

Plantas Genéticamente Modificadas



Una nueva herramienta
para el mejoramiento
Genético Vegetal
2013

Plantas Genéticamente Modificadas (Transgénicas)



Una nueva herramienta
para el mejoramiento
Genético Vegetal
2013

Plantas Géneticamente Modificadas

Segunda versión mejorada

Traducción y adaptación: Ing. Jorge Madriz Muñoz

Revisión y mejoras: Departamento de Biotecnología, SFE-MAG.

Ilustraciones y diagramación: IG Innovación Gráfica

Fotografías: Uso libre de internet

Impresión: Este documento fue publicado con el aporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), bajo el marco del Proyecto No. GLF/2328-2716-4B61 “Implementación de un Marco Nacional de Bioseguridad para Costa Rica”



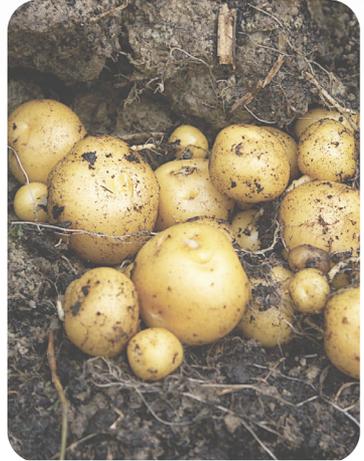
San José, Costa Rica, 2013.

Presentación

La versión original de este documento fue elaborado por profesores de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil, con el apoyo de la Federación de la Federación de Agricultura de Rio Grande de Sul –FARSUL- y del Servicio Nacional de Aprendizaje Rural –SENAR/RS.

En 2001, con autorización de los autores de la versión original, el Ing. Jorge Madriz Muñoz, tradujo, adaptó, actualizó y mejoró el documento incluyendo información correspondiente a Costa Rica. Actualmente el Ing. Madriz como gerente del Proyecto UNEP-GEF “Implementación de un Marco Nacional de Bioseguridad para Costa Rica” genera la segunda versión de este documento, realizando actualizaciones y mejoras de su contenido.

El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, Ley Nacional N°8537, indica en su artículo 25, que se procurará asegurar que la concienciación y educación del público incluya el acceso a la información sobre organismos vivos modificados (OVM), también llamados organismos genéticamente modificados (OGM). En este sentido, este folleto pretende brindar una breve reseña de cómo esta herramienta es un mecanismo más en el de mejoramiento genético de plantas y puede contribuir a resolver problemas agrícolas en un menor plazo.



Introducción

Existe un consenso en la comunidad científica mundial de que la tecnología convencional por sí misma no permitirá que la producción de alimentos sea aumentada a niveles suficientes para alimentar a una población estimada de entre 9,1 y 9,37 billones de habitantes para el año 2050 (Bongaarts, 1988, FAO, 2009).

Además de que la población se duplicará en los próximos 50 años y que se necesitará una mayor cantidad de alimentos, mucha de la tierra potencialmente agrícola será ocupada por casas, fábricas, entre otros, por lo tanto será necesario aumentar la productividad en las áreas que queden disponibles para cultivo, de lo contrario, habría que ocupar áreas reservadas a zonas protectoras, reservas biológicas y parques nacionales, poniendo en peligro las especies que viven en esos lugares.

Se ha reconocido que el problema puede ser disminuido, en parte, con una mejor distribución de los alimentos, y que entonces para atender las necesidades futuras y permitir una producción sostenible, se deberá recurrir a todas las tecnologías disponibles, incluyendo la biotecnología moderna, que ha tenido un desarrollo extremadamente rápido en los últimos años. De particular importancia es la ingeniería genética, que involucra la producción, evaluación y uso de plantas genéticamente modificadas.

Existe un gran desconocimiento en la población acerca de qué son y cómo se hace las plantas genéticamente modificadas por medio de métodos modernos de ingeniería genética, creando confusión y a veces temor. Este folleto está dirigido a estudiantes de Colegios y de Universidades y al público en general interesados en conocer cómo la ingeniería genética puede ser utilizada como una herramienta más del mejoramiento genético, y sobre todo enfatizar que la tecnología no es mala por sí misma, sino que todo depende del uso que el hombre haga de ella.

Se agradece a la Dra. María Helena Bodanese Zannettini y al Dr. Jeancarlo Pasquali, ambos de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil por permitir, en el año 2001, adaptar y mejorar el folleto: *Plantas transgénicas: uma nova ferramenta para o melhoramento genético vegetal*, que sirvió de base para esta versión aumentada y mejorada.

¿QUÉ ES LA INGENIERÍA GENÉTICA?

Desde que el hombre empezó a seleccionar plantas para utilizarlas como alimento y guardó semillas, viene manipulando los genes de esas especies. Como resultado de la intervención humana, fue posible producir gran número de variedades con nuevas combinaciones genéticas, lo que no ocurriría tan rápidamente en situaciones naturales.

Las características de un ser vivo, están determinadas por el ADN (ácido desoxirribonucleico), que se encuentra principalmente en el núcleo de las células (Figura 1).

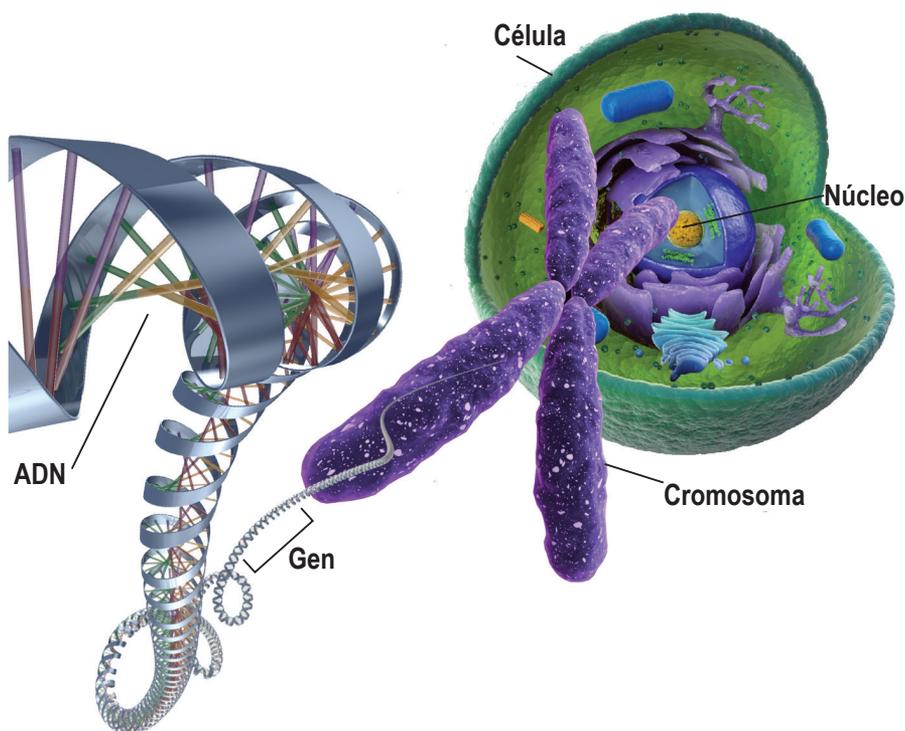


Figura 1. Componentes del material hereditario o Ácido Desoxirribonucleico (ADN).

Fuente: Adaptado de http://lens.auckland.ac.nz/index.php/Understanding_Gene_Expression

El ADN porta la información genética que determina como las células individuales y, consecuentemente, el organismo como un todo, será construido, como funcionará y se adaptará al ambiente. Así, como una oración es formada por palabras, el ADN de un individuo esta dividido en unidades funcionales (o palabras) llamados genes (Figura 1). Las características totales de una planta dependerán de cuales genes fueron recibidos de las plantas progenitoras, de la expresión (funcionamiento) o no de estos genes y también de las interacciones de los genes entre si y con el medio ambiente.

En el mejoramiento genético convencional, se producen nuevas combinaciones de genes cruzando individuos escogidos, buscando reunir en las descendencias características agrónomicamente importantes tales como: mayor número y peso de semillas, resistencia a enfermedades, tolerancia a las condiciones ambientales adversas, entre otras, pero el cruzamiento entre plantas escogidas es posible solo cuando las plantas son sexualmente compatibles.

El desarrollo de las técnicas modernas de ingeniería genética, ha permitido a los investigadores aislar genes individuales de una especie e insertarlos en otra, sin la necesidad de la compatibilidad sexual.

¿CUÁLES LIMITANTES SON ENFRENTADAS CON EL MEJORAMIENTO GENÉTICO CONVENCIONAL?

El mejoramiento genético convencional tuvo mucho éxito y aumentó significativamente la producción y productividad de las plantas. Hoy día, no existe en el mercado un solo producto agrícola que no sea resultado del cruzamiento entre plantas, variedades, especies y hasta géneros vegetales diferentes.

Actualmente, la disponibilidad de características que inciden sobre la productividad está limitada por la poca variabilidad encontrada en las diferentes especies cultivadas y silvestres, debido fundamentalmente al

proceso propio del mejoramiento genético y a la erosión genética. En algunas especies silvestres, ya no es posible encontrar características deseables que puedan ser incorporadas en las variedades cultivadas para la obtención de mayor productividad.

¿COMO AUMENTAR LA VARIABILIDAD?

Un camino que ha sido utilizado frecuentemente, es la búsqueda de características agrónomicamente importantes en especies silvestres afines a las especies cultivadas y la incorporación de esas características por medio de cruzamientos controlados (Figura 2). Este camino, por otra parte, no siempre es viable, ya que las barreras de aislamiento reproductivo pueden impedir el éxito de los cruzamientos.

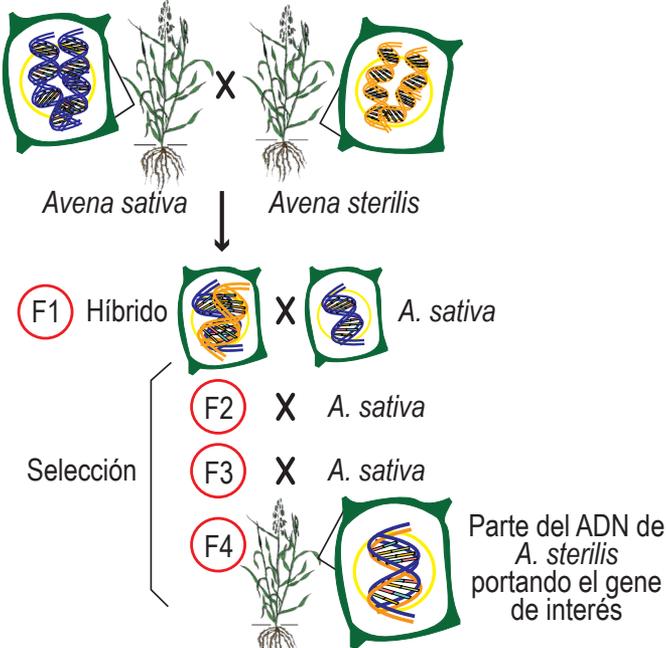


Figura 2. Cruzamiento interespecífico entre *A. sativa* y *A. sterilis*. En la primer generación (F1), la planta híbrida contiene la mitad de ADN de ambos parentales. En las siguientes generaciones es cruzado con *A. sativa*, realizándose selección de las plantas que posean el gene de resistencia de *A. sterilis* (resistencia a la roya de la hoja). Fuente: Rediseño de imagen original

En algunos casos, a través de cruzamientos controlados, apoyados por técnicas biotecnológicas tales como el cultivo *in vitro* de embriones híbridos, muchas de las barreras naturales pueden ser superadas por la generación de híbridos interespecíficos (entre plantas de diferentes especies).

Es importante señalar que, siempre que se utiliza el método de cruzamiento, sea intraespecífico (entre plantas de una misma especie) o interespecífico, y ya sea que el fitomejorador esté interesado en una o pocas características, se transfieren grandes bloques de genes de la planta donadora a la planta receptora, y éstos podrían mantenerse en la planta receptora aún después de varios períodos de selección. Por ejemplo, cuando nos alimentamos de tomate, estamos ingiriendo material que porta genes de resistencia a enfermedades que fueron introducidos en las variedades comerciales a partir de especies silvestres emparentadas, junto con millares de otros genes inevitablemente transferidos al mismo tiempo y que originalmente no se encontraban en la especie cultivada.

Otra alternativa bastante utilizada en el pasado, y que aún es empleada en el presente para aumentar la variabilidad genética, es la inducción de mutaciones por irradiaciones o por agentes mutagénicos químicos, con la esperanza de obtener variantes con características agrónomicamente ventajosas. Como la mutación inducida no puede ser dirigida a genes específicos, no se tiene control sobre los genes que se están alterando. Entre un gran número de individuos sometidos al agente mutagénico, se hace una selección de aquellos que presentan la característica deseable, aunque otros genes también pueden haber sido modificados por mutaciones sin efectos aparentes en la planta (Figura 3).

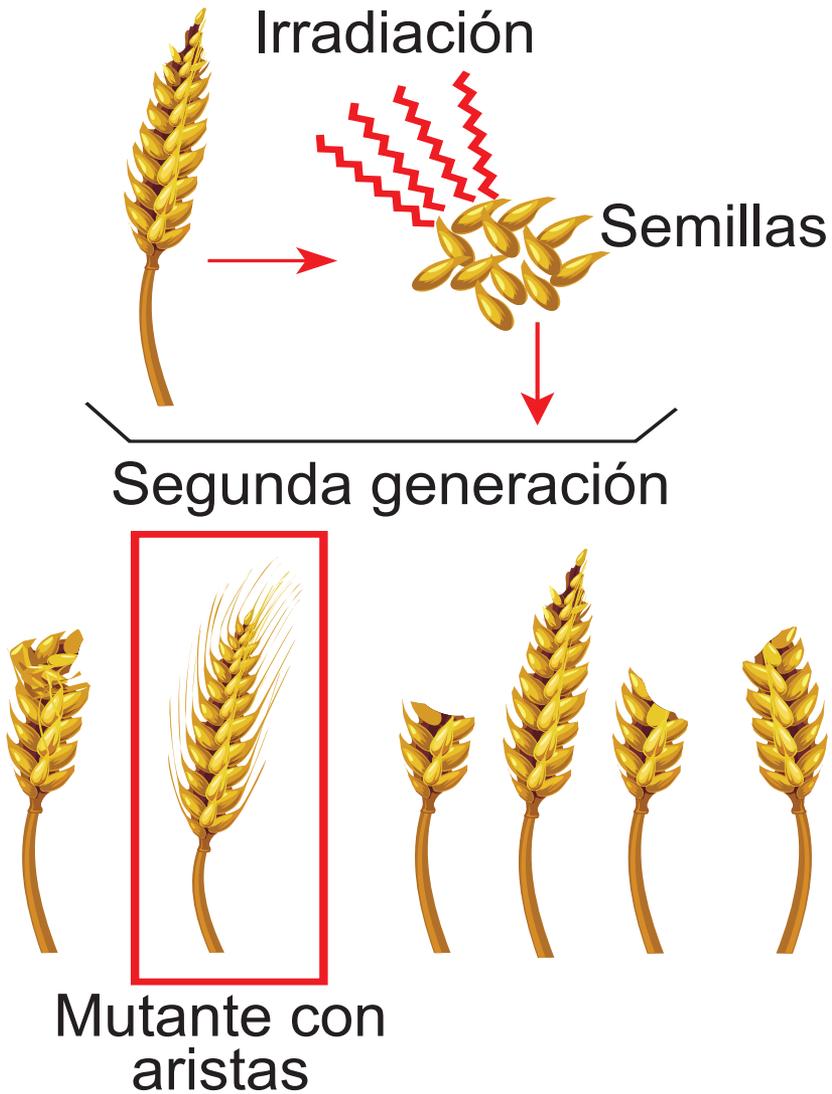
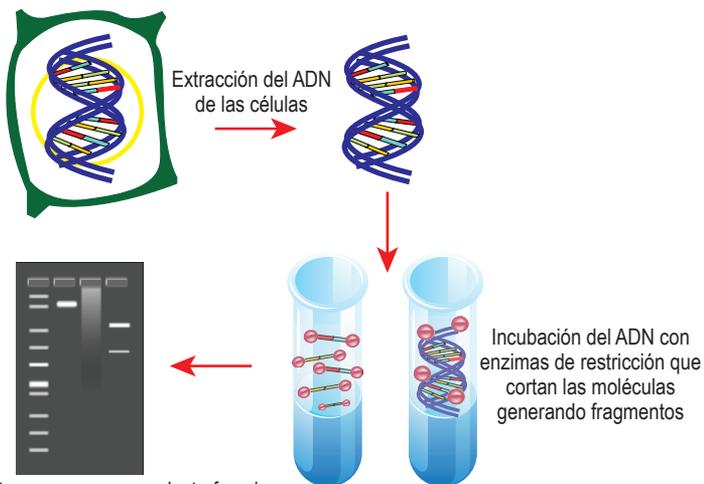


Figura 3. Ejemplo de inducción de mutaciones en trigo. Semillas de una variedad sin aristas fueron sometida a radiación gama. En la segunda generación se identificó un mutante con aristas, que le provee mayor superficie fotosintética, resultando en granos con mayor contenido de almidón. *Fuente: Rediseño de imagen original*

¿CUAL ES LA NOVEDAD DE LAS TECNICAS MODERNAS DE INGENIERIA GENETICA?

La revolución de la ciencia en las últimas décadas, derivó de un avance en el conocimiento de cómo las células y los organismos funcionan a escala molecular, bioquímico y fisiológico, juntamente con el desarrollo de técnicas que permiten la transferencia de genes específicos de un organismo a otro. Independientemente del organismo y su complejidad, los genes son segmentos de un mismo tipo de molécula: el ADN. Esta característica permite que los genes de un organismo sean potencialmente funcionales en otro. Las técnicas modernas abrieron la posibilidad de aislar (Figura 4) y clonar genes de bacterias, virus, plantas y animales e introducirlos y expresarlos en plantas, de esa forma, la barrera para la transferencia de genes entre especies fue traspasada. Esto significa que podemos obtener una planta genéticamente modificada (GM) por la transferencia de uno o unos pocos genes escogidos, identificados y con una función conocida.



Los fragmentos se separan por electroforesis según su tamaño y se identifica mediante sondas el que contiene el gene de inters y se aísla

Figura 4. Aislamiento de genes. Los fragmentos separados se pueden unir a vectores de ADN (plásmidos). *Fuente: Rediseño imagen original*

En este sentido, la producción de plantas genéticamente modificadas es un proceso mucho más controlado y conocido, permitiendo el desarrollo de nuevos cultivares mas rápidamente que cuando son utilizados métodos convencionales.

Buscando mejorar la cualidad de un producto, la transformación genética o ingeniería genética, ha permitido también la remoción o la inactivación de genes indeseables, modificando los genes de la propia planta que actúan en rutas metabólicas específicas, por ejemplo, el gene que codifica la enzima poligalacturonidasa, fue inhibido en tomates. Con menor cantidad de esa enzima que degrada las pectinas (un componente de la pared celular), los frutos permanecen firmes por períodos de tiempo más largos. Igualmente, genes que controlan la producción de sustancias tóxicas o que producen reacciones alérgicas en grandes grupos poblacionales pueden ser fácilmente inactivados.

¿COMO SON PRODUCIDAS LAS PLANTAS GENÉTICAMENTE MODIFICADAS?

La gran mayoría de las plantas GM producidas hasta ahora, han sido obtenidas por la utilización de los siguientes métodos: 1) sistema Agrobacterium, 2) transferencia directa de genes en protoplastos y 3) bombardeo con microproyectiles.

Sistema Agrobacterium:

En la naturaleza se encuentran bacterias que causan tumores. Esto ocurre porque la bacteria es capaz de insertar sus propios genes en el genoma de la planta (Figura 5).

Los genes transferidos a la planta por la bacteria, están contenidos en el ADN de un gran plásmido (molécula de ADN extracromosómico con capacidad de duplicación autónoma presente en el interior de las agrobacterias (Figura 6).

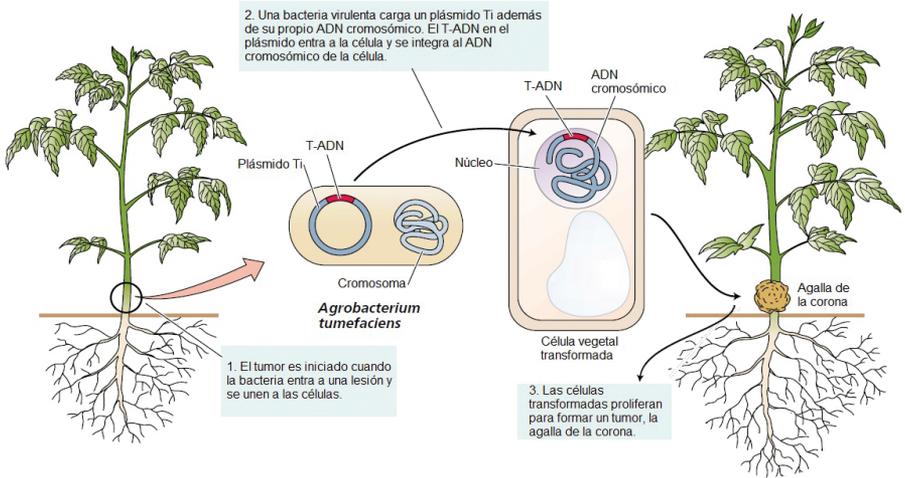


Figura 5. En el proceso que causa la enfermedad llamada agalla de la corona, la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* inserta la región denominada T-ADN de su plásmido Ti, en el cromosoma de la planta huésped. Fuente: Adaptado de <http://fisiolvegetal.blogspot.com/2012/11/agrobacterium-tumefaciens-como-vector.html>

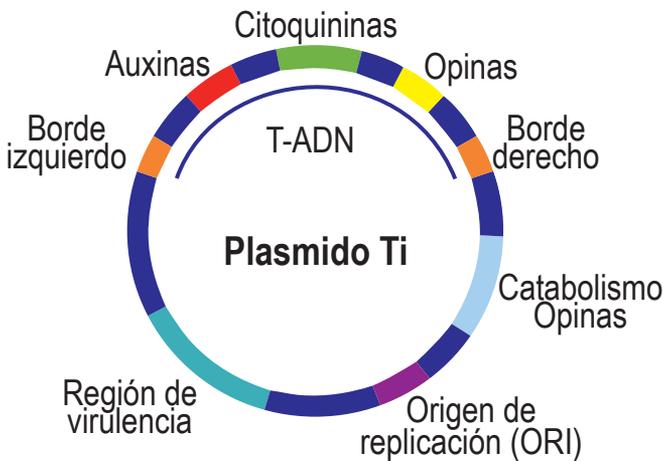


Figura 6. Mapa del plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens*. Fuente: Rediseño de <http://biotecnoblogos.febiotec.es/curso-de-manipulacion-genetica-v-agrobacterium-tumefaciens-la-naturaleza-invento-la-transgenesis/>

Apenas un segmento de ese plásmido, denominado T-DNA, es transferido de la bacteria a las células de la planta hospedera, integrándose en su genoma. La expresión de los genes de la bacteria en la planta, resulta de la síntesis de las hormonas vegetales auxinas y citoquininas que favorecen la formación de tumores y de aminoácidos modificados (opinas), sustancias necesarias para la sobrevivencia de la bacteria. Si los genes responsables de la formación de tumores fueran removidos, cualquier gene de interés agrícola puede ser colocado en su lugar y, a través del sistema de integración de la bacteria, ser transferido al genoma de la planta (Figura 7).

Transferencia directa de genes en protoplastos:

Los protoplastos son células vegetales a las cuales se les ha quitado la pared celular, quedando solamente la membrana celular.

Para la transferencia de genes, los protoplastos son incubados en soluciones que contienen los genes que serán incorporados. En ese momento, un choque eléctrico de alto voltaje es aplicado por un cortísimo tiempo. El choque causa una alteración de la membrana celular, promoviendo la apertura temporal de poros, lo que permite la penetración y eventual integración de los genes en el genoma de la célula vegetal.

Bombardeo con microproyectiles:

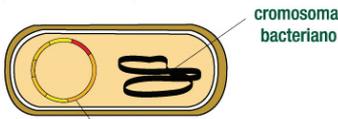
Este método consiste en adherir partículas de ADN sobre macropartículas de oro o tungsteno y, con el auxilio de un aparato a presión, acelerarlas a alta velocidad contra un tejido determinado llamado blanco (Figura 7).

Las partículas penetran la pared celular, y son depositadas dentro de las células, resultando en la transformación de las células individuales por la incorporación, en el genoma de la planta, de los genes introducidos por las macropartículas.

Método con Agrobacterium



* bacteria que habita comúnmente en el suelo y que introduce ADN en las plantas naturalmente.



Núcleo
Cromosoma vegetal

Célula vegetal ampliada



*aquellas que recibieron el gen de interés



Método con Cañón de Partículas



Cañón de Partículas



Figura 7. Métodos de transformación de plantas. Método Agrobacterium y método con bombardeo de micropartículas. Fuente: <http://www.monsanto.com/global/py/productos/pages/biblioteca-electronica.aspx>

Para regenerar plantas, o sea obtener plantas adultas, independientemente del método utilizado para la introducción del gene, las células transformadas son cultivadas *in vitro*, en un medio conteniendo nutrientes y hormonas vegetales.

A partir de la transferencia a un medio de regeneración, existen dos caminos posibles para que las células puedan dar origen a las nuevas plantas: la embriogénesis somática y la organogénesis. En la embriogénesis somática, a partir de una célula que se multiplica, se crea una estructura semejante al embrión que se encuentran en las semillas normales. En la organogénesis, varias células diferentes dan origen a los órganos de la planta, o sea a las hojas, el tallo y las raíces sin pasar por el estado de embrión.

Las primeras plantas GM fueron desarrolladas en 1984, cuando un gene que codifica para la resistencia al antibiótico Kanamicina fue introducido a plantas de tabaco. La capacidad de introducir genes exógenos en plantas, se ha extendido a más de 120 especies de 35 familias diferentes (Birch, 1997). Este hecho incluye los principales cultivos de importancia económica, plantas ornamentales, medicinales, frutales, forestales y forrajeras. La mayoría de los genes transferidos hasta el momento fueron tomados de bacterias y virus, lo que es explicado por la facilidad de aislarlos de éstos organismos, pues tienen genomas pequeños.

¿COMO SON EVALUADAS Y REGLAMENTADAS LAS PLANTAS GENÉTICAMENTE MODIFICADAS?

Las plantas GM son producidas en laboratorio bajo condiciones de cultivo de tejidos. Su estado genéticamente modificado es revelado por la expresión del transgene insertado. La integración estable del gene exógeno en el genoma de la planta, así como el número de copias insertadas son confirmadas por análisis de hibridación del ADN. Después de cuidadosos análisis iniciados en laboratorio, las plantas GM son evaluadas en invernaderos controlados, teniendo como testigo el genotipo original no GM. La prueba final para una planta GM y su comportamiento se lleva a cabo en el campo, lo que permite verificar la estabilidad de la característica introducida, así como para evaluar otras características agronómicas pertinentes. A semejanza de los cruzamientos, al realizarse una transformación genética, se obtiene un gran número de individuos. El análisis individual de cada planta es necesario para identificar a aquel que presenta los mejores patrones deseables.

La falta de familiaridad con los organismos genéticamente modificados y la preocupación de la seguridad para el ambiente y la salud humana y animal, preocupación de los propios investigadores y desarrolladores, frente a la nueva tecnología, llevó a los gobiernos industrializados y en desarrollo a reglamentar los cultivos GM. Esta reglamentación se aplica mediante autorizaciones concedidas por la Autoridad competente, para diferentes estados de desarrollo del cultivo genéticamente modificado, siguiendo la premisa de caso a caso y paso a paso, es decir, cada caso se analiza individualmente y la aprobación de un paso (su desarrollo en laboratorio, por ejemplo) no significa su aprobación en el paso siguiente (evaluación en invernadero), esto para comprobar entre pasos si todo se realizó acorde a las medidas de bioseguridad solicitadas para disminuir cualquier riesgo que se halla identificado.

En Costa Rica, la Ley de Protección Fitosanitaria No. 7664 de 1997 y su reglamento, establecen las funciones de la Comisión Técnica Nacional

de Bioseguridad (CTNBio), como instancia interministerial autorizada para regular la importación, movilización, experimentación, liberación al ambiente, multiplicación, comercialización y uso de plantas GM y otros organismos modificados por técnicas de ingeniería genética.

La CTNBio esta compuesta por representantes del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Servicio Fitosanitario del Estado y Servicio Nacional de Salud Animal), del Ministerio de Ambiente y Energía, de la Oficina Nacional de Semillas, del Ministerio de Ciencia y Tecnología y del Ministerio de Salud. Por parte de la sociedad civil participan en la CTNBio, en igualdad de condiciones, es decir con derecho a vos y voto, la Academia Nacional de Ciencias, la Red de Coordinación en Biodiversidad y la Federación para la Conservación para la Naturaleza.

Asimismo, nuestro país como abanderado en el tema de la protección de los recursos naturales y suscriptor del Convenio de Diversidad Biológica, ha ratificado el Protocolo de Cartagena de Seguridad de la Biotecnología Moderna (Ley Nacional No. 8537), cuyo objetivo es proteger el medio ambiente, la salud humana y animal, del uso inadecuado y el movimiento transfronterizo ilícito de OVMs producidos dentro y fuera de Costa Rica.

LEGISLACIÓN EN COSTA RICA

- **Ley de Protección Fitosanitaria, N° 7664**
- **Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria, N° 26921-MAG**
- **Reglamento de Auditoria en Bioseguridad Agrícola, N° 32486-MAG**
- **Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, N° 8537**
- **Ley de Biodiversidad, N°7788**
- **Ley de desarrollo, promoción y fomento de la actividad agropecuaria orgánica, N°8591**
- **Reglamento para el desarrollo, promoción y fomento de la actividad agropecuaria orgánica, N°35242**
- **Reglamento de Agricultura Orgánica, N°29782**
- **Estructura Orgánica del Servicio Fitosanitario del Estado, N°36801**

¿CUAL ES EL PANORAMA MUNDIAL SOBRE PRUEBAS DE CAMPO Y LA PRODUCCION COMERCIAL?

Una revisión del estado global de los cultivos genéticamente modificados ha sido realizado y publicado por Clive James (2012), indicando que los cultivos GM no han dejado de crecer desde 1996, y en su año número 16 (2012) de comercialización alcanzaron la suma récord de 170.3 millones de ha.

Se destaca que de los 28 países que son mayores productores, 19 son países en desarrollo, incluyendo a China y la India en Asia, Brasil y Argentina en América Latina y Sudáfrica en el continente africano. Otros países de América Latina que participan en la producción son Paraguay, Uruguay, Bolivia y México, y con menos extensión de siembra Colombia, Chile, Honduras y Costa Rica.

Un hito en el cultivo de plantas modificadas genéticamente, fue el hecho de que del total de 17.3 millones de productores que sembraron cultivos biotecnológicos en el 2011, más del 90% eran productores pobres radicados en países en desarrollo.

En la Unión Europea, seis países sembraron un total de 129,071 ha de maíz Bt (España, Portugal, Chequia, Polonia, Eslovaquia y Rumania) con un incremento del 13% respecto al 2011. En el 2010, dos países (Suecia y Alemania), sembraron una cifra de 17 ha de la nueva papa "Amflora" para producir semilla, la cual no se volvió a sembrar porque se discontinuó su uso. Se espera que en el 2014 esté lista la aprobación para la siembra de una nueva variedad biotecnológica denominada "Fortuna" resistente al tizón tardío (la más importante enfermedad de la papa).

La soya sigue siendo el principal cultivo biotecnológico en el mundo seguida del maíz, algodón y canola, siendo la tolerancia a herbicidas el evento dominante en cultivos de soya, maíz, canola, algodón, remolacha

azucarera y alfalfa, seguida de la resistencia a insectos. Las variedades que poseen ambas características y varios genes (apilados) para las mismas, van ganando terreno año a año, creciendo un 26 % con respecto al 2011.

Finalmente, dos nuevos países empezaron a plantar cultivos biotecnológicos en el 2012: Sudán (algodón, 3000 ha) y Cuba (maíz Bt 3000 ha).

REFERENCIAS

- BOONGAARTS, J. 1998: Global population Growth: Demographic consequences of declining fertility. *Science* 282:419-420.
- BIRCH, R.G. 1997. Plant transformation: problems and strategies for practical application. *Annual Rev. Plant physiol. Plant Mol. Bio.* 48:297-326.
- FAO. Como alimentar al mundo en 2050 www.fao.org/fileadmin/.../Cómo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf. Disponible 24 abril del 2013.
- GRIFFITHS, A.J.F.; SUUKI, D.T.; LEWONTIN, R.C.; GELBART, W.M. 1996. An introduction to genetic analysis. Sixth ed. W.H. Freeman and Company. New York. 915p.
- JAMES, CLIVE . 2012. ISAAA. Brief 44. Situación de la Comercialización de los cultivos biotecnológicos/MG en 2012.
- ZANITTINI, MARIAH.B. EPASQUALI, JEANCARLO. (1999) Transgênese: uma nova ferramenta para o melhoramento genético vegetal. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 20p.

**Impreso por:
Master Litho S.A.**

