



PRESENTACIÓN DEL LIBRO

Transgénicos. Grandes beneficios, ausencia de daños y mitos

PRESENTADOS POR
LUIS HERRERA Y FRANCISCO BOLÍVAR

Capítulos V y VIII

Se incluyen las secciones sobre los beneficios a la salud, la agricultura y al medio ambiente por el uso de las plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos, libres de insecticidas químicos (Cap V).

También la importancia de las plantas transgénicas mexicanas de tercera generación para contender con problemas de contaminación (Cap VIII).



Auditorio «Francisco G. Bolívar Zapata»

Instituto de Biotecnología, UNAM

Cuernavaca, Morelos, lunes 13 de noviembre de 2017

Capítulo V.

Efectos benéficos a la salud, en la agricultura, al medio ambiente, a la biodiversidad, incluyendo económicos y sociales, por el uso de plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos, que no utilizan los insecticidas químicos. También ventajas económicas.

Los cultivos transgénicos de primera generación, que cuentan con sus propios insecticidas biológicos (proteínas) fueron diseñados para contender con las plagas de insectos, y simultáneamente reducir el uso de insecticidas químicos que se siguen utilizando de manera irresponsable e inmoral aún en muchos lugares, incluyendo México, para eliminar las plagas de insectos (ver figuras V.1, V.II y V.III). El propósito múltiple de estas plantas transgénicas se ha logrado y además de lo anterior se han obtenido beneficios adicionales, tanto económicos como en materia de salud humana y animal, ya que los insecticidas químicos dañan la salud y algunos causan cáncer, o incrementan el riesgo de generarlo. (Blanco *et al* 2014, Alavanja *et al* 2014, Foster *et al* 2014, NASEM 2016). Además y muy importantemente, contaminan el medio ambiente. Asimismo, la reducción en el uso de insecticidas químicos presenta claras ventajas adicionales para los insectos que no son plaga y que viven en los campos de cultivo sin causar daño a las plantas cultivadas.

La reducción en el uso de insecticidas químicos en el campo, es la manera más inteligente y responsable para avanzar en la producción sustentable de alimento sano, libre de estos compuestos tóxicos ya que las plantas transgénicas, resistentes a plagas de insectos, no los requieren. Además, en el capítulo VIII, se presenta una nueva alternativa tecnológica extraordinaria que permite también reducir el uso de herbicidas químicos que se requieren para matar las malezas que crecen con los cultivos transgénicos de segunda generación, que llevan además un gene que otorga tolerancia a glifosato, ya que todos los agroquímicos pueden tener efectos en la salud si se abusa de ellos (López-Arredondo y Herrera 2013).

Beneficios para agricultores que están intercambiando el uso de insecticidas químicos por biotecnología

Existen testimonios de productores de diferentes países, en particular de Iberoamérica (incluida España) y Estados Unidos, y datos técnicos sobre los beneficios que implica la drástica reducción en el uso de insecticidas químicos, en beneficio de la salud de los campesinos, de los animales y del medio ambiente. De hecho, el reporte de las Academias de Ciencias, Ingeniería y Medicina de Estados Unidos (NASEM, por sus siglas en inglés) de 2010 y el reciente de 2016, donde se señalan las razones por las cuales los agricultores de ese país y de otros, están dejando de usar insecticidas químicos con diferentes beneficios (NASEM, 2010, 2016).

Existen publicaciones relacionadas con las experiencias y los beneficios de la siembra y el uso de maíz y otros vegetales transgénicos, como soya y algodón, en países iberoamericanos, integradas en el libro *Introducción al ambiente de maíz transgénico. Análisis de ocho casos en Iberoamérica*, de Solleiro y Castañón, 2013, en el cual se presentan los datos sobre el cultivo y la liberación al ambiente de maíz y otros cultivares transgénicos y su coexistencia, sin evidencia de daño, con cultivares tradicionales en ocho países de Iberoamérica —Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Honduras, Uruguay, México y España.

En México, como se detalla en el capítulo VI, la experiencia de la siembra de maíz transgénico se ha detenido por una demanda colectiva sin sustento científico sólido, para impedir y bloquear la siembra de este tipo de cultivo, aunque hasta el año 2012 se habían registrado más de 100 autorizaciones de siembra de vegetales transgénicos, entre ellos maíz.

Existen otros trabajos recientes de varios grupos que indican los beneficios de los cultivos transgénicos. Por ejemplo, publicaciones del Instituto Flamenco de Biotecnología de Bélgica (VIB), de los años 2014 y 2016, presentan estudios sobre cómo la producción del algodón transgénico en India que ha aumentado de manera significativa, pasando de ser un país importador a uno exportador de fibra de calidad, con claros beneficios para los agricultores que la siembran.

En este contexto es relevante señalar que en el reporte de las NASEM, 2016, en la sección relacionada con los efectos de exposición de campesinos a insecticidas y herbicidas, se señala que existe evidencia de que el algodón transgénico, en países en desarrollo, está asociado con la reducción del envenenamiento por insecticidas químicos, muchos de ellos carcinogénicos como lo demuestran muchos estudios (Alavanja *et al*, Foster *et al*, NASEM 2016). También señala este reporte los resultados de la coexistencia entre cultivos que se menciona en el capítulo VI.

Es importante remarcar que, por sus múltiples efectos contaminantes y dañinos, la reducción en el uso de insecticidas químicos en el campo era, y sigue siendo, el propósito primario de la creación de plantas transgénicas de primera generación, además de contender con las plagas de insectos. Estos objetivos se han logrado contundentemente, lo que está permitiendo avanzar en la producción sustentable de alimento sano, libre de insecticidas químicos, sin dejar de lado los amplios beneficios adicionales, en particular para la salud de los usuarios y para el medio ambiente, como se observa en los metaanálisis que se presentan a continuación.

Cabe insistir en que las plantas transgénicas que se usan en el campo representan una tecnología perfeccionada, llamada por el grupo de 123 premios Nobel en su declaración del año 2016 “agricultura de precisión”, refiriéndose a una tecnología superior, más avanzada y con grandes beneficios señalados en este capítulo.

Beneficios ambientales, a la salud, económicos y sociales por la reducción de insecticidas químicos

En esta sección se presentan tres reportes que incluyen metaanálisis sobre los amplios y variados beneficios a la salud, al medio ambiente, económicos y sociales de los cultivos transgénicos debido a la reducción en el uso de insecticidas químicos. A continuación se presentan los datos que sustentan dichas propuestas (2011–2014).

El primero presenta un metaanálisis sobre el impacto global de las cosechas producidas por organismos transgénicos en el periodo 2006–2010, publicado por Brookes y Barfoot, 2012. Este estudio (ver figura V.1) señala, soporta y detalla con datos, lo que se comentó anteriormente: la importante reducción en el uso de insecticidas químicos sintéticos. En particular, "se ha reducido la cantidad de pesticida aplicado vía fumigación en 443 millones de kilogramos. Asimismo, la disminución en los gases de efecto invernadero en las áreas de cultivo, en el año 2010 fue equivalente a remover ocho millones de automóviles".



Figura V.1. Carátula del artículo de Brookes y Barfoot, 2012: “Global impact of biotech crops: environmental effects, 1996–2010”,

Un segundo reporte de 2014, presenta un metaanálisis del impacto principalmente económico de cosechas de OGM por dejar de comprar y utilizar insecticidas químicos.

Este metaanálisis, basado en 147 estudios a nivel mundial (ver figura V.2), revela que, "en promedio, la adopción de esta biotecnología ha reducido en 37% el uso de pesticidas químicos, ha incrementado la productividad de las cosechas en 22%, y ha incrementado las ganancias de los agricultores en 68%."

El reporte también brinda evidencia robusta de los beneficios de las cosechas de OGM para los agricultores que han utilizado los cultivos transgénicos, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.

OPEN ACCESS [Freely available online](#)

PLOS ONE

A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops



Wilhelm Klümper, Matin Qaim*

Department of Agricultural Economics and Rural Development, Georg-August-University of Göttingen, Göttingen, Germany

Abstract

Background: Despite the rapid adoption of genetically modified (GM) crops by farmers in many countries, controversies about this technology continue. Uncertainty about GM crop impacts is one reason for widespread public suspicion.

Objective: We carry out a meta-analysis of the agronomic and economic impacts of GM crops to consolidate the evidence.

Data Sources: Original studies for inclusion were identified through keyword searches in ISI Web of Knowledge, Google Scholar, EconLit, and AgEcon Search.

Study Eligibility Criteria: Studies were included when they build on primary data from farm surveys or field trials anywhere in the world, and when they report impacts of GM soybean, maize, or cotton on crop yields, pesticide use, and/or farmer profits. In total, 147 original studies were included.

Synthesis Methods: Analysis of mean impacts and meta-regressions to examine factors that influence outcomes.

Results: On average, GM technology adoption has reduced chemical pesticide use by 37%, increased crop yields by 22%, and increased farmer profits by 68%. Yield gains and pesticide reductions are larger for insect-resistant crops than for herbicide-tolerant crops. Yield and profit gains are higher in developing countries than in developed countries.

Limitations: Several of the original studies did not report sample sizes and measures of variance.

Conclusion: The meta-analysis reveals robust evidence of GM crop benefits for farmers in developed and developing countries. Such evidence may help to gradually increase public trust in this technology.

Citation: Klümper W, Qaim M (2014) A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. PLOS ONE 9(11): e111629. doi:10.1371/journal.pone.0111629

Editors: Emilio Altieri, University of Perugia, Italy

Received: June 23, 2014; Accepted: October 3, 2014; Published: November 3, 2014

Copyright: © 2014 Klümper, Qaim. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability: The authors confirm that all data underlying the findings are fully available without restriction. All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Funding: This research was financially supported by the German Federal Ministry of Economic Cooperation and Development (BMZ) and the European Union's Seventh Framework Programme (FP7) 2007–2013 under Grant Agreement 259883 FOODSECURE. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. Neither BMZ nor FOODSECURE and any of its partner organizations, any organization of the European Union or the European Commission are accountable for the content of this article.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* Email: mqaim@uni-goettingen.de

Introduction

Despite the rapid adoption of genetically modified (GM) crops by farmers in many countries, public controversies about the risks and benefits continue [1–4]. Numerous independent science academies and regulatory bodies have reviewed the evidence about risks, concluding that commercialized GM crops are safe for human consumption and the environment [5–7]. There are also plenty of studies showing that GM crops cause benefits in terms of higher yields and cost savings in agricultural production [8–12], and welfare gains among adopting farm households [13–15]. However, some argue that the evidence about impacts is mixed, and that studies showing large benefits may have problems with the data and methods used [16–18]. Uncertainty about GM crop impacts is one reason for the widespread public suspicion towards this technology. We have carried out a meta-analysis that may help to consolidate the evidence.

While earlier reviews of GM crop impacts exist [19–22], our approach adds to the knowledge in two important ways. First, we include more recent studies into the meta-analysis. In the emerging literature on GM crop impacts, new studies are published continuously, broadening the geographical area covered, the methods used, and the type of outcome variables considered. For instance, in addition to other impacts we analyze effects of GM crop adoption on pesticide quantity, which previous meta-analyses could not because of the limited number of observations for this particular outcome variable. Second, we go beyond average impacts and use meta-regressions to explain impact heterogeneity and test for possible biases.

Our meta-analysis concentrates on the most important GM crops, including herbicide-tolerant (HT) soybean, maize, and cotton, as well as insect-resistant (IR) maize and cotton. For these crops, a sufficiently large number of original impact studies have

Figura V.2. Carátula de la publicación de Klümper y Qaim, 2014:

“A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops” (Un metaanálisis de los impactos de las cosechas genéticamente modificadas), *Plos One* 9(11): e111629.

Un tercer reporte presenta un metaanálisis también sobre el impacto y los beneficios económicos de los cultivos transgénicos.

El trabajo de Brookes y Barfoot del 2014, muestran que "de 1996 a 2012 ha habido un beneficio neto para los agricultores de 18.8 mil millones de dólares para 2012, y un total acumulado durante los 17 años de uso comercial de la tecnología de 116.6 mil millones de dólares (ver figura V.3), lo que muestra que, si bien las empresas productoras de semillas transgénicas han tenido un beneficio económico relevante, los agricultores que utilizan la tecnología, también han sido importantemente beneficiados.



Figura V.3. Carátula de la publicación de Brookes y Barfoot, 2014: “Economic impact of GM crops. The global income and production effects, 1996–2012” (Impacto económico de las cosechas genéticamente modificadas: ingreso global y efectos en la en el periodo 1996–2012), GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain 5(3), 65-75.

Beneficios adicionales para la biodiversidad por la reducción en el uso de insecticidas químicos sintéticos

En esta sección se presentan evidencias de los beneficios adicionales al medio ambiente por la reducción en el uso de insecticidas químicos. En particular, beneficios para insectos que no son plagas y que pueden ser benéficos, como los polinizadores, entre ellos: las abejas.

Al utilizar plantas con genes que les proporcionan una defensa biológica contra las plagas, ya no se devasta, de manera indiscriminada la diversidad de insectos y otros organismos benéficos que en los sembradíos convencionales son destruidos de manera indiscriminada por la fumigación con insecticidas químicos, por ser inespecíficos, una práctica común en la agricultura convencional.

Marvier y colaboradores, 2007 (ver figura V.4), en el que se presenta un metaanálisis con más de 40 estudios de campo sobre los efectos en la diversidad de invertebrados en cultivos de algodón y maíz transgénicos, en comparación con otros sistemas agrícolas. Allí se muestra que existe mayor diversidad de artrópodos en campos con cultivos GM que en cultivos de agricultura convencional.

A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates

Michelle Marvier,^{1*} Chanel McCreeley,² James Regetz,² Peter Kareiva^{1,2}

Although scores of experiments have examined the ecological consequences of transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops, debates continue regarding the nontarget impacts of this technology. Quantitative reviews of existing studies are crucial for better gauging risks and improving future risk assessments. To encourage evidence-based risk analyses, we constructed a searchable database for nontarget effects of Bt crops. A meta-analysis of 42 field experiments indicates that nontarget invertebrates are generally more abundant in Bt cotton and Bt maize fields than in nontarget fields managed with insecticides. However, in comparison with insecticide-free control fields, certain nontarget taxa are less abundant in Bt fields.

Public debate regarding risks and benefits of genetically modified (GM) crops continues unabated (1–5). One reason for the continuing controversy is that disagreements about new technologies often have little to do with scientific uncertainty but instead arise from differing personal values and differing levels of trust in public institutions (6, 7). However, in the case of GM crops, scientific analyses have also been deficient (8). In particular, many experiments used to test the environmental safety of GM crops were poorly replicated, were of short duration, and/or assessed only a few of the possible response variables (8). Much could be learned and perhaps some debates settled if there were credible quantitative analyses of the numerous experiments that have contrasted the ecological impact of GM crops with those of control treatments involving non-GM varieties.

Here, we describe a meta-analysis of field studies involving *Bacillus thuringiensis* (Bt) crops, which represent the predominant modification entailing the novel production of pesticidal substances (Cry proteins) in crop plants. The incorporation of bacterial-derived cry genes into plants means that a wide variety of species are exposed, on a relatively continuous basis, to pesticidal Cry proteins. We restricted our analysis to lepidopteran-resistant cotton expressing CryIAc protein, lepidopteran-resistant maize expressing CryIAb protein, and coleopteran-resistant maize expressing Cry3Bb protein, because the aggregate collection of field experiments assessing these Bt crops is large enough to draw some compelling conclusions (9–11).

The standard approach to assessing nontarget effects entails measurements of abundance, survival, or growth of nontarget species

when exposed to a GM variety versus when exposed to the same or similar variety lacking the genetic modification. We focused on field studies, and the response variable we analyzed is the abundance of nontarget invertebrates, sampled in a variety of ways. For each experiment, we recorded many attributes, including locations, durations, plot sizes, and sample sizes (SI Table S2). Experiments resulted in two different types of control treatments, each reflecting a different philosophy of risk assessment: (i) controls entailing non-GM varieties grown under identical conditions but treated with insecticides and (ii) controls entailing non-GM varieties grown under identical conditions and with no insecticides applied. A third type of comparison, in which both Bt and control plants were treated with insecticides, was occasionally used.

We report a weighted mean effect size, Hedges' d , calculated as the difference between the means of the Bt and the control treatments divided by the pooled standard deviation and weighted by the reciprocal of sampling variance. Negative values indicate lower abundance (whereas positive values indicate higher abundance) in Bt plots compared with abundance in control plots.

The mean abundance of all nontarget invertebrate groups lumped together is significantly reduced in CryIAc cotton fields compared with mean abundance in non-GM, insecticide-free fields [Fig. 1A, white bars; 95% confidence intervals (CI) do not overlap with $d = 0$]. However, the abundance of nontarget invertebrates is significantly higher in Bt cotton compared with that of control fields sprayed with insecticides (Fig. 1A, hatched bars). There was no significant difference in the abundance of nontarget invertebrates for studies where both the Bt and the control fields were treated with insecticides (Fig. 1A, gray bars). Thus, the different types of experimental comparison revealed significantly different effects of Bt crops [Fig. 1A, left, between-groups heterogeneity ($\chi^2 = 49.96$; degrees of freedom (df) = 2; $P < 0.001$]. Results were qual-

itatively similar when analyses were restricted to the related transgenic events MON531 and MON757 (Fig. 1A, right).

For all CryIAb maize events, the overall mean abundance of nontarget invertebrates was significantly lower in Bt compared with that in control fields that lacked insecticide applications (Fig. 1B; leftmost white bar). However, the mean abundance of nontarget invertebrates was greater in CryIAb maize than in non-GM maize sprayed with pyrethroid insecticides (Fig. 1B; leftmost hatched bar).

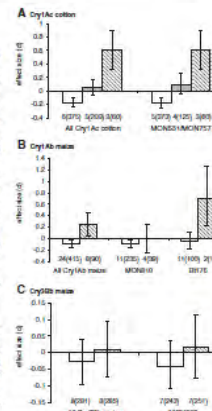


Fig. 1. Meta-analysis of field studies assessing abundance of nontarget invertebrate species for (A) lepidopteran-resistant CryIAc cotton, (B) lepidopteran-resistant CryIAb maize, and (C) coleopteran-resistant Cry3Bb maize. Effect size is Hedges' d , and error bars represent bias-corrected 95% CI. Values below each bar indicate the number of different papers or reports, and in parentheses, the number of lines of data summarized (each line of data represents a comparison of a group's average abundance in a Bt versus control treatment). White bars compare the abundance of nontarget invertebrates in Bt and non-GM varieties, without insecticide applications. Gray bars compare the abundance of nontarget invertebrates in Bt and non-GM varieties, both treated with insecticides. Hatched bars compare the abundance of nontarget invertebrates in insecticide-free Bt varieties versus non-GM varieties managed with applications of [B] any chemical insecticide and [B] and [C] pyrethroids.

¹Environmental Studies Institute, Santa Clara University, Santa Clara, CA 95050, USA; ²National Center for Ecological Analysis and Synthesis (NCEAS), University of California at Santa Barbara, 755 State Street, Suite 3100, Santa Barbara, CA 93101, USA; ³The Nature Conservancy, 4722 Latona Avenue NE, Seattle, WA 98105, USA.

*To whom correspondence should be addressed. Email: mmarvier@scu.edu.

Figura V.4. Carátula de la publicación de Marvier y colaboradores, 2007: “A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on non target invertebrates”, (Un metaanálisis de los efectos del algodón y el maíz Bt en invertebrados que no son el objetivo), Science 316: 5830, 1475–1477.

Ausencia de daño en abejas por el uso de las proteínas transgénicas utilizadas para eliminar plagas de insectos

Se cuenta con un reporte donde se revisa un metaanálisis de 25 estudios que evaluaron los efectos de las proteínas Cry de Bt en abejas (ver figura V.5). Los autores Duan y colaboradores, 2007, concluyen que:

“estas proteínas Cry utilizadas en cultivos GM comercializados para el control de lepidópteros y coleópteros, no afectan negativamente la sobrevivencia de larvas o adultos de abejas”- Este estudio muestra, contrario a lo que han afirmado algunos grupos ecologistas , que los cultivos *Bt*, no afectan a las abejas ni a la producción de la miel.

Conclusiones sobre los múltiples beneficios por utilizar las plantas transgénicas que no utilizan insecticidas químicos para eliminar las plagas de insectos.

En este capítulo se señalaron y comentaron las evidencias que sustentan los amplios y múltiples beneficios de los cultivos transgénicos y sus productos. Para la salud de los usuarios de las plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos, que ya estas plantas, no utilizan los insecticidas químicos muchos de los cuales dañan la salud de humanos y animales. Además estos compuestos contaminan el ambiente , son inespecíficos y eliminan cuando se usan en el campo, todos los insectos, no solo los insectos plagas. El uso de las plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos ha permitido avanzar en varios países en la producción sustentable de alimento sano, libre de estos productos químicos, ya que los productores de cultivos transgénicos en Estados Unidos ya no requieren, no utilizan, los insecticidas químicos. Además, como se ha señalado en este capítulo, los usuarios de los cultivos transgénicos, tiene también ventajas económicas y sociales por dejar de comprar y fumigar con los insecticidas químicos. El principal propósito de reducir los contaminantes y dañinos insecticidas químicos, se ha cumplido con creces y esto está permitiendo avanzar en la utilización y producción sustentable de alimento sano libre de insecticida químico, en muchos países.

Tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, entre ellos varios iberoamericanos, los cultivos transgénicos les han permitido incrementar la productividad de las cosechas y, por ende, sus ganancias al no tener que comprar insecticidas químicos, por los múltiples beneficios en diferentes sectores, es que muchos grupos en estas naciones están adoptando dicha tecnología.

Una precisión sobre las plantas transgénicas de primera y de segunda generación es que no fueron diseñadas para aumentar la productividad de las cosechas, sino para contener con las plagas de insectos, lo cual se ha logrado. Sin embargo, el hecho de que los agricultores están dejando de comprar insecticidas químicos se traduce en una mayor productividad, tal y como lo señalan los reportes técnicos.

El uso cada vez más frecuente y más extendido de cultivos transgénicos, sin reportes de daños ni a la salud ni al medio ambiente, indica que el planeta se mueve hacia una bioeconomía sustentada en la biotecnología.

Indudablemente el propósito primario de la creación de plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos , de reducir el uso de insecticidas químicos se ha cumplido y los beneficios son múltiples, extraordinarios y muy importantes para la salud y para el medio ambiente. Al lector le preguntamos ¿qué alternativa prefiere?, ¿el uso de insecticidas químicos que se siguen usando de manera irresponsable en México, que dañan de manera irreversible la diversidad de insectos benéficos de los campos agrícolas y cuyos residuos tienen claros efectos dañinos sobre la salud humana y animal y contaminan el medio ambiente?, ¿o el uso de estas plantas transgénicas que producen su propio bioinsecticida , que no utilizan los insecticidas químicos, por ello no dañan la salud y además son inocuos para la salud humana y animal?

Finalmente, resulta injusto e inmoral que los campesinos en México no tengan la alternativa de decidir qué tipo de semilla puedan usar y sembrar y, por ende, qué tipo de insecticida pueden utilizar, habiendo estas alternativas y sabiendo, además, que muchos de los insecticidas químicos causan daño a la salud y que muchos países, incluyendo el nuestro consume desde hace mas de 20 años maíz transgénico importado y siembra y consume soya transgénica, sin evidencia de daño por los OGM. Por ello, es importante que los campesinos y los agricultores, estén bien informados para que puedan contar con alternativas que incluyan a los cultivares transgénicos como parte de las herramientas para producir alimentos sanos, de manera sustentable, libres de insecticidas químicos. Además, es importante considerar la oportunidad de que algunas que las patentes que protegen las plantas transgénicas resistentes a plagas de insectos, están venciendo, y que en nuestro país se han desarrollado ya, plantas transgénicas de tercera generación que vamos a comentar enseguida, para contender con el uso de herbicidas químicos y con el cambio climático (Marvier *et al* 2007, Brookes y Barfoot 2012, 2014, Solleiro y Castañón 2013, Blanco *et al* 2014, Klumper y Qaim 2014, Alavanja *et al* 2014, Foster *et al* 2014, NASEM 2015, 2016, Reporte Técnico Fundación Antama 2016, Laureates Letter Supporting Precision Agriculture 2016).

Nota. Las referencias bibliográficas de este capítulo, no se incluyeron en su totalidad por razones de espacio y se presentan completas en el capítulo V del libro sobre Transgénicos, de libre acceso en la página web del IBt/UNAM.

Capítulo VIII

Desarrollo nacional

- La biotecnología y las plantas transgénicas mexicanas, en particular una con capacidades extraordinarias que crece en fosfito como fertilizante, como parte indispensable de una estrategia para coadyuvar a la sustentabilidad alimentaria y del medio ambiente. Estas plantas transgénicas no pertenecen a las transnacionales.**
- La situación de la propiedad comercial de semillas transgénicas.**

Introducción

México debe estar atento, y añadiríamos, preocupado y ocupado por su capacidad para producir alimentos sanos de manera sustentable, libres de insecticidas químicos. Por ello, se deben buscar estrategias y mecanismos para depender cada día más de nuestras propias capacidades y menos de compañías transnacionales que hoy son dueñas de semillas de maíz transgénico, de primera y segunda generación, de la mayor parte de las variedades mejoradas y de las semillas híbridas de maíz convencional no genéticamente modificado que más se utilizan en México y en Latinoamérica. Resulta fundamental, entonces, fortalecer las capacidades de investigación y de desarrollo tecnológico en aras de generar nuevo conocimiento científico en general y, en particular, aquel relacionado con la producción sustentable de alimento sano sin insecticidas químicos.

Aplicación de biotecnología para el fortalecimiento del campo mexicano

En esta sección se aborda la necesidad que existe en México de desarrollar un programa de seguridad alimentaria que tenga como eje el fortalecimiento de las capacidades científicas y tecnológicas para el mejoramiento genético convencional, así como de aplicaciones biotecnológicas, incluyendo cultivos transgénicos.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) (2013-2018) y el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) señalan a la biotecnología como un área estratégica y prioritaria que debe usarse para contender con necesidades y problemas de diversa índole.

También se señala que la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA), considera la biotecnología como “una tecnología que utiliza recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”. Por lo anterior, esta ley prevé el uso de la biotecnología y, por ende, de los organismos transgénicos para usar responsablemente la biota. Lo anterior se logrará únicamente en conjunción y articulación con la LBOGM.

Plantas transgénicas mexicanas: seguridad alimentaria, producción sustentable de alimento sano y la posible disminución de pesticidas.

De acuerdo con lo anterior, la única estrategia real que existe en México para ayudar a paliar y contender con necesidades, demandas y problemas como la producción sustentable de alimentos sanos, libres de insecticidas químicos y las injusticias en el campo, es el fortalecimiento de capacidades de investigación científica y tecnológica, en particular en biotecnología. A partir de esta estrategia será posible desarrollar tecnología propia; en este caso, variedades de semillas mejoradas, incluyendo las transgénicas, construidas y caracterizadas por grupos mexicanos. Podríamos esperar que la siguiente generación de cultivares transgénicos —con genes y características avanzadas que confieren propiedades importantes y valiosas—, no sólo tengan beneficios directos para el agricultor sino también que reduzcan el impacto de la agricultura sobre el medio ambiente y permitan hacer frente a los efectos del cambio climático. Además de los transgenes que permiten la resistencia a plagas de insectos y simultáneamente la eliminación de los insecticidas químicos, así como la tolerancia a glifosato para eliminar malezas, otras nuevas e importantes capacidades desarrolladas en México —como la de utilizar el fosfito como fertilizante o la de generar resistencia a sequías y heladas— hacen de estas plantas transgénicas de tercera generación un promisorio motor para la agricultura nacional.

En México existen grupos que realizan investigación de frontera y de valor estratégico en biotecnología. Entre los ejemplos extraordinarios, poderosos y de gran valor que existen se comentan dos a continuación.

El primero es de la Dra. Beatriz Xoconostle, quien ha desarrollado maíces y otros cultivos transgénicos que otorgan a la planta la capacidad/ventaja de requerir menor cantidad de agua para vivir, así como de ser más resistente a heladas y sequías (ver figura VIII.1), lo cual mejoraría la productividad en cultivos de maíz de temporal. Esta planta (CIEA-9) estrictamente hablando no lleva un transgén sino un fragmento de ADN con elementos de diferentes orígenes, por lo cual es transgénica. En este cultivar de maíz, dicho segmento de ADN le permite modular la expresión del gen que codifica para la enzima trehalasa. La reducción en los niveles de esta enzima permite la acumulación del disacárido trehalosa, el cual actúa como estabilizador de membranas celulares ante un estrés abiótico.



Figura VIII.1. Variedad de maíz CIEA-9, tolerante a sequía y frío, desarrollada en México por Beatriz Xoconostle y su grupo de colaboradores. Se puede observar el efecto mayor resistencia a la helada en la variedad CIEA-9 y en cultivares CR que por cruza llevan también esta capacidad, comparativamente con la cepa de la que procede.

Otro desarrollo extraordinario y de gran valor social, económico, medioambiental y también para la salud, como el anterior, es el del Dr. Luis Rafael Herrera Estrella. Luis y su grupo han desarrollado variedades transgénicas, que utilizan fosfito en lugar de fosfato como fertilizante (ver figura VIII.2), lo que disminuye tanto el uso como el desperdicio del agroquímico, eliminando además la utilización de herbicidas químicos como el glifosato, ya que las malezas que compiten por nutrientes con los cultivos casi no se desarrollan cuando se fertilizan con fosfito. El fosfato y el fosfito se utilizan por las plantas, incluyendo las malezas, para crecer. El principio de esta tecnología es sencillo: conferir a los cultivos una ventaja competitiva que les permite requerir menos fósforo y desarrollarse mejor y más rápido que las malezas al ser fertilizados con fosfito, el cual puede ser usado como nutrimento por plantas transgénicas pero no por malezas.

Figura VIII.2. Portada de la revista *Plant Biotechnology Journal* en la que se publicó el artículo de López Arredondo y Herrera Estrella, 2013, donde se reporta la variedad transgénica de tabaco que utiliza fosfito como fertilizante. Ésta y otras variedades transgénicas han sido diseñadas y construidas por Luis Herrera Estrella y su grupo.



Ciertamente todavía hay mucho que avanzar para llevar estas tecnologías y variedades desarrolladas en México a un nivel comercial, mas se trata de variedades con capacidades extraordinarias para contender asimismo con el cambio climático y los desastres naturales.

Adicionalmente de llegar a implementarse comercialmente el uso de cultivos capaces de usar fosfito como fertilizante, se disminuiría el grave daño ecológico que conlleva el uso excesivo de fertilizantes, ya que al llegar a ríos, lagos o mares causan crecimiento de algas que producen toxinas y agotan el oxígeno, matando a peces y otras formas de vida marina y lacustre.

Estas aportaciones de plantas mexicanas con características extraordinarias de gran valor a nivel mundial, evidencian que México cuenta con la capacidad para el desarrollo de biotecnología moderna y, en particular, de cultivares transgénicos avanzados para atender, paliar necesidades actuales y del futuro del campo mexicano y del planeta, relacionadas con la producción sustentable de alimentos sanos y protección del medio ambiente.

Propiedad comercial de semillas transgénicas y aparición de semillas genéricas

En cuanto a la capacidad alimentaria, es importante señalar la estrategia de utilizar genéricos cuando algunas de las patentes de cultivares transgénicos que se venden y utilizan actualmente en el campo hayan vencido, ya que las plantas transgénicas que se utilizan se siembran desde hace más de 20 años.

El uso de genéricos es algo común en la economía mundial como soporte para la utilización de variedades genéricas que ayuden a contender con problemas de diversa índole.

Como se mencionó, México cuenta con proteínas de origen transgénico, producidos por empresas transnacionales farmacéuticas. Estos medicamentos se producen algunos como genéricos desde hace 20 años por la compañía mexicana Probiomed S.A., cuyos productos de origen transgénico se venden a menor precio a millones de mexicanos.

Conclusiones

El gobierno de México debe propiciar el uso de mejores tecnologías, seguras y avanzadas, entre ellas la biotecnología, y los cultivos transgénicos entre ellos los que llevan los genes que confieren resistencia a plagas de insectos, para contender de manera sustentable y responsable con las problemáticas del agro y la producción sustentable de alimentos sanos, libres de insecticidas químicos, mientras contribuye a la seguridad alimentaria y propicia el desarrollo nacional. Estas tecnologías deben coadyuvar de manera inteligente a la protección de la salud humana y animal, con los graves problemas de contaminación ambiental por insecticidas químicos y herbicidas, y además con problemáticas y retos relacionados con el cambio climático y desastres naturales.

El uso de capacidades tecnológicas para desarrollar mejores y revolucionarias plantas transgénicas implica una estrategia avanzada para contender con las demandas señaladas en particular en estos escenarios con sequías y con el incremento global de la temperatura promedio del planeta. La biotecnología, en particular el uso de plantas transgénicas, es parte fundamental del conjunto de tecnologías avanzadas, responsables, biológicas, y por ello amigables a la salud y al medio ambiente con que contamos para hacer frente a estas graves demandas y problemáticas.

Finalmente se debe insistir y alertar que, de acuerdo a las predicciones de los efectos del cambio climático, México será uno de los países más afectados por incremento de temperaturas y reducción de lluvias, por lo que resulta imperante que se establezca un gran programa de desarrollo de variedades de todos los cultivos necesarios para mantener la producción sustentable de alimentos sanos para los próximos 30 años a nivel nacional. Por ello se insiste en que se tendrá que hacer uso de toda la tecnología disponible, incluyendo esquemas de mejoramiento genético tradicionales, ingeniería genética y edición fina de genomas, ya que muchos de los nuevos transgénicos se construirán a través de esta metodología.

También se requerirá todo el extraordinario, ancestral y profundo conocimiento existente sobre las muchas y diferentes plantas mexicanas y sus variedades, particularmente las que crecen en regiones desérticas y de temporal, no solo para concertar sino para potenciar capacidades y conocimientos que ayuden a mitigar y contender con problemas, desastres y siniestros actuales y futuros, incluyendo la preservación de variedades nativas (Herrera-Estrella *et al* 1983, LBOGM 2005, Bolívar *et al* 2007, López-Arredondo y Herrera Estrella 2013, PND 2013-2018, Alavanja *et al* 2014, Brookes y Barfoot 2012, 2014, EFSA 2016, NASEM 2016, Xoconostle 2017).

Nota. Las referencias bibliográficas de este Capítulo no se incluyeron por razones de espacio, y se encuentran disponibles completas en la versión electrónica del libro (de libre acceso) en la página web del IBt/UNAM.