

Un panorama del tema de los organismos genéticamente modificados: bondades y riesgos con las plantas transgénicas

A panorama of the subject of the modified organisms geneticly: benefits and risks with transgenic plants

Saúl Fraire Velázquez  
Departamento de Biología Molecular de Plantas  
Unidad Académica de Biología Experimental  
Universidad Autónoma de Zacatecas

## Resumen

En la actualidad se ha agudizado a nivel mundial el debate sobre la utilización de los organismos genéticamente modificados (OGM), entre ellos las plantas transgénicas. Se observan posturas polarizadas: por un lado, se encuentran los que consideran que al tomar en cuenta la escasez de alimentos en muchas regiones del mundo, sobre todo en el hemisferio sur, donde la agricultura enfrenta un sinnúmero de problemas, la aplicación de la biotecnología en la producción de alimentos presenta un enorme potencial y es una alternativa necesaria; por otro, la postura ambientalista plantea una moratoria de varios años, o la negación al uso de estos avances científicos, en su lugar circunscribe a la agricultura orgánica, muy en boga en Inglaterra y otros países desarrollados. Esta revisión ofrece al lector una opinión sobre el significado de las plantas transgénicas, cómo se generan y algunos elementos básicos sobre los beneficios, no exentos de riesgos, que significa su implementación en la agricultura, y que de hecho ya se vienen explotando en varias regiones del mundo, incluyendo a México.

**Palabras clave:** transgénicos, organismos genéticamente modificados, OGMs, biotecnología.

## Abstract

Recently, the debate about the use of modified organisms genetically (MOG) has made more acute. Exist polarized postures in the matter. One of them consider important the scarcity of food stuffs in many parts of world, principally in the south hemisphere, where the agriculture confront with a lot of problems. On account of, this posture judge that the biotechnology application in aliments production has a great potential and is a necessary alternative. In the other side, the ambientalist posture establish a moratorium of some years or not use this kind of organisms and take advantage of the organic agriculture, fashionable method in England and other developed countries. This point of view give to reader an opinion about the meaning if transgenic plants, what is their origin, benefits, risks and what is the meaning of their use in the agriculture. This method is used in many countries, even in Mexico.

**Keywords:** transgenics, organisms genetically modified, OGMs, biotechnology.

## ¿Qué es un organismo genéticamente modificado?

La modificación genética implica, mediante técnicas de biología molecular e ingeniería genética, tomar un gen particular que determine alguna característica peculiar de un organismo y transferirlo a otro. Con los métodos de mejoramiento genético tradicional (genética Mendeliana), las características sólo pueden ser transferidas entre plantas o animales de la misma especie o cercanamente relacionados. En cambio, la modificación genética, asistida con técnicas de biología molecular, permite que las características sean transferidas entre organismos de diferentes especies, aún entre animales y plantas. Es bien sabido el ejemplo del «maíz-Bt» donde la planta se modificó genéticamente con la finalidad de producir

una proteína de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, dicha proteína sirvió para matar al patógeno conocido como barrenador del maíz. Otro ejemplo es la soya, genéticamente modificada, resistente al herbicida glifosato, un herbicida de amplio espectro que permite eliminar todo tipo de maleza, excepto la planta de soya que posee el respectivo gen (transgen) de resistencia.

El término «organismo genéticamente modificado» tal vez no sea el más adecuado, considerando que mediante el mejoramiento genético tradicional, también se obtienen modificaciones en el genoma del organismo a través de la hibridación, intercruzas o mutagénesis, técnicas muy utilizadas en el mejoramiento genético tradicional. Un término más preciso de reciente proposición es el de «organismo genéticamente diseñado» en el que, de manera predeterminada, se decide el tipo de cambio genético a obtener en el organismo [27], y por ende, el proceso de la modificación por ingeniería genética. En general, no es más riesgoso que el mejoramiento genético tradicional.

Esta poderosa herramienta, permite entonces a los fitomejoradores generar variedades de plantas útiles y productivas, que contengan nuevas combinaciones de genes pero con mayores posibilidades, mas allá de las limitaciones que impongan las técnicas convencionales de polinización cruzada y selección.

### **¿Cómo se genera una planta transgénica?**

La primera tarea es localizar un gen que aporte alguna característica agrícola importante. Aunque esta es una de las mayores limitantes, dado que actualmente se conoce muy poco acerca de los genes específicos requeridos para inferir en la planta las propiedades agronómicas deseadas. Lo anterior implica la necesidad de realizar investigación básica, con el objetivo de superar la dificultad mencionada y,

además, determinar los efectos colaterales que tendrán lugar en la nueva planta al interactuar con otros genes en la misma ruta metabólica.

Una vez elegido el gen, es necesario clonarlo en un vector (un plásmido) e introducirlo a una célula hospedera, por lo regular la bacteria *Escherichia coli*, y hacerle ciertas modificaciones, imprescindibles para tener éxito al momento de insertarlo (mediante la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*) en el genoma de la planta. Entre otras modificaciones, es necesario agregarle una secuencia promotora (promotor), que se encarge de determinar dónde y cuándo debe expresarse el transgen en los tejidos a lo largo del ciclo biológico de la planta. Algunos promotores promueven la expresión del gen en forma constitutiva (continua y en la mayoría de los tejidos) y otros lo hacen en forma tejido-específica al responder ante señales endógenas de la planta o bien del medio ambiente. Aparte del promotor, se requiere una secuencia terminadora que le indique a la maquinaria enzimática de la traducción, dónde es el fin de la secuencia que será traducida a proteína. Es importante también añadir a la construcción un gen marcador o reportero, que codifique para alguna enzima que ofrezca resistencia ante cierto antibiótico o herbicida, de tal forma que sólo las células que recibieron el transgen puedan sobrevivir en el medio de cultivo selectivo con el respectivo antibiótico o herbicida.

Con la construcción que contiene el gen de interés y el gen marcador selectivo se procede entonces a transformar la planta, lo que significa insertar la construcción en el genoma de las células vegetales y lograr que el cambio genético sea heredable en la progenie. Esto se hace con dos métodos: mediante biolística (biobalística) o con la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*. Biolística implica el bombardeo del tejido vegetal con microproyectiles de tungsteno revestidos de la construcción genética que se preparó con el gen deseado y el gen selectivo.

*Agrobacterium tumefaciens* es una bacteria del suelo que infecta a una variedad de plantas frutales y ornamentales, causando la enfermedad conocida como «agalla de la corona» y tiene la habilidad de infectar a las células vegetales con una pieza (una región) de su ADN, forzando con ello a que la maquinaria celular vegetal, actúe en su beneficio para asegurar la proliferación de la población bacteriana. Además de su propio genoma bacteriano, *A. tumefaciens* posee otra estructura de ADN circular conocido como plásmido Ti (inductor de tumor). El cual contiene a su vez una región denominada T-DNA que es transferida a la célula vegetal en el proceso de infección y una serie de genes *vir* (virulencia) que dirigen el proceso infeccioso. Para habilitar a *A. tumefaciens* como un vector para los transgenes, se le removió la sección T-DNA inductora de tumor, y se le dejó los bordes de esa misma región además de los genes *vir*. El transgen (gen de interés) se inserta entre los bordes del T-DNA de donde es transferido a la célula vegetal para integrarse en el genoma de la planta [31].

Después de la inserción del gen, el tejido vegetal se transfiere a un medio de cultivo selectivo que contiene el antibiótico o herbicida, y sólo las células que expresan el marcador selectivo sobreviven; se puede asumir que las plantas generadas a partir de dichas células, a través de una técnica de cultivo de tejidos, poseen también en algún sitio de sus cromosomas el transgen de interés. Una vez que se logra obtener plantas adultas y semilla, comienza la evaluación de la progenie lo que asegura que el transgen permanece estable y se pueden seleccionar las plantas homocigóticas.

### **Aspectos económicos actuales de los cultivos con plantas transgénicas**

Las modificaciones más importantes en vegetales han sido diseñadas con la intención de generar plantas tolerantes a herbicidas (soya, maíz), resistentes a plagas

(soya, maíz, algodón), modificación en el contenido de almidón (papa) y calidad del aceite (canola) [30]. Sólo para darnos una idea de la importancia económica de los cultivos con plantas genéticamente modificadas, en el año 2005 a nivel global se estima que se cultivaron cerca de 90 millones de hectáreas, con un incremento del 11%, respecto a la cifra del 2004, porcentaje que equivale a 9 millones de hectáreas. Tales cultivos con plantas transgénicas fueron establecidos por 8.5 millones de productores en 21 países, 11 en vías de desarrollo y 10 industrializados. Notablemente, el 90 % de estos agricultores fueron productores de bajos recursos de países en vías de desarrollo (China, India, Sudáfrica).

Los países más adentrados en el cultivo de transgénicos son los Estados Unidos de Norteamérica con 49.8 millones de hectáreas (el 55 % del total global), le sigue Argentina con 17.1 millones de hectáreas (20 %), Brazil con 9.4 millones de hectáreas (6 %), Canadá con 5.8 millones de hectáreas (6 %), con porcentajes menores China, Paraguay, India, Sudáfrica, Uruguay, Australia; México se ubica en el onceavo lugar con 0.1 millones de hectáreas (<1%) (tabla 1). Los mayores incrementos en superficie por país para el año 2005 fueron Brasil con un incremento de 4.4 millones de hectáreas (53%), seguido por Estados Unidos de Norteamérica (2.2 millones de hectáreas), Argentina (0.9 millones de hectáreas) e India (0.8 millones de hectáreas).

Las especies agrícolas transgénicas cultivadas fueron en orden de importancia: soya (el 60% del total), maíz (24%), algodón (11%) y canola (5%). En los cultivos con transgénicos, la característica más notoria fue la tolerancia a herbicida en cultivos de soya, maíz, canola y algodón, seguida de resistencia a insectos. También escalaron en la misma planta, transgenes de resistencia a herbicida y transgenes de resistencia a insectos en especies como el maíz y algodón. Los cultivos transgénicos y rasgos importantes introducidos a nivel global, han sido soya resistente a herbicida con 48.4 millones de hectáreas (71% del total) y maíz Bt con resistencia a insectos con 11.2 millones de hectáreas (14% del total). El valor global de los beneficios económicos

netos para los agricultores de cultivos transgénicos para el año 2005 fue estimado en 6.4 billones de dólares [16].

**Tabla 1.** Superficie global de cultivos transgénicos en 2005 por país (millones de hectáreas)

Orden	País	Superficie	Cultivo transgénico
1	Estados Unidos	49.8	Soya, Maíz, Algodón
2	Argentina	17.1	Canola, Zapallos, Papaya
3	Brasil	9.4	Soya, Maíz, Algodón
4	Canadá	5.8	Soya
5	China	3.3	Canola, Maíz, Soya
6	Paraguay	1.8	Algodón
7	India	1.3	Soya
8	Sudáfrica	0.5	Algodón
9	Uruguay	0.3	Maíz, Soya, Algodón
10	Australia	0.3	Soya, Maíz
11	México	0.1	Algodón
12	Rumania	0.1	Algodón, Soya
13	Filipinas	0.1	Soya
14	España	0.1	Maíz
15	Colombia	<0.1	Maíz
16	Irán	<0.1	Algodón
17	Honduras	<0.1	Arroz
18	Portugal	<0.1	Maíz
19	Alemania	<0.1	Maíz
20	Francia	<0.1	Maíz
21	República Checa	<0.1	Maíz

Fuente: Clive James, 2005.



## **Las bondades de los cultivos con plantas transgénicas**

Se sabe que las prácticas actuales de la agricultura convencional poseen un impacto perjudicial importante en el medio ambiente. El uso indiscriminado de pesticidas tiene un alto costo en detrimento de las especies silvestres; el exceso de labranza origina una acelerada erosión del suelo y con ello se incurre en altos costos de producción. Ante estos problemas, la opción de establecer cultivos con plantas transgénicas presenta, a todas luces, grandes beneficios, aunque es justo reconocerlo, no exento de riesgos. La producción de alimentos mediante la aplicación de la biotecnología ofrece además ventajas potenciales para los consumidores tanto en valor nutricional como en términos de costos.

Estudios en campo, verificados al interior de países en desarrollo como India con cultivo de algodón Bt, han demostrado que esta tecnología reduce substancialmente los daños por plagas e incrementa los rendimientos [25]. En muchos países en vías de desarrollo, los pequeños productores que sufren grandes pérdidas debido a plagas, el cultivo de especies modificadas genéticamente podría contribuir a incrementar los rendimientos y el progreso de la agricultura, como se demuestra en el caso del algodón Bt en India.

## **Un mejor control de plagas, enfermedades y malezas**

El control efectivo y sostenido de patógenos microbianos, virales y nematodos en plantas es hoy una tarea de primer orden en cualquier sistema agrícola. Cifras gruesas acerca de las pérdidas globales causadas por insectos, nemátodos, enfermedades y malezas en el total de la producción agrícola fluctúan entre 30 y 40%. Del 60 al 70 % de estas pérdidas suceden en países en desarrollo a un costo de

300 billones de dólares por año. Lo anterior considerando el uso extensivo de pesticidas, algunos de ellos altamente tóxicos originando hasta 220,000 muertes por año, principalmente en unidades de producción agrícola en países en vías de desarrollo [27].

Uno de los propósitos en el diseño de plantas transgénicas es ofrecer resistencia ante virus, microorganismos patógenos, insectos o nemátodos [26], o tolerancia a herbicidas. Los cultivos con plantas que poseen estas características permiten reducir o evitar el uso de toneladas de pesticidas, y con ello reducir o evitar los daños al medio ambiente. Cultivos resistentes a insectos garantizan un menor número de veces en la utilización de insecticidas, que de otra forma bajo la modalidad convencional, se requieren alto número de aplicaciones. En suelos fértiles y en temporadas de mayor concentración de las lluvias, una gran dificultad es la presencia de malezas de crecimiento rápido, que en la agricultura tradicional ha obligado al uso pronunciado de herbicidas. Cultivos tolerantes a herbicidas son una alternativa viable de solución a este problema.

Datos de ensayos directos en campo en el centro y sur de India muestran que los rendimientos en algodón Bt fueron 80 % mayores que con planta no transgénica o híbridos regionales, y que el cultivo genéticamente modificado requirió solamente cerca del 30 % de pesticidas [18]. Sin embargo, ignorando estas realidades, los productores bajo la modalidad de agricultura orgánica, han preferido evitar la tecnología de los transgénicos en la creencia que va en contra de los principios de esa forma de producir alimentos, y sí se permiten, en cambio, el uso de pesticidas orgánicos, incluyendo el insecticida a base de la proteína Cry de la bacteria *Bacillus thuringiensis*.

Esta variedad de pesticidas aplicados en aspersión total o dirigida, tienen también efectos adversos sobre toda una variedad de familias de insectos e incluso en aves.

Se debe tener presente además, que los rendimientos en la agricultura orgánica son más bajos, y generalmente los productos cosechados son más caros para el consumidor final, en función de los mayores costos incurridos en las labores agrícolas, precios que comúnmente están fuera del alcance de la mayoría de la población a escala mundial, excepto en sectores de mayor poder adquisitivo en países como Inglaterra, Estados Unidos y Japón.

### **Mejores características nutricionales e industriales de las plantas diseñadas genéticamente**

La mayoría de las plantas cultivadas comúnmente son deficientes en varios de los nutrientes requeridos en nuestra dieta. Ninguno de los cultivos que hoy se explotan fue seleccionado considerando los aspectos nutricionales, más bien fueron elegidos intuitivamente por nuestros ancestros dentro de la gama de plantas que observaron a su alrededor. Se sabe por ejemplo, que deficiencias nutricionales en particular la vitamina A, hierro y zinc afecta a más del 40 % de la población mundial [32]. Por otro lado, hay 100 millones de personas en el mundo muriendo de hambre y 800 millones de personas con hambre [8].

La biotecnología aplicada al mejoramiento de las variedades de plantas cultivadas, puede aprovecharse para producir plantas con mayores niveles de estos micronutrientes o de aminoácidos. Asimismo tenemos la oportunidad de producir plantas con nuevas y mejores propiedades industriales, de aplicaciones nutracéuticas y farmacéuticas. En un proyecto de micronutrientes en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia, donde se aplica la genómica vegetal y mejoramiento genético, se indica que la biofortificación es altamente posible para la mayoría de las plantas cultivadas [2].

## **Las plantas transgénicas, su impacto en el medio ambiente y los alimentos**

Una preocupación con las plantas genéticamente diseñadas, es la posibilidad del flujo del o los transgenes hacia las poblaciones de plantas silvestres, en la medida en que las transgénicas se mezclan, se cruzan y se reproducen con las especies silvestres filogenéticamente relacionadas, dando origen a cambios genéticos [1] y con ello, dicen los ambientalistas, a especies de plantas con características de súper-malezas, lo que significa un riesgo para la biodiversidad. Conociendo dicho riesgo, todo equipo de investigadores que trabaja con transgenes en plantas, está consciente que antes de proceder a la liberación de cualquier planta transgénica, es necesario realizar un suficiente número de estudios de impacto ambiental, y superar todas las pruebas que a diferencia del mejoramiento genético tradicional, se han venido imponiendo de manera rigurosa a los organismos genéticamente modificados.

Las herramientas moleculares para restringir el flujo genético hacia especies emparentadas se han enfocado hacia la esterilidad masculina, herencia maternal y esterilidad de la semilla. Nuevas estrategias en la contención de los transgenes consisten en apomixis (propagación vegetativa y formación asexual de la semilla), inducción química de la delección de transgenes, cleistogamia (autofertilización sin apertura de la flor), y la mitigación de los transgenes (transgenes que comprometen el vigor en el híbrido). Ninguna de estas estrategias es de aplicación amplia en todas las especies de cultivos, la combinación de varias puede ser el mejor camino para desarrollar la siguiente generación de plantas transgénicas [15].

Otra preocupación es la prevalencia en los alimentos del producto resultado del transgen y su efecto tóxico al ser ingerido en la dieta diaria, algo que los críticos de la biotecnología han exacerbado sobremanera, argumentando que los cultivos con plantas transgénicas significan un riesgo para la salud humana y compromete el futuro de la alimentación. Sobre este respecto debemos tomar en cuenta, que el mejoramiento genético tradicional en plantas, aplicando la genética básica mendeliana, ha implicado la introducción de fragmentos de cromosomas de plantas silvestres a plantas cultivadas, y que en este proceso, cientos de genes desconocidos e indeseables han sido también introducidos, con el riesgo de que muchos de ellos codifican para toxinas o alérgenos, armas que las plantas utilizan para enfrentarse a sus depredadores y sobrevivir en forma silvestre. Pese a esto, casi nunca antes se han sometido a prueba de seguridad alimenticia o riesgo ambiental, las variedades de plantas así generadas.

En cambio, en las plantas transgénicas, los estudios de toxicidad o de alergia al ser consumidos por el humano son rigurosos. Al respecto, los resultados en una evaluación en más de 50 cultivos transgénicos aprobados en el ámbito mundial, indican que tales alimentos son tan seguros y nutritivos como aquéllos derivados de cultivos tradicionales [3]. De igual modo, en un análisis comparativo, no se encuentran evidencias de que la tecnología de los transgénicos represente un riesgo de alergia pero se comparado con el mejoramiento genético tradicional [17]. Centrados en la idea de determinar con un mayor nivel de resolución, los cambios indeseables en los nuevos cultivos u organismos genéticamente diseñados, se ha propuesto la aplicación de la proteómica y metabolómica, para disminuir los riesgos de introducir cambios inesperados, y con ello ofrecer mayor confianza a los consumidores [29].

Algunas organizaciones ambientalistas, con razonamiento y posturas limitadas, han llegado a calificar a la biotecnología de los transgenes como un experimento genético gigante con el medio ambiente que significa contaminación genética, y se oponen a la liberación de todo organismo genéticamente modificado [14]. En contraparte a la postura anterior y con una visión más realista y ecuánime, es conocido que todos los avances científicos implican siempre algún riesgo de resultados inesperados, y de igual forma, en la biotecnología el “cero riesgo” es inalcanzable.

Debemos tener presente que la agricultura tradicional a través del tiempo, ha destruido millones de hectáreas alrededor del mundo, y que nuevas especies de plantas han sido domesticadas e introducidas en nuevos ambientes con propósitos de producción de alimentos, pasturas para ganado y fibras entre otros productos, lo que a su vez ha resultado en problemas de erosión del suelo, y en la pérdida de ciertas especies de la flora y la fauna locales; esto implica que la agricultura tradicional ha estado muy distante de alcanzar la inocuidad o el «cero riesgo».

Especial atención merece además, la demanda cada vez mayor de alimentos para abastecer a la creciente población humana mundial, que de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, para julio del 2005 la cifra a nivel global ascendió a 6.5 billones de individuos; es decir, 500 millones más de lo previsto, y se espera que se incremente 2.6 billones en los próximos 44 años, hasta llegar a los 9.1 billones en el año 2050. El mayor crecimiento tendrá lugar en las regiones menos desarrolladas. En contraste, la población en las regiones más desarrolladas permanecerá casi sin cambio, en 1.2 billones de individuos. [33]

### **Grupos Mexicanos con trabajos en plantas transgénicas**

Los trabajos de calidad en México, en materia de plantas transgénicas, para atender problemas prácticos en la agricultura, por ejemplo la acidez del suelo en el trópico húmedo que limita el desarrollo de los cultivos, han corrido a cargo de grupos como el de Luis Herrera-Estrella quienes han trabajado con genes como la citrato sintasa de *Pseudomonas aeruginosa* expresado en tabaco (*Nicotiana tabacum*) y en papaya (*Carica papaya*), lo que derivó en tolerancia a concentraciones altas de aluminio [6]. Y en mayor capacidad para la absorción de potasio en suelos alcalinos, efecto que se atribuye a la expresión del gen citrato sintasa de *P. aeruginosa*, que hace incrementar la biosíntesis y eflujo de citrato desde las raíces de la planta [19, 24], aunque otros autores han reportado en el mismo modelo de estudio resultados poco reproducibles [7]. El grupo de Miguel Angel Gómez Lim, quien ha trabajado con plantas transgénicas de plátano resistentes a la enfermedad conocida como la Sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet; también se ha trabajado con genes antifúngicos como el gen J1 de chile (*Capsicum anuum*) que codifica para una defensina y el gen Pdf 1.2 de *Arabidopsis* [7, 13]. Un mayor número de grupos de investigadores en el país dentro de instituciones de investigación y de estudios de posgrado como el Instituto de Biotecnología de la UNAM, el CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional e Institutos o Centros de Investigación en las Universidades Estatales así como en el INIFAP, se han abocado a la obtención de toda una variedad de plantas transgénicas para modelos experimentales con fines de investigación en el laboratorio e invernadero.

### **La agricultura en el semidesierto Zacatecano y las posibilidades con la tecnología de los transgénicos**

En un clima seco semidesértico como el que predomina en una mayor extensión del territorio Zacatecano, con una precipitación anual menor a los 400 mm, el agua se convierte en el factor limitante para la agricultura, y a medida que bajan los niveles del manto freático y escasea el agua para fines de riego, se hace más urgente

disponer de variedades resistentes a la sequía. En general, la mayoría de las plantas cultivadas son altamente sensibles al estrés por deshidratación. Mediante mejoramiento genético convencional se ha logrado generar variedades tolerantes a sequía de especies cultivadas importantes para la región tales como maíz y frijol; no obstante, el progreso ha sido lento y aún se sigue trabajando en la generación de variedades resistentes a estrés hídrico. Es aceptable que la respuesta de la planta ante la escasez de agua es una respuesta multigénica [21].

En estudios de biología molecular y celular, diversos grupos de investigadores en el país y el extranjero están logrando avances significativos en el descubrimiento de genes involucrados en la respuesta de las plantas ante la sequía. Genes como los denominados LEA (del inglés late embryogenesis-abundant) del grupo de las hidrofilinas, involucrados en la respuesta ante deshidratación estudiados en frijol y Arabidopsis [4, 20, 9, 5]. En investigaciones en plantas «de resurrección» llamadas así porque pueden tolerar la pérdida extrema de agua o disecación, como la especie Xerophyta viscosa, se han aislado varios genes, entre éstos el XVSAP1 que se ha demostrado que imparte una mayor tolerancia ante estrés por salinidad y sequía en plantas de Tabaco y Arabidopsis [10, 11] y actualmente bajo estudio en maíz [22]. Los genes denominados ODE (del inglés Osmotically Differentially Expressed) que en planta de Chile se sobreexpresan en condiciones de estrés hídrico [23].

Con las nuevas herramientas moleculares como la genómica, se están descifrando grandes colecciones de genes que caracterizan los transcriptomas, entre ellos el de respuesta de la planta ante estrés por sequía [28]. A través del descubrimiento de estos genes de respuesta a escasez de humedad y la tecnología de los transgénicos, se está trabajando ahora en la transformación de plantas de interés agronómico, para ofrecer mayores alternativas ante la problemática que enfrenta la agricultura en un clima semidesértico, como el que prevalece en el estado de Zacatecas y gran parte del altiplano Mexicano.



## Perspectivas

La escasez de alimentos que vienen padeciendo amplias regiones de todo el hemisferio sur, donde se localizan las regiones más pobres y donde tendrá lugar el mayor crecimiento demográfico en los próximos 44 años, está exigiendo una valoración adecuada de la función que puede desempeñar la biotecnología de los organismos genéticamente modificados para la producción de alimentos. Esta valoración deberá tomar en cuenta los problemas particulares locales de los países en vías de desarrollo, escuchando la opinión de los grupos más necesitados, y no sólo de los sectores con el más alto nivel económico en países industrializados. Así como se ha venido aplicando en el ámbito internacional la biotecnología de los transgénicos para producir alimentos hasta hoy por 21 países, y tomando en cuenta los innumerables problemas que afectan la producción de alimentos a escala global, además de la cifra ascendente de la población humana que se estima llegará a los 9.1 billones para el año 2050, puede preverse que esta tecnología se seguirá aplicando justificadamente en regiones localizadas o más extensas del mundo.

Desde el punto de vista científico, la ingeniería genética en plantas o mejoramiento genético a nivel molecular, significa el aprovechamiento y explotación de las fuerzas de la naturaleza, en beneficio de la producción de alimentos que exige día con día la especie humana para su sobrevivencia. Se trata de una herramienta que nos permita alcanzar una mayor cantidad, calidad y disponibilidad estratégica de productos alimenticios con menor daño al medio ambiente que la agricultura convencional. Lo anterior sin caer en el error de considerar a esta tecnología de los transgénicos, como la solución total para todos y cada uno de los problemas que enfrenta en la actualidad la agricultura dentro del ámbito mundial, sino más bien

como una herramienta más, integrada de forma racional a las técnicas de mejoramiento genético tradicional, junto con la agricultura orgánica en regiones donde es totalmente factible.

### Agradecimientos

El autor agradece a la M. C. Leticia Almanza Sánchez por su colaboración en la revisión para mejorar la calidad del manuscrito.

### Bibliografía

- [1] ÁLVAREZ-MORALES A., «Possible implications of the release of transgenic crops in centres of origin or diversity», *Eviron. Biosafety Res.* Number 2, pp. 47-51, 2003.
- [2] CIAT, CIAT in Perspective 2000-2002, Seeds of Health, Institutional annual report. [www.ciat.cgiar.org/newsroom/annual 2002/](http://www.ciat.cgiar.org/newsroom/annual%2002/). 2003. Sitio accesado octubre 2003.
- [3] COCKBURN A., «Assuring the safety of genetically modified (GM) foods: The importance of an holistic, integrative approach», *J. Biotechnol.* Number 98, pp. 79-106, 2002.
- [4] COLMENERO-Flores J.M., Moreno L.P., Smith C.E., Covarrubias A. A., «Pvlea-18, a Member of a New Late-Embryogenesis-Abundant Protein Family That Accumulates during Water Stress and in the Growing Regions of Well-Irrigated Bean Seedlings», *Plant Physiol.* Number 120, pp. 93-104, 1999.
- [5] COVARRUBIAS A. A., Reyes J.L., Olvera-Carrillo Y., Campos F., Battaglia M., Quiroz R.E., Garcarrubio A., «Functional análisis of plant hydrophilins», CIMMYT/Drought/ Rockefeller Foundation Workshop. Abstracts. 2004,
- [6] DE LA FUENTE J. M., Ramírez-Rodríguez V., Cabrera-Ponce J.L., Herrera-Estrella L., «Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate síntesis», *Science* ,Number 276, pp.1566-1568, 1997.
- [7] DELHAIZE E., Hebb D.M., Ryan P.R., «Expression of a pseudomonas aeruginosa citrate synthase gene in tobacco is not associated with either enhanced citrate accumulation or efflux», *Plant Physiol.* Number 125, pp. 2059-2067, 2001.
- [8] Foodfuture organization, Uk., Ethical issues : Will This Help Feed the Poor? [www.foodfuture.org.uk/gmcrops/](http://www.foodfuture.org.uk/gmcrops/). 2006. Sitio accesado febrero 2006.
- [9] GARCIA-Gomez B.I., Campos F., Hernandez M., Covarrubias A.A., «Two bean cell wall proteins more abundant during water deficit are high in proline and interact with a plasma membrane protein», *Plant J.*, Number 22, pp. 277-288, 2000.

- [10] GARWE, D., Thomson J. A., Mundree S. G., «Molecular characterisation of XV SAP1, a stress-responsive gene isolated from the resurrection plant *Xerophyta viscosa* Baker», *J Exp Botany*, Number 54, pp. 1-11, 2003.
- [11] \_\_\_\_\_, Thompson J. A., Mundree S. G., «XV SAP1 from *Xerophyta viscosa* improves salinity and water deficit stress tolerance in *Arabidopsis* and *Tabacco*», CIMMYT/Drought/Rockefeller Foundation Workshop. Abstracts, 2004.
- [12] GÓMEZ-LIM, M. A., González J. A., Ortiz J. L., Aguilar-Vega M., Sandoval J., Generación de Banano (c.v. Gran nain) transgénico conteniendo genes antifúngicos para conferir resistencia contra *Sigatoka Negra.*, VII Reunión de la Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA. Medellín Col. Memorias, 2002.
- [13] \_\_\_\_\_, González-Rodríguez J. A., Ortiz-Vargas J. L., Sandoval J., Aguilar-Vega M., «Genetic transformation of cv "Grand naine" 1st, International Congress on *Musa*», Penang, Malaysia. Abstracts, 2004.
- [14] Greenpeace. International campaigns. [www.greenpeace.org/international\\_en/campaigns/](http://www.greenpeace.org/international_en/campaigns/) 2003. Sitio accesado noviembre 2003.
- [15] H. Daniell., «Molecular strategies for gene containment in transgenic crops», *Nat Biotechnol*, Number 20, pp. 581-586, 2002.
- [16] JAMES C., Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005, ISAAA Briefs Number 34. ISAAA: Ithaca, N.Y., 2005.
- [17] LACK G., Clinical risk assessment of GM foods. *Toxicol, Lett.*, Number 127, pp. 337-340, 2002.
- [18] LEWIS N., India's GM crops yield dramatic results. [www.scidev.net/dossiers/index.cfm](http://www.scidev.net/dossiers/index.cfm). 2003. Sitio accesado agosto 2003.
- [19] LÓPEZ-BUCIO, J., Martínez de la Vega O., Guevara-García A., Herrera-Estrella L., «Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate», *Nat Biotechnol*, Number 18, pp. 450-453, 2000.
- [20] MORENO-FONSECA, L. P., Covarrubias A.A., «Downstream DNA sequences are required to modulate *Pvlea-18* gene expression in response to dehydration», *Plant Mol Biol*, Number 45, pp. 501-515, 2001.
- [21] MUNDREE S. G., Thompson J. A., «Toward the improvement of abiotic stress tolerance in Maize using genes isolated from monocotyledoneous resurrection plant *Xerophyta viscosa*», CIMMYT/Drought/Rockefeller Foundation Workshop. Abstracts, 2004.
- [22] \_\_\_\_\_, Bienyameen B., Mowla S., Peters S., Marais S., Vander Willigen, C., Govender K., Maredza A., Muyanga S., Farrant J.M., Thomson J.A., «Physiological and molecular insights into drought tolerance», *African JBiotech*. Number 1, pp. 28-38, 2002.
- [23] OCHOA-ALEJO, N., Camacho-Villasana Y., «Differential gene expression in cell cultures and plants of chili pepper (*Capsicum annum* L.) in water stress», CIMMYT/Drought/Rockefeller Foundation Workshop. Abstracts, 2004.
- [24] PIÑEROS M. A., Magalhaes J. V., Vera M., Carvalho-Alves, Kochian L. V., «The Physiology and Biophysics of an Aluminum Tolerance Mechanism Based on Root Citrate Exudation in Maize», *Plant Physiol*, Number 129, pp. 1194-1206, 2002.
- [25] QAIM M., Zilberman D., «Yield effects of genetically modified crops in developing countries», *Science*, Number 299, pp. 900-902, 2003.
- [26] ROMMENS C. M., Kishore G. M., «Exploiting the full potential of disease-resistance genes for agricultural use», *C. Opinion Biotech*, Number 11, pp. 120-125, 2000.
- [27] RONALD P., Strauss S., Moving the Debate on Genetically Engineered Crops Forward. *ASPB News*. 2003, 30(3) <https://www.aspb.org/>. Sitio accesado septiembre 2003.

- [28] SAWKINS M., De La Luz-Gutiérrez, M. C., Habben J., Zinselmeier C., Martínez C., Huerta E., Moreno M., Ribaut M., «A complexity of genes underlie the response to drought tolerance in maize at flowering», CIMMYT/Drought/ Rockefeller Foundation Workshop. Abstracts, 2004.
- [29] SCHILTER B., Constable A., «Regulatory control of genetically modified (GM) foods: likely developments», Toxicol, Lett, Number 127, pp. 341-349, 2002.
- [30] SHELTON A. M., Zhao J. Z., Roush R. T., «Economical, Ecological, Food safety and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants», Annu, Rev. Entomol., Number 47, pp. 845-881, 2002.
- [31] STANTON B. G., «Agrobacterium-Mediated Plant Transformation: the Biology behind the "Gene-Jockeying" Tool» Microbiol, Mol. Biol. Rev., Number 67, pp. 16-37, 2003.
- [32] TUCKER G., «Nutritional enhancement of plants», Curr Opin Biotechnol, Number 14, pp. 221-225, 2003.
- [33] United Nations. World Population Prospects: The 2004 Revision. <http://esa.un.org/unpp>. 2005. Sitio accesado febrero 2006.