poseen compuestos fenólicos y proteínas que limitan la penetración de insecto al grano de maíz.

Es fundamental contar con métodos eficientes y eficaces para identificar y seleccionar variedades resistentes; el bioensayo, dureza de grano y la evaluación en condiciones simuladas aportan información rápida, efectiva y de bajo costo.

Es prioritario mejorar las estructuras de almacén y las prácticas que utilizan los productores de maíz para la conservación del grano. El silo metálico, así como el uso de sustancias minerales y vegetales han mostrado su efectividad en varias regiones del país.

Para que las prácticas de conservación sean pertinentes y efectivas deben adecuarse y transferirse de acuerdo a las condiciones socioeconómicas de los agricultores y ambientales de la región.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por los donativos de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA) con el proyecto “Reducing Postharvest Losses in Maize” y por el proyecto del Fondo Mixto CONACYT-Estado de México (EDOMEX-2005-C01-10) intitulado “Tecnologías integrales para reducir las pérdidas en pos-cosecha de maíz en el Estado de México”.

## LITERATURA CITADA

- Appert, J. 1987. The storage of food grains and seeds. MacMillan. London, England. 146 p.
- Arnason, J. T.; Baum, B.; Gale, J.; Lambert, J. D. H.; Bergvinson, D.; Philogène, B. J. R.; Serratos, J. A.; Mihm, J. and Jewell, D. C. 1994. Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic

- and biochemical parameters. *Euphytica* 74:227-236.
- Arnason, J. T.; Conilh de Beyssac, B.; Philogène, B. J. R.; Bergvinson, D.; Serratos, J. A. and Mihm, J. 1997. Mechanism of resistance in maize grain to the maize weevil and the larger grain borer. p. 91-95. *In: Mihm, J. A. (ed.)*. Insect resistance maize. Recent advances and utilization. Proceeding of an international symposium held at CIMMYT. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. México D. F.
- Bellon, M. R. 1999. La incorporación del conocimiento "local" del agricultor en los estudios de adopción de tecnología. *In: Saín, G. (ed.)*. La adopción de tecnologías: La perspectiva del agricultor y sus implicaciones para la elaboración de políticas. San José, Costa Rica. p. 24.
- Bellon, M. R.; Adato, M.; Becerril, J. and Mindek, D. 2003. Impact of improved germplasm on poverty alleviation: the case of Tuxpeño-derived materials in Mexico. Food consumption and nutrition division discussion Paper No.162. IFPRI. Washington D. C.
- Bellon, M. R.; Hodson, D.; Bergvinson, D.; Beck, D.; Martínez-Romero, E. and Montoya, Y. 2005. Targeting agricultural research to benefit poor farmers: Relating poverty mapping to maize environments in Mexico. *Food Policy* 30:476-492.
- Bergvinson, D. J.; García-Lara, S.; Ramputh, A., Burt, A. and Arnason, J. T. 2001. Biochemical and genetic basis for storage pest resistance in maize. *In: Vazquez B., M. E., Facio P., F., Valdez O., A., y Daniel G., J.A (eds.)*. XI Curso internacional de actualización en tecnología de semillas. poscosecha de granos y semillas. Saltillo, Coahuila, México. p. 58-66.
- Bergvinson, D. J. and García-Lara, S. 2003. Advances in tropical maize resistance to storage pests. *In: CIMMYT (ed.)*. International Symposium on Plant Breeding. México, D. F. p. 2-3.
- Bergvinson, D. J. 2004. Opportunities and challenges for IPM in developing countries. *In: Koul, O., Dhaliwal, G. S. and Cuperus, G. W. (eds.)* Integrated pest management potential, constraints and challenges. Oklahoma, OK, USA. p. 281-312.
- Bergvinson, D. J. and García-Lara, S. 2004a. Genetic approaches to reducing losses of stored grain to insects and diseases. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7:480-485.
- Bergvinson, D. J. and García-Lara, S. 2004b. Métodos de evaluación de germoplasma de maíz para el desarrollo de resistencia contra plagas de post-cosecha. *In: Deras, R. y Ayala, J. M. (Comps.)*. 50th. Reunión anual del PCCMCA. San Salvador, El Salvador. p.151.
- Bergvinson, D. J. y García-Lara, S. 2007. Tecnologías integrales para reducir las pérdidas poscosecha. En el Estado de México. Reporte técnico parcial fase I 2005-2007. Fondo mixto CONACYT-Estado de México. México, Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Comisión Suiza para el Desarrollo (COSUDE). 1998. Secamiento de granos su importancia y las prácticas comunes. Programa regional poscosecha. Agencia suiza para el desarrollo y la cooperación. Managua, Nicaragua. 50 p.
- Dales, J. M. 1996. A review of plants materials used for controlling insect pests of stored products. *Natural Resources Institute Bulletin* 65, Chatham, UK. Natural Resource Institute. 84 p.
- Dobie, P. 1974. The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 10:183-197.
- Dowd, P. F. 1994. Enhanced maize (*Zea mays* L.) pericarp browning: associations with insect resistance and involvement of oxidizing enzymes. *J. Chem. Ecol.* 20:2777-2803.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1985. Seca-aireación de granos. Serie: Tecnología Postcosecha 5. Roma, Italia. 80 p.
- Fields, P. and Korunic, Z. 2000. The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *J. Stored Prod. Res.* 36:1-13.
- García-Lara, S.; Burt, A. J.; Serratos J. A.; Díaz-Pontones, D. M.; Arnason, J. T. and Bergvinson, D. 2003. Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae): mecanismos y bases de la resistencia. *Rev. Educ. Bioquímica.* 22:138-145.
- García-Lara, S.; Bergvinson, D. J.; Burt, A. J.; Ramputh, A. I.; Díaz-Pontones, D. M. and Arnason, J. T. 2004. The role of pericarp cell wall components in maize weevil resistance. *Crop Sci.* 44:1546-1552.
- García-Lara, S.; Arnason, J. T.; Díaz-Pontones, D.; Gonzalez, E. and Bergvinson, D. J. 2007a. Soluble



- peroxidase activity in maize endosperm associated with maize weevil resistance. *Crop Sci.* 47:1125-1130.
- García-Lara S.; Saucedo-Camarillo, N. y Bergvinson, D. J. 2007b. El silo metálico. Manual técnico de fabricación y manejo. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México 74 p.
- García-Lara S.; Espinosa Carrillo, C. y Bergvinson, D. J. 2007c. Manual de plagas en granos almacenados y tecnologías alternas para su manejo y control. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México. 56 p.
- Lilja, N. and Bellon, M. 2006. Analysis of participatory research projects in the international maize and wheat improvement center. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Manuel R., I.; Gil M., A.; Ramírez V., B.; Hernández S., J. H. y Bellon, M. 2007. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:69-78.
- Markham, R. H.; Bosque-Pérez, N. A.; Borgemeister, C. and Meikle, W. G. 1994. Developing pest management strategies for the maize weevil, *Sitophilus zeamais*, and the large grain borer, *Prostephanus truncatus*, in the humid and sub-humid tropics. *FAO Plant Prot. Bull.* 42:125-136.
- Morris M. L. and Bellon, M. R. 2004. Participatory plant breeding research: Opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica.* 136:21-35.
- Ortega, A. 1987. Insects pest of maize. A guide for field identification. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México 45 p.
- Pollack, L. M. and White, P. J. 1995. Corn as a food source in the United States: Part I. Historical and current perspectives. *Cereal Foods World.* 40:749-754.
- Pingali, P. L. and Pandey, S. 2001. World maize needs meeting: Technological opportunities and priorities for the public sector. *In: Pingali, P. L. (ed.). CIMMYT 1999-2000. World maize facts and trends. meeting world maize needs: Technological opportunities and priorities for the public sector.* Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México.
- Salcedo, N. C. 2002. Evaluación y opciones de tecnología tradicional poscosecha de maíz en Sierra Morones, Tlatenango de Sánchez Román, Zacatecas. Tesis de Licenciatura. Universidad La Salle. México. D. F. 112 p.
- Savidan, A. and Bergvinson, D. J. 2000. Insects in stored maize. *In: EMBRAPA (ed.) XXI International Congress of Entomology.* Iguassu Falls, Brazil. p. 89.
- Serratos, A.; Arnason, J. T.; Nozzolillo, C.; Lambert, J. D.; H., Philogene, B. J. R.; Fulcher, G.; Davidson, K.; Peacock, L.; Atkinson, J. and Morand, P. 1987. Factors contributing to resistance of exotic maize populations to maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *J. Chem. Ecol.* 13:751-762.
- Sharma, H. C. and Ortiz, R. 2002. Host plant resistance to insects: an eco-friendly approach for pest management and environment conservation. *J. Environ. Biol.* 23:111-135.
- Smale, M.; Aguirre, A.; Bellon, M.; Mendoza, J.; and Manuel R., I. 1998. Farmer management of maize diversity in the central valleys of Oaxaca, Mexico. CIMMYT. Economics Working Paper 99-09. Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo. El Batán, Estado de México, México. 503 p.
- Smale, M.; Bellon, M. R.; Aguirre, J. A.; Rosas, I. M.; Mendoza, J.; Solano, A. M.; Martínez, R.; Ramírez, A. and Berthaud, J. 2003. The economic costs and benefits of participatory project to conserve maize landraces on farm in Oaxaca, Mexico. *Agricultural Economics.* 29:265-275.
- Taylor, W. G.; Fields, P. G. and Elder, J. L. 2004. Insecticidal components from field pea extracts: isolation and separation of peptide mixtures related to pea Albumin 1b. *J. Agric. Food Chem.* 52:7491-7498.
- Tigar, B. J.; Key, G. E.; Flores-S, M. E. and Vazquez-A, M. 1994a. Field and post-maturation infestation of maize by stored product pest in Mexico. *J. Stored Prod. Res.* 30:1-8.
- Tigar, B. J.; Osborne, P. E.; Key, G. E.; Flores-S., M. E. and Vazquez-A., M. 1994b. Insect pest associated with rural maize stores in Mexico with particular reference to *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.* 30:267-281.
- Torres, T. F. 1995. El sistema poscosecha y la alimentación nacional. *In: E. Moreno, F. Torres, e I. Chong (eds.). Programa Universitario de Alimentos Universidad Autónoma de México.* México D. F. 200 p.