

El maíz Bt en España: experiencia tras 12 años de cultivo

Pedro Castañera, Félix Ortego, Pedro Hernández-Crespo, Gema P. Farinós (Departamento de Biología Medioambiental, Centro de Investigaciones Biológicas, CSIC, Madrid).

Ramón Albajes, Matilde Eizaguirre, Carmen López, Belén Lumbierres y Xavier Pons (Centre UdL-IRTA, Universitat de Lleida, Lleida).

Unidad Asociada UdL-CIB "Sostenibilidad de cultivos genéticamente modificados"

El maíz transgénico resistente a taladros (maíz Bt) se cultiva en España desde 1998 y su superficie ha ido en aumento hasta alcanzar un 22% del total de la superficie de maíz cultivado. Durante este periodo, y como parte de los planes de seguimiento post-comercialización coordinados por la Administración Pública, se han realizado estudios para determinar los efectos del cultivo continuado del maíz Bt sobre el medio ambiente. Específicamente, se ha realizado un seguimiento de la posible aparición de resistencia a las toxinas Bt en las poblaciones españolas de taladros, se han llevado a cabo estudios para validar la estrategia de refugios para el manejo de la resistencia, y se ha evaluado el impacto potencial de las variedades de maíz Bt sobre fauna no-diana. Los resultados obtenidos en un escenario real y tras 12 años de cultivo aportan los conocimientos necesarios para una toma de decisiones basada en datos científicos.

El cultivo del maíz Bt en España

Los taladros o barrenadores del maíz, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera, Crambidae) y *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera, Noctuidae) son las dos plagas con mayor incidencia económica sobre el cultivo de maíz en el área Mediterránea (Figura 1a). Los daños producidos por ambas especies de taladros están relacionados con el comportamiento de las larvas, que penetran en las plantas de maíz excavando galerías que reducen su vigor y favorecen la rotura de las cañas. Además, las larvas de taladros pueden pasar a la mazorca, favoreciendo la entrada de hongos fitopatógenos capaces de producir micotoxinas (Figura 1b), lo que representa un grave problema para el consumo del grano. El maíz transgénico que expresa un fragmento de la proteína insecticida Cry1Ab de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) ofrece altos niveles intrínsecos de resistencia a las dos especies de taladro y constituye una herramienta eficaz y de fácil manejo para el control de estas plagas.

El cultivo de maíz Bt se inició en España en

1998, con la aprobación de la variedad Compa CB (evento 176). La superficie cultivada con esta variedad se mantuvo en torno a las 20.000 ha, hasta su retirada del mercado en el año 2005 (Figura 2a). A partir del año 2003 comenzaron a comercializarse variedades derivadas del evento MON810, y su superficie ha ido en aumento hasta alcanzar las 76.057 ha en la campaña 2009, lo que representa un 22% del total de la superficie de maíz cultivado en España

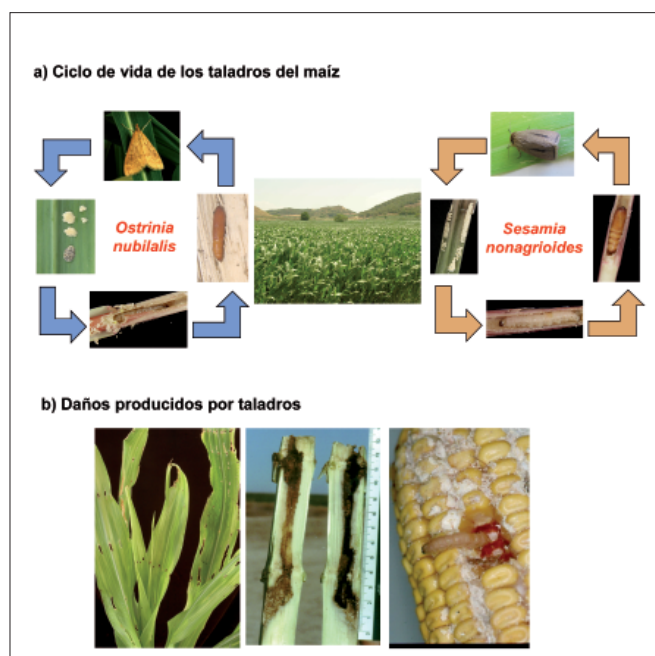


Figura 1. a) Ciclo de vida (adultos, huevos, larvas y pupas) de las dos principales especies de taladros del maíz en España; y b) Daños producidos por taladros en hojas, cañas y mazorcas de maíz.

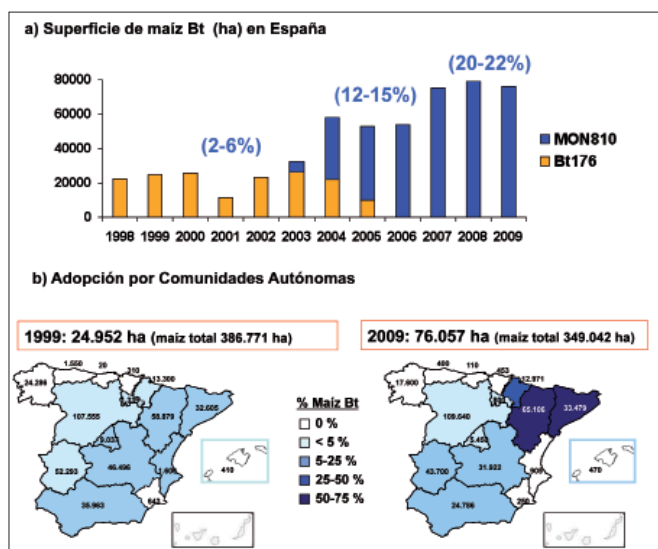


Figura 2. a) Superficie (ha) cultivada en España con variedades de maíz Bt derivadas de los eventos Bt176 y MON810 en el periodo 1998-2009 (entre paréntesis se indica el porcentaje de maíz Bt respecto a la superficie total de maíz); y **b)** Adopción del cultivo del maíz Bt por Comunidades Autónomas. Se indica la superficie total de maíz y el porcentaje de maíz Bt (código de colores) en cada Comunidad Autónoma.

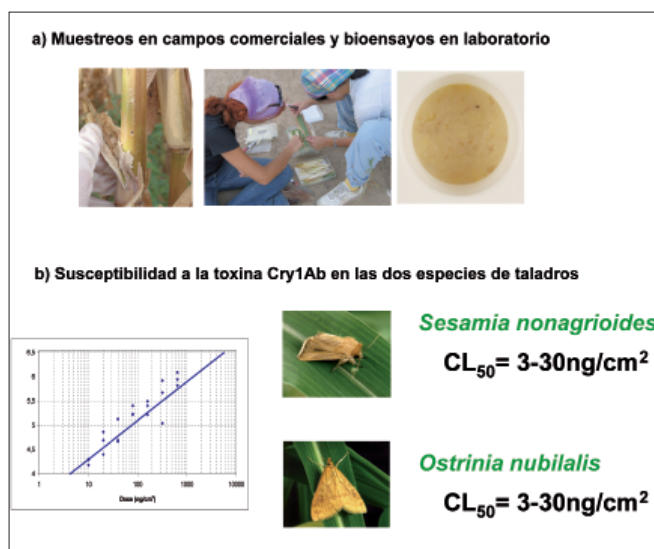


Figura 3. a) Muestréos de taladros en campos comerciales y bioensayos en laboratorio mediante la técnica de tratamiento en superficie para el seguimiento de la resistencia; y **b)** Determinación de la susceptibilidad a la toxina Cry1Ab en las dos especies de taladros (CL₅₀, concentración de la toxina que mata al 50% de las larvas a los 7 días) mediante la realización de análisis probit.

(Figura 2a). Sin embargo, la adopción del cultivo ha sido desigual entre Comunidades Autónomas, pasando de ser menor del 25% en toda España en 1999 a estar por encima del 50% en Aragón y Cataluña en 2009 (Figura 2b).

Impactos potenciales: el debate

La normativa comunitaria relativa al cultivo de plantas genéticamente modificadas exige una evaluación exhaustiva del riesgo para el medio ambiente y la salud humana y animal para que un nuevo evento sea aprobado para su comercialización en la Unión Europea. El resultado es que el maíz Bt resistente a taladros es posiblemente uno de los métodos de control de plagas mejor evaluados en lo que se refiere a sus impactos potenciales sobre la salud y el medio ambiente, existiendo un amplio consenso sobre su seguridad entre la comunidad científica. Sin embargo, aquellos estudios que han tenido mayor repercusión y han ocupado mayor espacio en los medios de comunicación han sido aquellos que alertaban sobre algún tipo de impacto potencial. Esto ha suscitado un intenso debate, hoy en día aún no cerrado, sobre posibles efectos adversos no identificados o que podrían aparecer a largo plazo. La legislación española, adelantándose a la Directiva 2001/18/EC, exige la realización de Planes de Seguimiento de las variedades de maíz Bt que se cultivan en España. El objetivo es evaluar,

caso por caso, los efectos que podrían derivarse del cultivo del maíz Bt a escala comercial, ya sean directos o indirectos, inmediatos o diferidos, en el medio ambiente.

Esa situación singular de nuestro país propició que los equipos de investigación de la Unidad Asociada UdL-CIB "Sostenibilidad de cultivos genéticamente modificados" hayan participado en los estudios realizados en España con maíz Bt resistente a taladros desde que se inició su cultivo en 1998. Específicamente, los dos grupos han llevado a cabo los estudios encargados por la Administración Pública para evaluar el impacto potencial de las variedades de maíz Bt sobre fauna no-diana y, en el caso del CIB, el seguimiento de la posible aparición de resistencia a las toxinas Bt en las poblaciones españolas de taladros. Paralelamente a las actividades anteriormente mencionadas, los dos laboratorios han desarrollado otros trabajos científicos encaminados a generar datos y métodos que puedan ayudar a tomar decisiones acerca de la seguridad de ese tipo de cultivos y al manejo de los mismos que, contribuyendo a su sostenibilidad.

El problema de la resistencia

Los niveles de toxina expresados en el maíz Bt suponen una elevada presión de selección para las plagas diana, por lo que su cultivo a gran escala puede favorecer la selección de resistencia en las

dos especies de taladros. El modo de acción de las toxinas Cry sobre las especies diana es un proceso complejo que consta de varias etapas y alteraciones en cualquiera de ellas puede resultar en el desarrollo de resistencia. Tanto la protoxina producida por *B. thuringiensis* como la toxina truncada expresada en el maíz Bt son procesadas por las proteasas digestivas de los taladros para generar la forma activa de la toxina, que es entonces capaz de unirse a receptores específicos situados en la membrana de las células del epitelio intestinal dando lugar a la formación de poros, lo que provoca la lisis de las células y la muerte del insecto. Los principales mecanismos de resistencia en insectos diana frente a las toxinas Bt se deben a cambios en la expresión de las proteasas digestivas implicadas en el procesamiento y/o degradación de la toxina, y a modificaciones estructurales de las moléculas diana (cadherina, aminopeptidasa N, etc.) que impiden la unión de la toxina al receptor.

La detección precoz de insectos resistentes en poblaciones naturales de taladros es de enorme utilidad para implementar las medidas de manejo oportunas. Coincidiendo con el inicio del cultivo del maíz Bt en España en 1998, se puso en marcha un programa de seguimiento de la resistencia en taladros que tenía como objetivos: a) determinar las áreas agro-ecológicas de interés; b) establecer la susceptibilidad basal de las poblaciones de taladros en estas áreas; y c) realizar un seguimiento

sistemático de la susceptibilidad para detectar la aparición de poblaciones resistentes (GONZÁLEZ-NÚÑEZ *et al.*, 2000; FARINÓS *et al.*, 2004a).

Considerando las principales zonas maiceras del país y los diferentes grados de adopción del maíz Bt en cada una de ellas, se han establecido tres áreas agro-ecológicas de interés: Suroeste (Andalucía y Extremadura), Centro (Castilla-La Mancha y Madrid) y Noreste (Aragón y Cataluña). El seguimiento de la resistencia se realiza mediante muestreos anuales de poblaciones de las dos especies de taladros en campos comerciales de las tres áreas y la realización de bioensayos en laboratorio (Figura 3a). El método de muestreo establecido consiste en recoger, en otoño, unas 1.000 larvas procedentes de campos Bt, o refugios adyacentes a éstos, en cada una de las zonas de muestreo. Los bioensayos para determinar la susceptibilidad de los taladros a la toxina se realizan con larvas neonatas descendientes de las recogidas en campo, que son expuestas a concentraciones crecientes de la toxina Cry1Ab aplicada sobre la superficie de la dieta de cría (CASTAÑERA *et al.*, 2004). Para cada población, los datos de mortalidad permiten determinar la susceptibilidad a la toxina (CL_{50} , concentración de la toxina que mata al 50% de las larvas a los 7 días) mediante la realización de análisis probit. (Figura 3b). Hasta la fecha, no se han observado cambios significativos a lo largo del tiempo en ninguna de las zonas muestreadas, oscilando los valores de CL_{50} entre 3 y 30 ng/cm² para las dos especies de taladros (FARINÓS *et al.*, 2004b; CASTAÑERA *et al.*, 2005), indicando que no se ha desarrollado resistencia después de 12 años de cultivo continuado de maíz Bt.

Estrategias para el manejo de la resistencia

Para poder mantener la eficacia del maíz Bt a largo plazo es necesario utilizar estrategias que permitan prevenir o retrasar la aparición de poblaciones resistentes. La estrategia mayoritariamente recomendada es conocida como de "dosis alta/refugio" y se basa en el uso de variedades transgénicas con un alto grado de expresión de la toxina y el establecimiento de campos adyacentes de maíz no Bt que actúen como refugios (Figura 4a). En España, se recomienda el uso de refugios (20% del total) para campos de maíz Bt cuya superficie sea superior a 5 hectáreas, y su disposición puede ser perimetral, en bloques, en bandas, etc. Para que dicha estrategia sea efectiva se requieren tres

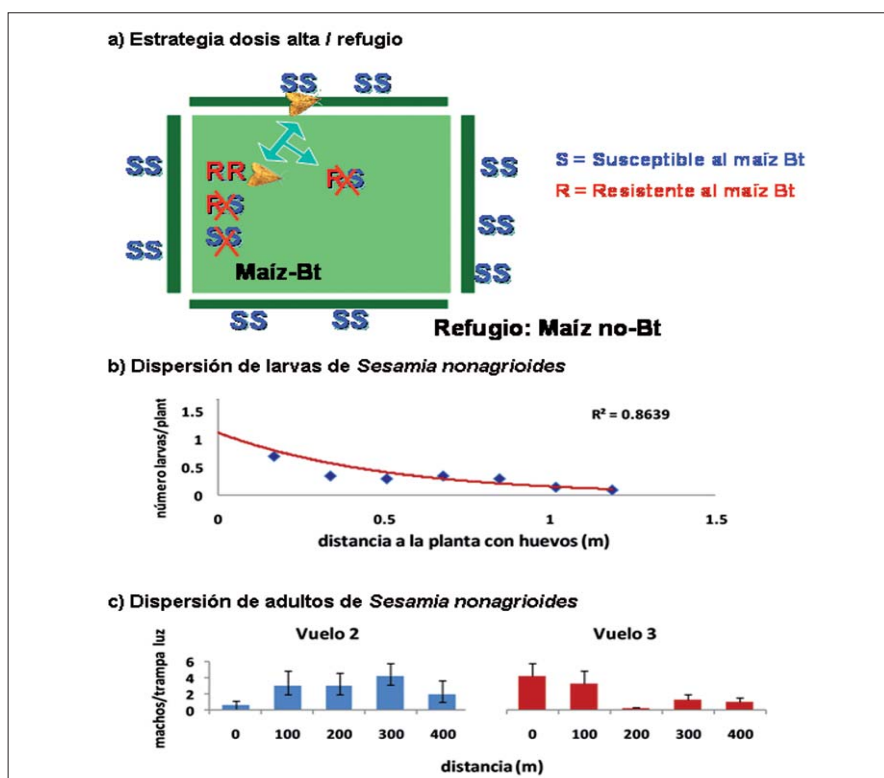


Figura 4. a) Estrategia dosis alta / refugio para el manejo de la resistencia, basada en que los insectos resistentes (RR) que provienen de los campos de maíz Bt se cruzan con los insectos susceptibles (SS) que se preservan en los refugios, para que los descendientes (RS) no sobrevivan a las altas dosis de toxina expresadas en la planta; b) Capacidad de dispersión de larvas de *S. nonagrioides*. Número de larvas por planta como resultado de la dispersión de larvas desde una planta central (distancia 0) a las adyacentes situadas a distancias crecientes; y c) Capacidad de dispersión de adultos de *S. nonagrioides*. Número de machos del 2^{do} y 3^{er} vuelo capturados en trampas de luz a distancias crecientes de aquélla en donde emergieron.

requisitos esenciales: a) una baja frecuencia inicial de insectos resistentes (RR); b) que los insectos resistentes que provienen de los campos de maíz Bt se cruzan con los insectos susceptibles (SS) que se preservan en los refugios; y c) que la dosis de toxina expresada en la planta sea lo suficientemente alta para que los descendientes de estos cruces (RS) no sobrevivan. Estudios dirigidos a comprobar la validez de estos requisitos han sido realizados en nuestro país con poblaciones de *S. nonagrioides* por ser la plaga diana de mayor importancia económica en el área mediterránea.

La frecuencia de alelos de resistencia en poblaciones de campo de *S. nonagrioides* se ha determinado mediante la técnica denominada "F2 screen". Por este procedimiento se pueden estimar las frecuencias de los alelos de resistencia de una población, exponiendo la generación F2, descendiente de parentales capturados en campo, a una dosis discriminante de toxina. Estudios realizados con poblaciones recogidas en España

y Grecia muestran que la frecuencia estimada de alelos resistentes es menor de $1,5 \times 10^{-3}$ para el conjunto de las poblaciones, valores compatibles con la estrategia de "dosis alta/refugio" (ANDREADIS *et al.*, 2007).

Otro aspecto muy importante para un correcto manejo de la resistencia es conocer la movilidad de larvas y adultos de *S. nonagrioides*. En cuanto a la capacidad de dispersión de las larvas se ha visto que es mayor en los últimos estadios de desarrollo, alcanzando una distancia de unos pocos metros que les permite a menudo cambiar de surco (Figura 4b) y que podría comprometer la eficacia de sembrar mezcla de semilla Bt y no Bt en el mismo campo (EIZAGUIRRE *et al.*, 2006). Con respecto a los adultos, se comprobó que los machos podían desplazarse hasta al menos una distancia de 400 m desde el lugar en donde emergieron, si bien el número de machos del tercer vuelo capturados a partir de la distancia de 200 m fue significativamente menor (Figura 4c), lo que valida la utilidad de los refugios no

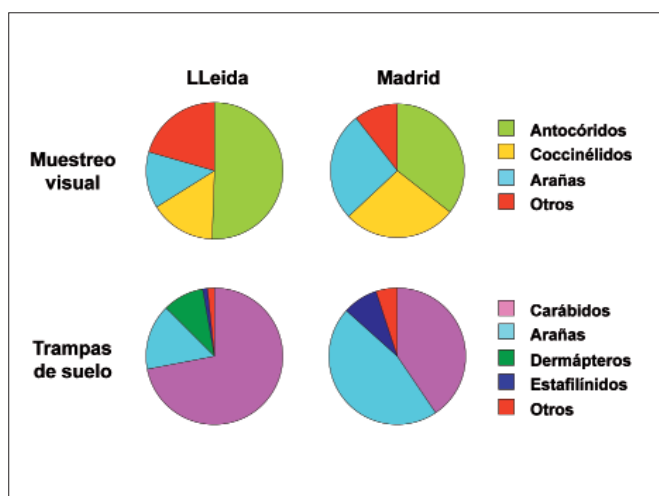


Figura 5. Abundancia relativa de los principales grupos de depredadores en campos de maíz localizados en Lleida y Madrid, durante el periodo 2000-2002.

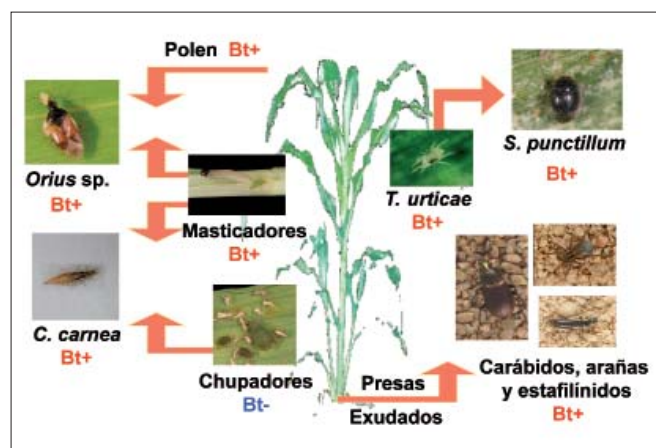


Figura 6. Fauna no diana en la que se ha detectado la toxina insecticida (Bt+) que expresa el maíz Bt al alimentarse de material vegetal o de insectos fitófagos que han ingerido la toxina, o debido a la liberación de la toxina a través de los exudados de la raíz. La toxina no se detecta (Bt-) en insectos chupadores que se alimentan del floema.

Bt como estrategia de prevención de desarrollo de resistencia (EIZAGUIRRE *et al.* 2004). Asimismo, se han analizado poblaciones de *S. nonagrioides* procedentes de diferentes países del área mediterránea (España, Francia, Italia, Grecia y Turquía), con el propósito de conocer la estructura genética de esta especie a escala geográfica. Los resultados obtenidos son indicativos de poblaciones genéticamente diferenciadas, con unos niveles limitados de flujo génico entre poblaciones distantes, lo que podría contribuir a frenar la expansión de los alelos de resistencia entre poblaciones de diferentes zonas geográficas (DE LA POZA *et al.*, 2008).

Impacto potencial sobre artrópodos no-diana

El cultivo de plantas transgénicas resistentes a insectos permite reducir la dependencia actual de plaguicidas convencionales. Además, la especificidad de la toxina Cry1Ab que se expresa en el maíz Bt hacia las plagas a las que está destinada debería traducirse en una mejor conservación de la fauna no-diana asociada al cultivo, entre la que se encuentran los enemigos naturales. Sin embargo, la complejidad de las interacciones entre los distintos niveles tróficos de la cadena alimenticia (la planta, las plagas asociadas, sus enemigos naturales y otros artrópodos) hace necesario evaluar los impactos potenciales del cultivo del maíz Bt sobre la fauna no-diana. Asimismo, la introducción de plantas resistentes a taladros podría favorecer la aparición de plagas

Grupo funcional y Taxón	Visual	Trampas de caída	Trampas amarillas	Embudos de Berlese
Herbívoros				
Pulgones	X		X	
Cicadélidos	X		X	
Gusanos grises	X			
<i>Helicoverpa armigera</i>	X			
<i>Mythimna unipuncta</i>	X			
Trips			X	
Gusanos de alambre	X			
Depredadores				
Arañas	X	X		
Opiliones		X		
Dermápteros		X		
Antocóridos	X		X	
Nábidos	X		X	
Trips			X	
Coccinélidos	X		X	
Carábidos	X	X		
Estafilínidos	X	X		X
Neurópteros	X		X	
Sírfidos	X		X	
Cecidómidos	X			
Parasitoides				
Mimáridos			X	
Tricogramátidos			X	
Ichneumonídeos			X	
Bracónidos			X	
Taquínidos			X	
Descomponedores				
Ácaros				X
Miriápodos		X		X
Colémbolos		X		X
Dípteros (larvas)				X

Tabla 1. Principales artrópodos evaluados y métodos de muestreo empleados para identificar las especies más representativas en campos de maíz en la zona Centro (Madrid) y la zona Noreste (Lleida).

secundarias que no son controladas por la toxina y que deberían controlarse con plaguicidas convencionales, lo que podría tener implicaciones

para el medio ambiente.

Con el fin de determinar los posibles efectos a corto y medio plazo que puede tener el cultivo con-

tinuado del maíz Bt en España sobre los artrópodos no-diana que coinciden espacial y temporalmente con el cultivo, se han llevado a cabo distintas aproximaciones mediante estudios de campo y de laboratorio (ORTEGO *et al.*, 2009). Los objetivos concretos de estos estudios han sido: a) identificar las especies más representativas en campos de maíz en nuestras condiciones agro-climáticas; b) analizar sus niveles de exposición a la toxina; c) realizar un estudio de campo a gran escala en campos comerciales de maíz durante varios años para evaluar el impacto del maíz Bt sobre la abundancia y diversidad de enemigos naturales; d) determinar los efectos del maíz Bt sobre herbívoros no diana; y e) seleccionar especies para ser utilizadas como bioindicadoras en ensayos de laboratorio en condiciones controladas.

Para identificar las especies más representativas en campos de maíz se realizaron muestreos en campos comerciales en dos zonas con distintas características agroecológicas: la zona Centro (Madrid) y la zona Noreste (Lleida) (CASTAÑERA *et al.*, 2004). Se utilizaron diferentes técnicas de muestreo: conteo visual, trampas de caída (o de gravedad), trampas pegajosas amarillas y embudos de Berlese. El conteo visual es un método de muestreo absoluto mediante el cual se pudo identificar y cuantificar la fauna existente sobre la planta (herbívoros y depredadores). Las trampas de caída consisten en recipientes enterrados cuya abertura queda a ras de suelo y fueron utilizadas en el estudio de artrópodos (depredadores y descomponedores) que se desplazan por la superficie del suelo. Para la fauna edáfica (descomponedores) se tomaron muestras de suelo y una vez en el laboratorio se extraían utilizando embudos de Berlese. Las trampas amarillas consisten en cartones de color amarillo con pegamento y fueron empleadas para atrapar insectos alados de difícil observación y captura mediante los métodos anteriores. La relación de los principales grupos de artrópodos identificados mediante los distintos sistemas de muestreo se refleja en la Tabla 1. En el muestreo visual, antocóridos, coccinélidos y arañas fueron los depredadores más frecuentes en ambas localidades (Figura 5). Asimismo, carábidos y arañas fueron los depredadores más abundantes capturados en las trampas de suelo, seguidos por los dermápteros en Lleida y los estafilínidos en Madrid (Figura 5).

La fauna no diana puede entrar en contacto con la toxina insecticida que expresa el maíz Bt al alimentarse de material vegetal o de insectos fitófagos que han ingerido la toxina, o debido a la liberación de la toxina a través de los exudados de

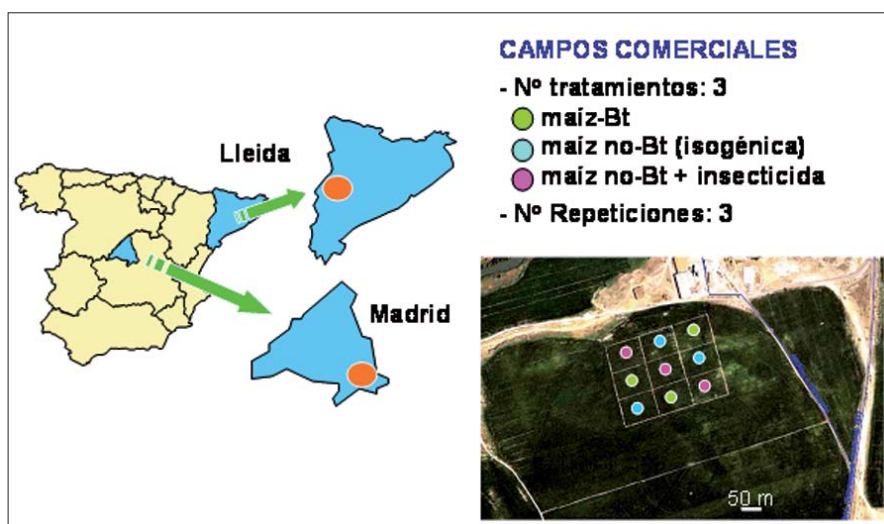


Figura 7. Localización y diseño experimental del estudio realizado durante tres años consecutivos (2000-2002) para evaluar el impacto potencial del maíz Bt sobre fauna no-diana.

la raíz (Figura 6). Entre los organismos fitófagos, los más expuestos a la toxina son los masticadores y aquellos que se alimentan directamente del contenido celular, como es el caso de la araña roja *Tetranychus urticae*, mientras que la toxina no se detecta en insectos chupadores que se alimentan del floema. Estudios realizados con algunas de las especies de depredadores más representativas demostraron que la toxina expresada en el maíz Bt se podía detectar en el coccinélido *Stethorus punctillum*, antocóridos del género *Orius* spp. y el neuróptero *Chrysoperla carnea*, así como en especies de los tres grupos más abundantes de depredadores del suelo: arañas, carábidos y estafilínidos.

Para evaluar el impacto del maíz Bt sobre la abundancia y diversidad de enemigos naturales a corto o medio plazo se realizó un estudio durante tres años consecutivos (2000-2002) en Madrid y Lleida, utilizando el mismo diseño experimental (Figura 7). Se establecieron tres tratamientos: maíz Bt (variedad Compa CB®) y su variedad isogénica Dracma®, con y sin el insecticida imidacloprid (Gaucho®) incorporado en la semilla; de forma que se pudieran comparar los tres sistemas de producción. El estudio se llevó a cabo en parcelas a escala comercial (aproximadamente 0.6 ha) con tres parcelas por tratamiento, dispuestas en bloques al azar. El análisis de la abundancia de los depredadores más frecuentes sobre las plantas (antocóridos, coccinélidos y arañas) y de los capturados en trampas de caída (carábidos, arañas, dermápteros y estafilínidos) reveló que las diferencias más importantes se producían entre años, entre

localidades y en las parcelas tratadas con el insecticida imidacloprid, mientras que apenas existían diferencias cuando se comparaban las parcelas de maíz Bt con las de su línea isogénica (DE LA POZA *et al.*, 2005). Asimismo, se ha analizado la riqueza y diversidad de especies de los grupos de artrópodos del suelo más abundantes de los maizales del centro peninsular: arañas, carábidos y estafilínidos, no apreciándose diferencias significativas entre las parcelas con maíz Bt y no Bt (FARINÓS *et al.*, 2008). Estudios con un diseño experimental similar, pero sin utilizar parcelas tratadas con insecticida, se han realizado con variedades derivadas del evento MON810 en las mismas zonas geográficas durante el periodo 2007-2009, obteniéndose resultados análogos.

El impacto del maíz Bt sobre herbívoros no diana (pulgonos, cicadélidos, gusanos grises y gusanos del alambre) se evaluó en condiciones comerciales de campo, comparándose la abundancia entre parcelas de maíz Bt Compa y su variedad isogénica en un estudio de tres años. Los resultados indicaron una mayor densidad de pulgonos y cicadélidos en las parcelas de maíz Bt que no se tradujo en pérdidas de producción y que coincidió con un mayor registro de antocóridos del género *Orius*, lo que podría explicar la mayor abundancia de algunos depredadores generalistas que se encuentra a veces en el maíz Bt (PONS *et al.*, 2005). En ese mismo estudio no se encontraron diferencias en cuanto al grado de ataque de gusanos grises y de gusanos del alambre en parcelas de maíz Bt y de su correspondiente variedad isogénica. La incidencia sobre otros lepidópteros plaga no diana

del maíz transgénico se estudió mediante ensayos de laboratorio y muestreos visuales en campo. Los resultados indicaron que el maíz Bt no es tan eficaz contra estos lepidópteros como lo es para taladros ya que su eficacia en laboratorio contra larvas de *Mythimna unipuncta* fue del 85 % (Figura 8a). Asimismo, cuando se analizó la presencia de larvas de *Helicoverpa armigera* en campos comerciales de maíz durante los años 2005-2008, sólo en 2007 hubo una disminución en el número de larvas por planta en campos de maíz Bt, diferencias que desaparecerían al analizar los 4 años en conjunto (Figura 8b) (EIZAGUIRRE *et al.*, 2010).

Los estudios de laboratorio permiten evaluar los efectos del maíz Bt sobre la fauna auxiliar de una forma controlada y bajo condiciones que contemplan el "peor escenario posible", es decir, sometiendo a estos organismos a una exposición continua a la toxina Cry1Ab y a una dosis superior a la esperada en condiciones de campo. Para llevar a cabo estos estudios se han escogido tres especies de depredadores muy abundantes en España, en los que se ha demostrado su exposición a la toxina en condiciones de campo, por lo que fueron seleccionados para ser utilizados como bioindicadores en ensayos de laboratorio. El coccinélido *S. punctillum* es un depredador que se alimenta exclusivamente de ácaros tetraníquidos. Se ha comprobado que la toxina llega al tubo digestivo del depredador a través de la presa manteniendo todo su potencial insecticida. Sin embargo, no se ha visto ningún efecto negativo sobre los diferentes parámetros biológicos analizados (ÁLVAREZ-ALFAGEME *et al.*, 2008). El carábido, *P. cupreus* es un depredador generalista. Mediante bioensayos en los que se utilizaban como presa larvas de *Spodoptera littoralis*, mantenidas en maíz Bt, se pudo comprobar que la exposición a la toxina no tuvo ningún efecto sobre la mortalidad y tiempo de desarrollo del carábido (ÁLVAREZ-ALFAGEME *et al.*, 2009). Los antocóridos del género *Orius* spp. son depredadores generalistas que además de estar expuestos a la toxina a través de las distintas presas de las que se alimentan (pulgonos, trips, cicadélidos, huevos de lepidóptero, etc), también pueden estar expuestas a través de su alimentación directa sobre la planta, principalmente de polen. Por ello se evaluó el efecto del maíz Bt sobre el tiempo de desarrollo, la mortalidad ninfal, la proporción de sexos y el peso y el tamaño de los adultos de *O. majusculus*, no habiéndose encontrado diferencias significativas entre los insectos alimentados con maíz Bt y los alimentados con la variedad isogénica (PONS *et al.*, 2004). Por otro lado, se estudió la relación tritrófica

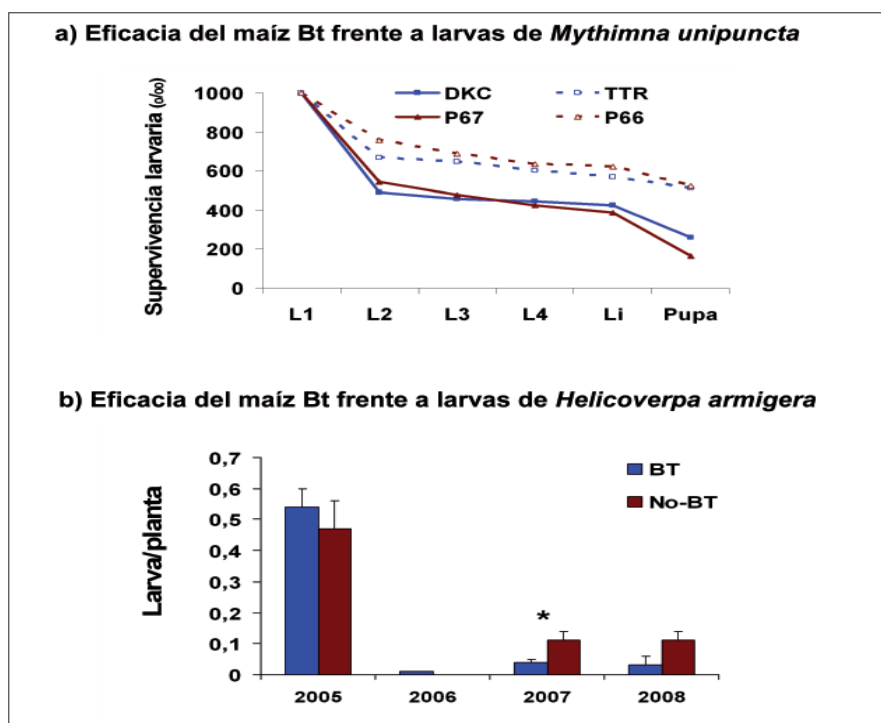


Figura 8. a) Supervivencia de larvas de *M. unipuncta* alimentadas con hojas de diferentes variedades de maíz Bt (DKC y P67) y maíz no Bt (Tiétar y P66) a lo largo del desarrollo larvario; y b) Número de larvas de *H. armigera* por planta en campos comerciales de maíz Bt y no Bt en los años 2005-2008. * Diferencias significativas (Mínima diferencia significativa (LSD), $p < 0.05$).

maíz Bt - *T. urticae* - *O. majusculus*, con resultados similares. Estos resultados muestran que hay una transferencia de la toxina a través de la cadena trófica, pero en ninguno de los depredadores estudiados se ha observado que ésta tenga un efecto perjudicial sobre su biología y/o reproducción.

Conclusiones

Los estudios realizados en España en campos comerciales de maíz han permitido determinar en un escenario real los efectos a corto y medio plazo del cultivo continuado del maíz Bt sobre las poblaciones de taladros y la fauna no-diana, y aportan los conocimientos necesarios para una toma de decisiones basada en datos científicos. Específicamente:

- 1) El seguimiento de la evolución de la resistencia en poblaciones de campo permite concluir que las poblaciones de taladros no han desarrollado resistencia a la toxina Cry1Ab después de 12 años de cultivo continuado de maíz Bt en España.
- 2) Los estudios encaminados a conocer la frecuencia de alelos resistentes, y la movilidad de larvas y adultos han contribuido a validar la estrategia de manejo de la resistencia para el caso de *S. nonagrioides*.

- 3) No se han detectado efectos negativos sobre la abundancia, riqueza y diversidad de los artrópodos presentes en parcelas de maíz Bt, a pesar de que la mayoría de las especies están expuestas a la toxina, lo que sugiere que el maíz Bt es compatible con control biológico de conservación.
- 4) Estudios de laboratorio realizados en condiciones de peor escenario posible (exposición continua a toxina Cry1Ab a dosis superiores a la expresada en maíz Bt) demuestran que el maíz Bt no tiene efectos negativos en la supervivencia y desarrollo de las tres especies que fueron utilizadas como bioindicadoras en ensayos de laboratorio.

No obstante, se considera necesario continuar con el seguimiento de la resistencia y realizar ensayos a largo plazo para poder descartar posible efectos acumulativos de exposición a la toxina.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ-ALFAGEME, F., FERRY, N., CASTAÑERA, P., ORTEGO, F., and GATEHOUSE, A.M.R. 2008. *Prey mediated effects of Bt maize on fitness and digestive physiology of the red spider mite predator Stethorus punctillum Weise (Coleoptera: Coccinellidae)*. Transgenic Research 17: 943-954.
- ÁLVAREZ-ALFAGEME, F., ORTEGO, F., AND CASTAÑERA, P. 2009. *Bt maize fed-prey mediated effect on fitness and digestive physiology of the ground predator Poecilus cupreus L. (Coleoptera: Carabidae)*. Journal of Insect Physiology 55: 143-149.
- ANDREADIS S.S., ÁLVAREZ-ALFAGEME F., SÁNCHEZ-RAMOS I., STODOLA T.J., ANDOW D.A., MILONAS P.G., SAVOPOULOU-SOULTANI M., CASTAÑERA P. 2007. *Frequency of resistance to Bacillus thuringiensis toxin Cry1Ab in Greek and Spanish population of Sesamia nonagrioides (Lepidoptera: Noctuidae)*. Journal of Economic Entomology 100: 195-201.
- CASTAÑERA P., ORTEGO F., FARINÓS G.P., HERNÁNDEZ-CRESPO P., DE LA POZA M. 2004. *Métodos de evaluación de los efectos potenciales del cultivo del maíz transgénico en insectos diana y en artrópodos depredadores*. PHYTOMA 164: 25-28.
- CASTAÑERA P., FARINÓS G.P., DE LA POZA M., HERNÁNDEZ-CRESPO P., ORTEGO F. 2005. *Estimación de la resistencia al maíz Bt de poblaciones españolas de taladros*. PHYTOMA 173: 89-91.
- DE LA POZA, M., PONS, X., FARINÓS, G.P., LÓPEZ, C., ORTEGO, F., EIZAGUIRRE, M., CASTAÑERA, P., ALBAJES, R. 2005. *Impact of farm-scale Bt maize on abundance of predatory arthropods in Spain*. Crop Protection 24: 677-684.
- DE LA POZA, M., FARINÓS, G.P., BERDIZ, B., ORTEGO, F., HERNÁNDEZ-CRESPO, P., AND CASTAÑERA, P. 2008. *Genetic structure of Sesamia nonagrioides (Lefebvre) populations in the Mediterranean area*. Environmental Entomology 37: 1354-1360.
- EIZAGUIRRE M., LÓPEZ, C., ALBAJES, R. 2004. *Dispersal capacity in the Mediterranean corn borer, Sesamia nonagrioides (Lepidoptera: Noctuidae)*. Entomologia Experimentalis et Applicata 113: 25-34.
- EIZAGUIRRE M., ALBAJES R., LÓPEZ C., ERAS J., LUMBIERRES B., PONS X. 2006. *Six years after the commercial introduction of Bt maize in Spain: field evaluation, impact and future prospects*. Transgenic Research 15:1-12.
- EIZAGUIRRE M., MADEIRA F., LÓPEZ C. 2010. *Effects of Bt maize on non target lepidopteran pests*. IOBC/WPRS. Bulletin 52:49-55.
- FARINÓS G.P., DE LA POZA M., GONZÁLEZ-NÚÑEZ M., HERNÁNDEZ-CRESPO P., ORTEGO, F., CASTAÑERA P. 2004a *Research programme to monitor corn borers resistance to Bt-maize in Spain*. OILB/wprs Bulletin 27 (3): 73-77.
- FARINÓS G.P., DE LA POZA M., HERNÁNDEZ-CRESPO P., ORTEGO F., CASTAÑERA P. 2004b. *Resistance monitoring of field populations of the corn borers Sesamia nonagrioides and Ostrinia nubilalis after five years of Bt maize cultivation in Spain*. Entomologia Experimentalis et Applicata 110: 23-30.
- FARINÓS, G.P., DE LA POZA, M., HERNÁNDEZ-CRESPO, P., ORTEGO, F., CASTAÑERA, P. 2008. *Diversity and seasonal phenology of aboveground arthropods in conventional and transgenic maize crops in Central Spain*. Biological Control 44: 362-371.
- GONZÁLEZ-NÚÑEZ M., ORTEGO F., CASTAÑERA P. 2000. *Susceptibility of Spanish populations of the corn borers Sesamia nonagrioides (Lepidoptera: Noctuidae) and Ostrinia nubilalis (Lepidoptera: Crambidae) to a Bacillus thuringiensis endotoxin*. Journal of Economic Entomology 93: 459-463.
- ORTEGO, F., PONS, X., ALBAJES, R., AND CASTAÑERA, P. 2009. *European commercial genetically modified plantings and field trials*. En: Environmental Impact of Genetically Modified Crops pp. 327-343. Ferry, N., and Gatehouse, A.M.R. (Eds.). CAB International.
- PONS X., LUMBIERRES B., LÓPEZ C, ALBAJES R. 2004. *No effects of Bt maize on the development of Orius majusculus*. IOBC/WPRS Bulletin 27(3): 131-136
- PONS X., LUMBIERRES B., LÓPEZ C, ALBAJES R. 2005. *Abundance of non-target pests in transgenic Bt-maize: a farm scale study*. European Journal of Entomology 102: 73-79.