

Maíces Bt: manejo de la resistencia de los insectos blanco y nuevos eventos disponibles

Flores, Fernando (1); Parodi, Betiana (2) .(1)EEA INTA Marcos Juárez.

(2) EEA INTA Castelar fflores@mjuarezinta.gov.ar

Introducción

Desde 1998 en Argentina se cuenta con la posibilidad de utilizar variedades de maíz transgénicos (o genéticamente modificados, GM) resistentes a insectos lepidópteros, particularmente efectivos para el control del barrenador *Diatraea saccharalis*. Estas variedades son conocidas como “maíz Bt” ya que el gen incorporado por ingeniería genética proviene de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, históricamente utilizada como agente microbiano de control biológico en la producción orgánica de vegetales y hortalizas. Desde el punto de vista de la efectividad en el control de plagas, la ventaja de esta estrategia de transgénesis radica en que la expresión de las proteínas insecticidas es constitutiva, es decir, el transgén introducido se expresa en todos los tejidos de la planta; por lo tanto, los insectos que ingresan en el tallo o atacan las raíces –lugares donde los tratamientos químicos o en base a suspensiones bacterianas de *B. thuringiensis* no son efectivos– son alcanzados por la proteína insecticida expresada en los tejidos internos del tallo y la raíz. Se han desarrollado numerosos eventos de maíz Bt incorporando diferentes genes insecticidas bacterianos (genes Bt) acorde a las plagas que se desean controlar, estando aprobados diferencialmente en diversos países para cultivo y/o consumo humano y animal, principalmente en Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá, Australia, España, Sudáfrica, entre otros (James 2011). Los genes insecticidas Bt han sido también incorporados por ingeniería genética en el algodón (algodón Bt) comercialmente cultivado hace más de una década en diversos países, incluyendo Argentina (CERA GMC Database, www.cera-gmc.org).

Beneficios del maíz Bt y su adopción en Argentina

En Argentina, el primer evento transgénico de maíz Bt (evento “176”) se aprobó en 1998 y, desde ese entonces, una decena de eventos diferentes de maíz Bt se han aprobado para su cultivo y comercialización, como se indica en el cuadro 1. Los diferentes eventos de maíz Bt aprobados en Argentina permiten controlar no solo al barrenador del tallo *Diatraea saccharalis* sino también a otros lepidópteros (control parcial) plaga como la isoca de la espiga (*Helicoverpa zea*), la oruga cortadora (*Agrotis* spp.) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), este último especialmente por acción de la proteína Cry1F presente en el evento TC1507 (conocido comercialmente como “Herculex”); mientras que los eventos con resistencia a coleópteros recientemente aprobados permiten controlar los gusanos de la raíz (*Diabrotica* spp.).

Cuadro 1. Eventos de maíz Bt GM aprobados para su comercialización en Argentina

Características otorgadas	Transgenes introducidos	Eventos	Nombre comercial (empresa)	Año de aprobación
RL	<i>cry1Ab</i>	176	*	1998
RL	<i>cry1Ab</i>	MON810	MaízGard (MG) (Monsanto)	1998
RL	<i>cry1Ab</i>	Bt11	Agrisure TDMax (Syngenta)	2001
RL y TH (glu)	<i>cry1Fa2 y pat</i>	TC 1507	Herculex (Hx) + Liberty Link (LL) (Pioneer + Dow)	2005
RL y TH (gli)	<i>cry1Ab y cp4-epsps</i>	NK603 x MON810 ^a	MG + RR2 (Monsanto)	2007
RL y TH (glu+gli)	<i>cry1Fa2, pat y cp4-epsps</i>	TC1507 x NK603 ^a	Hx+LL+RR2 (Pioneer + Dow)	2008
RL y TH (gli)	<i>cry1Ab y epsps</i>	Bt11 x GA21	Agrisure TD/TG (Syngenta)	2009
RC y TH (gli)	<i>cry3Bb1 y cp4-epsps</i>	MON88017	(Monsanto)	2010
RL	<i>cry1A.105 y cry2Ab</i>	MON89034	(Monsanto)	2010
RL, RC y TH (gli)	<i>cry1A.105, cry2Ab, cry3Bb1 y cp4-epsps</i>	MON89034 x MON88017 ^a	VT Triple Pro (Monsanto)	2010
RL	<i>vip3Aa20</i>	MIR162	Agrisure Viptera (Syngenta)	2011

RL = Resistencia a lepidópteros; RC= Resistencia a coleópteros; TH= Tolerancia a herbicidas: glu= glufosinato de amonio, gli= glifosato; *: ya no disponible en el mercado; ^a = evento acumulado.

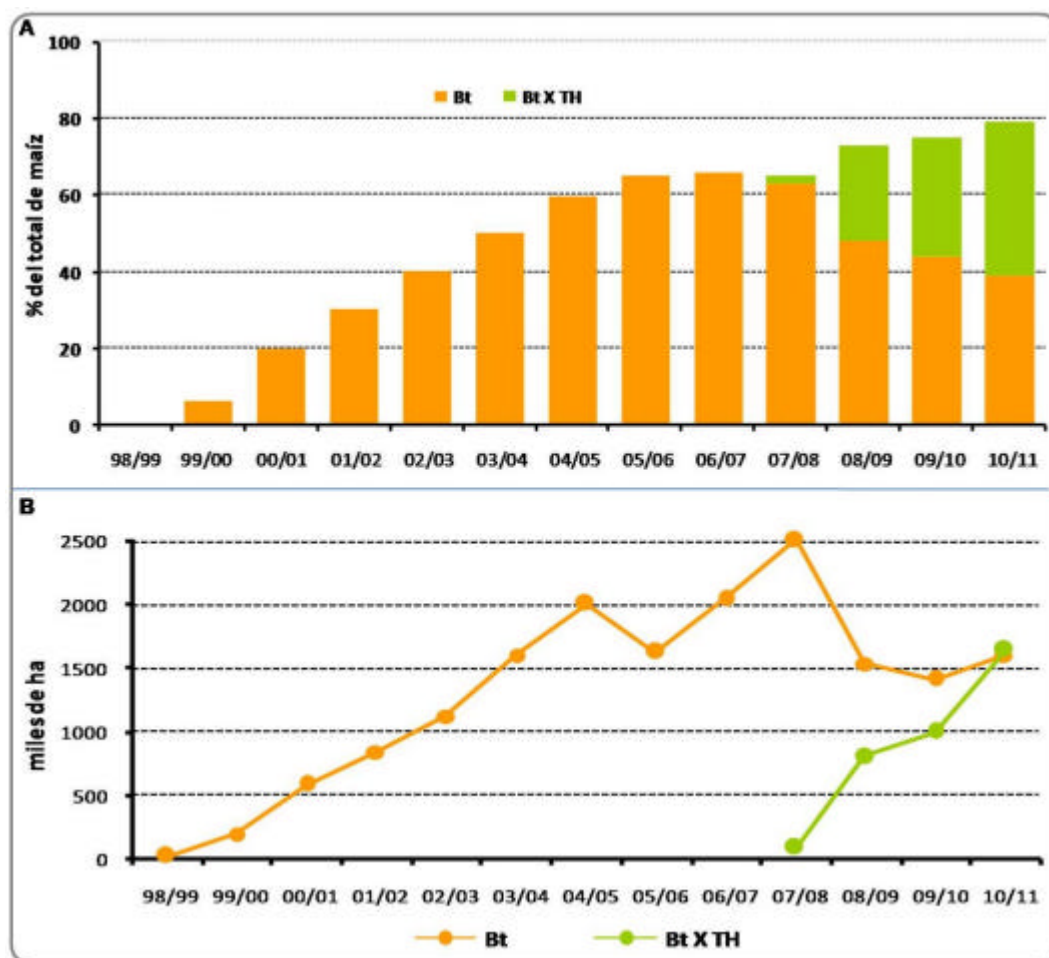
(Fuente: CONABIA 2011).

La resistencia a insectos en algunos eventos de maíz GM se presenta junto con la característica de tolerancia a herbicidas (glufosinato de amonio y/o glifosato), siendo algunas veces obtenidos por un solo evento de transformación con una construcción genética que contiene ambos genes, y otras veces dicha combinación se obtiene por el cruzamiento convencional de dos variedades GM con cada característica individual.

Cuando la estrategia elegida es esta última, la nueva variedad GM se conoce como “evento acumulado”. El primer evento acumulado de maíz GM se aprobó en 2007 y este tipo de variedades acumuladas es, en híbridos de maíz, la estrategia comercial cada vez más utilizada por las empresas semilleras dada la flexibilidad que otorga al permitir acumular las características más apropiadas a cada agroecosistema.

El maíz Bt ha demostrado otorgar múltiples beneficios en los países adoptantes, además del control efectivo de las plagas para el cual fueron desarrollados. Estos diversos beneficios han impactado en forma positiva directa e indirectamente sobre los productores, el medioambiente y los consumidores. Entre algunos de los beneficios se pueden mencionar la disminución en el uso de insecticidas químicos, la posibilidad de planificar las fechas de siembra y cosecha más flexiblemente, prolongar el período de secado del grano en la planta, la posibilidad de realizar maíz de segunda con menor riesgo, la conservación de los agentes de control biológico, el incremento en el rendimiento debido principalmente a la prevención del ataque, la disminución en el uso de agua al acotar las pulverizaciones, la reducción de los costos de control tradicionales, la mejor calidad de los granos, la disminución en el contenido de micotoxinas, la merma en la densidad de la plaga reduciendo el ataque de la misma a otros cultivos, todo esto en un contexto de MIP (revisiones en Trigo y Cap (2006), Brooks (2007), Romeis et al. (2008), Barros et al. (2009), Lewi y Rubinstein (2010). En consecuencia, la adopción de estas variedades creció año a año a nivel mundial y nuestro país no fue la excepción. En el gráfico 1 se refleja el constante incremento, campaña tras campaña, para el maíz Bt en Argentina, el cual alcanzó casi el 80 % del área sembrada con maíz en la campaña 2010/2011 (Gráfico 1A). De este porcentaje, 1,59 millones de hectáreas correspondieron a eventos Bt simples y 1,64 millones ha (65,3 % superior a la campaña 2009/2010) fueron sembradas con los nuevos eventos acumulados que presentan resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, equiparándose ambas superficies por primera vez (Gráfico 1B) (ArgenBio 2011). Esta adopción de variedades GM se da también en un contexto de innovación tecnológica a nivel agrícola, en conjunto con la implementación de la siembra directa y la tecnología de agricultura de precisión, el uso de híbridos de alto potencial con fondo genético mejorado por programas de mejoramiento asistido por marcadores moleculares, y una mayor concientización sobre el uso correcto de fertilizantes y sistemas de riego apropiados, que, en forma aunada, permitieron elevar el rendimiento promedio del maíz de 47 q/ha en la década de 1990 a 63 q/ha en el período 2000-2004 (Rossi 2006).

Gráfico 1. Evolución de la adopción de variedades transgénicas de maíz Bt en Argentina en eventos simples (Bt) o en eventos acumulados con tolerancia a herbicidas (Bt x TH) desde 1998. A) Adopción en forma porcentual sobre el total de la superficie de producción de maíz. B) Adopción medida acorde a la superficie sembrada con maíz Bt o Bt x TH.



(Fuente: Argenbio 2011.)

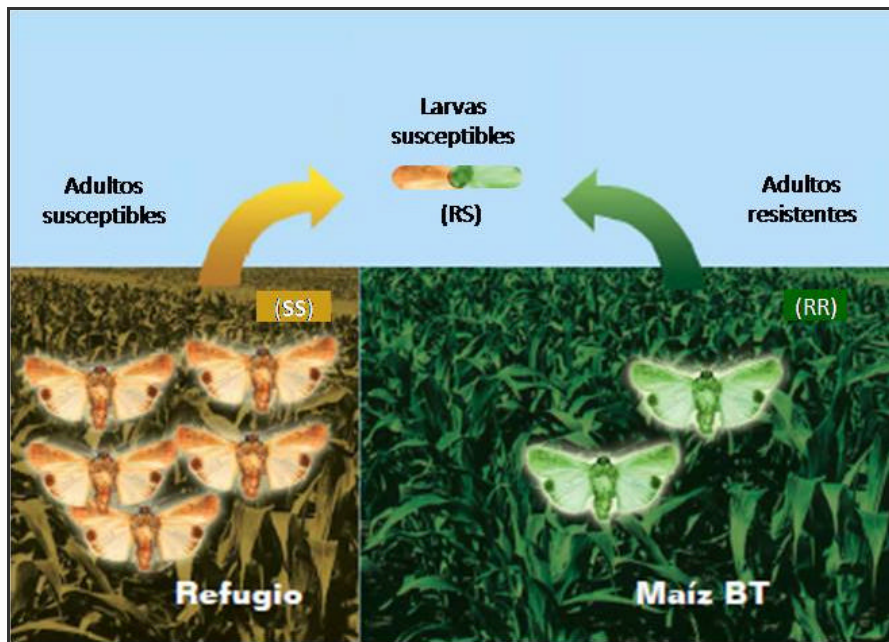
Prolongar la vida útil de la tecnología

Una de las principales bondades de las variedades transgénicas Bt es su espectro de acción acotado y especie-específico, evitando impactos negativos sobre especies no blanco. Esta característica se debe a la naturaleza y funcionalidad de las proteínas codificadas por los genes insecticidas provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* introducidos en los cultivos Bt. Estas proteínas cumplen su acción insecticida al adherirse a un receptor presente en las células intestinales presentes en forma específica en los insectos diana. Debido a esta alta especificidad, el desarrollo de un cultivo Bt requiere de un largo estudio previo de búsqueda del gen Bt específico para las especies de insectos que se quieren controlar. Los animales superiores (aves, peces, mamíferos, etc.) no tienen esos receptores, razón por la cual las proteínas insecticidas Bt no tienen efecto sobre ellos, y la misma es digerida como cualquier otra proteína presente en la dieta.

Debido a las bondades ambientales del uso de estas proteínas insecticidas y a los beneficios comprobados de los maíces Bt, en los países adoptantes de la tecnología, incluyendo la Argentina, los organismos regulatorios encargados de evaluar la bioseguridad ambiental de los cultivos transgénicos (a CONABIA en Argentina) han propuesto medidas para preservar la vida útil de estos productos. El objetivo principal es demorar el surgimiento de insectos resistentes al maíz Bt, para lo cual se ha diseñado un programa de manejo de la resistencia de los insectos (MRI) basado en múltiples estrategias. La base fundamental del programa de MRI es evitar que aumente la cantidad de insectos que naturalmente presentan resistencia a las biotoxinas Bt (los insectos pueden presentar variantes genéticas en los receptores –mutaciones– que evitan el accionar de la proteína Bt). El programa de MRI se debe adecuar a cada sistema en particular (cultivo Bt + plaga + agroecosistema) en base al conocimiento sobre la biología de los insectos blanco y a la genética de la resistencia al gen Bt introducido.

En la actualidad, el programa de manejo de la resistencia propuesto en Argentina para los maíces Bt requiere del trabajo mancomunado del sector semillero y del productor. Al primero le compete la calidad genética de las semillas Bt, dado que se deben utilizar varietales transgénicos que expresan una alta dosis de la proteína insecticida, para lo cual los eventos Bt aprobados deben satisfacer dicho requerimiento. Por su parte, el productor es responsable de implementar un área dentro de su lote en la cual NO siembre semillas Bt. Esta superficie del 10% del lote, conocido como “Refugio”, cumple la función de permitir el desarrollo de insectos que no estén sometidos a la presión de selección de la toxina Bt, de modo de proveer insectos susceptibles al maíz Bt que puedan cruzarse con los posibles insectos resistentes al Bt que se seleccionen en el lote de maíz Bt. Las larvas resultantes de dicho cruzamiento son controladas por la alta dosis de la toxina presente en el cultivo Bt, como se representa en la Figura 1.

Figura 1. Esquema representativo del funcionamiento del refugio para el maíz Bt bajo los supuestos de la estrategia “alta dosis + refugio”. (Fuente: adaptado a partir de ASA 2005.)



Prolongar la vida útil de los maíces Bt requiere del trabajo responsable de los productores no solo sembrando el refugio sino también comunicando a su agrónomo/entomólogo referente (del SINAVIMO, del INTA, de la empresa proveedora de semillas, en la página web www.programarefugio.com, etc.) la presencia de plantas en el lote Bt con daños por larvas, en caso de detectarlo. Particularmente para *Diatraea saccharalis*, en los estados de Texas y Louisiana, EE.UU., ya se han detectado individuos resistentes al maíz Bt (Huang y col. 2008); si bien la base genética de dichas poblaciones de EE.UU. puede ser distinta a la de las poblaciones argentinas del barrenador, el antecedente merece especial atención y los recaudos pertinentes.

Por su parte, las empresas que desarrollan estos cultivos biotecnológicos se encuentran constantemente buscando nuevos genes insecticidas tanto o más benéficos que los genes hasta ahora utilizados y que tengan un mecanismo distinto de resistencia en los insectos, para poder así disminuir la probabilidad de desarrollo de la resistencia de los insectos a los cultivos transgénicos insecticidas. En este sentido, el 19 de mayo de 2011, la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (Res. SAGYP N° 266/2011) aprobó un nuevo evento de maíz Bt, MIR162 que contiene un gen nuevo de diferente modo de acción, el gen *vip3A*, también proveniente de *Bacillus thuringiensis*, y que presenta los mismos beneficios que los genes presentes en los varietales Bt comercializados durante los últimos trece años.

Asimismo, el programa de MRI ha implementado en conjunto con las universidades y el INTA diferentes proyectos de investigación y monitoreo de la resistencia. En este sentido, en INTA se está llevando a cabo un proyecto integrado por diversas EEA por el cual se está realizando la caracterización genética de las poblaciones de *Diatraea saccharalis* de Argentina, el estudio de posibles biotipos asociados a diferentes cultivos, la dinámica de su variabilidad genética a lo largo de los años, entre otros factores que pueden influir en el diseño del plan de manejo de la resistencia.-

Referencias

- A.S.A. (2005). Folleto de Información Técnica: Claves para un buen manejo del maíz Bt:
<http://www.programarefugio.com/documentos/folletorefugiotecnico2005.pdf>
- Barros, G., Magnoli, C., Reynoso, M., Ramirez, M., Farnochi, M., Torres, A., Dalcero, M., Sequeira, J., Rubinstein, C. y Chulze, S. (2009). "Fungal and mycotoxin contamination in Bt maize and non-Bt maize grown in Argentina." *World Mycotoxin Journal* **2**(1): 53-60.
- Brookes, G. (2007). The benefits of adopting genetically modified, insect resistant (Bt) maize in the European Union (EU): first results from 1998-2006 plantings: <http://www.pgeconomics.co.uk/publications.php>
- Huang, F., Leonard, R., Moore, S., Yue, B., Parker, R., Reagan, T., Stout, M., Cook, D., Akbar, W., Chilcutt, C., White, W., Lee, D. y Biles, S. (2008b). "Geographical susceptibility of Louisiana and Texas populations of the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae) to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab protein." *Crop protection* **27**(3-5): 799-806.
- James, C. (2011). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. Ithaca, NY, ISAAA www.isaaa.org
- Lewi, D. y Rubinstein, C. (2010). Obtención de plantas resistentes a insectos. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. G. Levitus, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp and L. Mroginski. Buenos Aires, INTA: Parte V, Cap. 10: 495-506. www.argenbio.org/adf/uploads/Libro_INTA_II/Parte_V.pdf
- Romeis, J. A., Shelton, M. y Kennedy, G. G. (2008). Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs. Dordrecht, The Netherlands, Springer.
- Rossi, D. (2006). El contexto del proceso de adopción de cultivares transgénicos en la Argentina. *Revista AgroMensajes de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR*. **20** (12) Diciembre de 2006.
- Trigo, E. J. y Cap, E. J. (2006). Diez Años de Cultivos Genéticamente Modificados en la Agricultura Argentina: www.argenbio.org