

LAS VARIETADES
TRANSGÉNICAS COMO APOYO
AL FITOMEJORAMIENTO DEL
CULTIVO DEL ALGODÓN.

LAS VARIEDADES TRANSGÉNICAS COMO APOYO AL FITOMEJORAMIENTO DEL CULTIVO DEL ALGODÓN.

Víctor M. Núñez¹



*Planta típica de la variedad del
Delrut fibra largo*

La agricultura involucra la transformación de especies silvestres vegetales y animales en variedades y razas capaces de proveer alimentos, fibra y materias primas para usos industriales.

Durante los 5.000 a 10.000 años de historia agrícola, gran parte del incremento de la producción se originó mediante la incorporación de más extensiones de tierra para cultivar. Esta acción provoca disturbio en la flora y fauna silvestre y puede contribuir a la pérdida de especies y cambios radicales del paisaje.

Los cultivos que utilizamos en nuestra agricultura actual se han derivado de plan-

tas silvestres mediante un proceso muy largo de domesticación y selección. En ese proceso de domesticación, el hombre partió de genotipos silvestres con una base genética amplia constituyendo las variedades o cultivares de los agricultores que luego dieron origen a variedades comerciales. Estas a su vez, se convirtieron en variedades obsoletas y se utilizaron como parentales o fuentes de genes importantes para generar líneas avanzadas elite que finalmente dan origen a variedades modernas. En este proceso la base genética de los cultivos se hace cada vez más estrecha y conlleva una variabilidad genética limitada. El me

¹ I.A. Ph.D. Coordinador Programa Nacional Biotecnología. Corpoica. C.I. Tibaitatá, Bogotá.

mejoramiento por selección es el mejoramiento o alteración de los cultivos seleccionando solo aquellos individuos que tienen ciertas características deseables. El mejoramiento ha sido intensificado dramáticamente durante el Siglo XX y se ha convertido en una profesión altamente especializada.

El mejoramiento clásico depende esencialmente del cruzamiento entre genotipos contrastantes para generar progenies con combinaciones nuevas de genes que confieren características superiores. En otras palabras, plantas sexualmente compatibles con características diferentes, al ser cruzadas generan progenies que combinan esas características para dar como resultado nuevas plantas con fenotipos posiblemente interesantes. El hecho de que las características deseables se combinen en realidad, es un asunto del azar. Por lo tanto, se tienen que realizar muchos cruces individuales para generar una nueva variedad. Muchas características deseables tales como producción, son controladas por genes múltiples y producen patrones de segregación complejos y en otros casos, la característica es controlada por un solo gen, o por pocos, los cuales pueden introducirse partiendo de líneas mutantes, genotipos silvestres o exóticos. Ejemplo de estas características incluyen genes que controlan la altura y resistencia a patógenos. Sin embargo, en todos los casos, la variación solo se puede introducir de genotipos que se puedan cruzar con el cultivo de interés.

Las posibilidades de progreso o avances en cualquier programa de mejoramiento dependen del rango y calidad de la variabilidad genética disponible y de la eficiencia de la selección. En cuanto a la selección, la meta de los mejoradores es capitalizar los efectos genéticos deseables que se pueden distinguir, de los efectos ambientales. Va-

rias estrategias de selección se han desarrollado para distinguir el componente heredable deseable y remover el sesgo ambiental presente en las interacciones genotipo por ambiente. Sin embargo los esfuerzos hasta ahora han sido medianamente exitosos en el incremento de la producción, puesto que la acumulación de genes que contribuyan a la producción, se hace difícil porque los genes no siempre presentan manifestaciones fenotípicas fáciles de evaluar o porque interactúan con el medio ambiente. El uso de la biotecnología y los avances en biología molecular apoyan los procesos de selección y ayudan al fitomejorador a acelerar y a hacer más eficiente el proceso de generación de nuevas variedades.

Durante el Siglo XX una serie de tecnologías para generar nuevas variedades han aparecido como herramientas del proceso del fitomejoramiento genético. Algunas de estas tecnologías incluyen:

- a) Hibridación para generar vigor híbrido.
- b) Alteración de la ploidía por generar plantas haploides, tetraploides, como líneas puras.
- c) Inducción de mutaciones mediante irradiaciones o mediante el uso de químicos mutagénicos.
- d) Variación somaclonal.
- e) Rescate de embriones.
- f) Cultivo de anteras.
- g) Selección asistida por marcadores.

Una nueva tecnología, aparte de las convencionales, es la ingeniería genética de plantas, dentro de la cual, la transformación genética de plantas constituye el centro y soporte. La ingeniería genética, actualmente ofrece la oportunidad de eliminar las barreras sexuales presente y permite transferir genes derivados de cualquier especie vegetal, animal o de microorganismos.

La transformación genética permite la introducción de solo uno o pocos genes

de interés que luego pueden identificarse directamente a nivel de genotipo y fenotipo. En ese caso, la nueva tecnología ofrece ventajas sobre los cruzamientos convencionales, en los cuales un gran número de genes deseables e indeseables son introducidos y la gran mayoría son eliminados en subsecuentes retrocruzamientos y selección. Sin embargo, también puede ser una desventaja si la característica de interés es gobernada por varios genes regulados en forma coordinada.

En esta presentación se resume, en términos generales, los principios básicos de la transformación genética, su relación con el mejoramiento genético y la importancia del algodón transgénico en la búsqueda de nuevas variedades mejoradas.

Qué es una planta transgénica

Una planta transgénica se puede definir como aquella planta a la que se le ha introducido a su genoma, un gen o varios genes de otra planta u otro organismo mediante técnicas de ADN recombinante y expresa un producto génico como parte inherente de su composición genética. La metodología elimina las barreras de incompatibilidad sexual existente entre especies, como también limitantes de recombinación genética y segregación intra-específica.

Como se hace una planta transgénica.

Hay varios métodos para introducir genes a plantas mediante ingeniería genética, entre los cuales, los más comunes son:

- La infección de células y tejidos con *Agrobacterium tumefaciens* que contienen plásmidos que al ser modificados son usados como vectores que transportan los genes de interés.
- El bombardeo a células y tejidos con micropartículas que llevan el gen de in-

terés adherido y lo introducen directamente en las células.

Contrario a los animales, en las plantas no hay una distinción real entre las células somáticas y las células germinales. Esto implica que cualquier tejido de una planta puede ser transformado en el laboratorio con genes deseables para producir plantas completas mediante métodos de cultivo de tejidos. En general, si todo el proceso sale bien, el transgen se incorpora en el polen y en el óvulo para ser transferido sexualmente a la siguiente generación. El método de transformación por *Agrobacterium tumefaciens* se inició prácticamente con la generación de la primera planta transgénica a comienzos de 1980, cuando se descubrió la habilidad de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* de transferir material genético a plantas.

A. tumefaciens es una bacteria del suelo que contiene además de su cromosoma, un minicromosoma circular extra denominado plásmido inductor de tumores (Ti). Este ADN plasmídico contiene genes que son responsables de la enfermedad de la agalla de la corona en plantas. Es posible remover los genes que causan los tumores y reemplazarlos por genes seleccionados de interés, lo cual convierte al plásmido Ti original en un plásmido desarmado o vector para transferir nuevos genes a plantas. Este método es ampliamente utilizado y los procedimientos están estandarizados para muchos cultivos. La infección in vivo requiere de una herida en el tejido de la planta. *A. tumefaciens* se adhiere a la pared celular activada por compuestos producidos por la célula herida. Parte del plásmido Ti, llamada T-DNA (ADN de transferencia) es transferido a los cromosomas de la planta hospedero en los cuales se integra. En síntesis, en el cromosoma bacteriano existen varios loci y un conjunto de genes de virulencia (genes vir) localizados en el plásmido Ti que codifican para el reconocimiento de

la célula de la planta, adherencia, escisión, transferencia e integración del T-DNA en genoma de la planta.

A pesar de que éste método ha funcionado bien para la transferencia de genes, una limitante es que es más efectivo para algunas plantas que para otras. Sin embargo últimamente se han descubierto cepas de *A. tumefaciens* más agresivas que han permitido transformar varias especies de cereales como arroz, maíz, trigo, avena, considerados en el pasado como recalcitrantes. Como conclusión hasta aquí, digamos que un proceso de transformación genética por *A. tumefaciens* depende de la habilidad de la bacteria de infectar las células e incorporar el T-DNA en el genoma de la planta.

El otro método ampliamente usado es la pistola genética o biobalística que consiste en disparar directamente a las células o tejidos micropartículas de tungsteno u oro cubiertos de ADN que contiene el gen de interés. Las células reparan rápidamente las heridas y en varias células el ADN se integra a los cromosomas de la planta.

En general, hay tres requerimientos básicos para hacer transformación genética de plantas: a) un sistema para introducir el ADN o gen de interés en las células de la planta de interés, b) un tejido recipiente del cual la planta transformada puede ser regenerada, c) genes marcadores que permitan la identificación y selección de las células y tejidos transformados.

El uso de las plantas transgénicas en la agricultura.

El área global estimada de cultivos transgénicos en el 2001 fue de 52.6 millones de hectáreas, sembradas por cerca de 5.5 millones de agricultores. El in-

cremento en área entre 2000 y 2001 fue de del 19%, lo cual es equivalente a unas 8.4 millones de hectáreas. En seis años, 1996 a 2001, el área global de cultivos transgénicos se incrementó más de 30 veces, es decir de 1.7 millones de hectáreas en 1996 se pasó a 52.6 millones hectáreas en el 2001. Más de un cuarto del área global de cultivos transgénicos, equivalente a un 13.5 millones de hectáreas fueron sembradas en países en desarrollo. Estos incluyen a Argentina, China, India y otros. Mundialmente, el principal cultivo transgénico es la soya que ocupa el 33.3 millones de hectáreas, seguido por el maíz con 9.8 millones de hectáreas y en tercer lugar el algodón con 6.8 millones de hectáreas.

Qué plantas y qué características se están manipulando.

Actualmente los investigadores en muchos países están trabajando con muchos genes que son directamente responsables o están asociados a diferentes características. Las más sobresalientes y conocidas incluyen tolerancia a herbicidas, mejoramiento de la calidad, resistencia a virus, resistencia a insectos, genes marcadores, resistencia a hongos, resistencia a bacterias, tolerancia a salinidad y toxicidad de suelos entre otros. En el momento, en el mundo, se está trabajando en transformación genética con una gran variedad de plantas. Existen en el momento, más de treinta cultivos de primera línea que han sido genéticamente transformados para diferentes propósitos y que se encuentran en fase experimental o comercialmente ya liberados.

Estos incluyen soya, maíz, algodón, papa, papaya, piña, banano, tomate, canola, ornamentales, arveja, caña, melón, sandía, calabacín, trigo, avena, cebada, berenjena y otros.

Variedades transgénicas de algodón.

El algodón es un cultivo de alcance mundial con una producción de materia prima valorada en 5.5 millones de dólares. El área global es calculada en 32.4 millones de hectáreas. Entre los países productores, la India es el mayor productor con 9.7 millones de hectáreas equivalente al 32% del área total mundial, seguida por Estados Unidos con 24% y China con 20%. Aunque existen excelentes variedades producidas por métodos convencionales, hasta ahora parecen insuficientes para explotar el potencial que ofrece el germoplasma disponible debido a varios limitantes. El algodón además, es uno de los cultivos con mayor aplicación de insecticidas en el mundo, lo cual incide directamente en los costos de producción y contaminación ambiental. Colombia no es un caso aislado, pues el cultivo está cada vez más disminuido por varias razones entre las cuales se involucra el ataque de insectos, el uso del germoplasma con una base genética estrecha y alto costo de producción.

La biotecnología agrícola a través de la ingeniería genética de plantas está facilitando la producción de cultivos con características deseables que se reflejan en una mayor resistencia a plagas, a enfermedades, a estreses abióticos y mejoramiento en calidad y cantidad de características agronómicas cualitativas y cuantitativas. La generación de variedades comerciales transgénicas ofrece la posibilidad de obtener valor agregado en programas de mejoramiento de una forma más directa. Los métodos de cruzamiento en mejoramiento convencional permiten que de una variedad transgénica se puedan transferir genes a otras variedades comerciales o que dos variedades transgénicas puedan generar una va-

riedad que combine todas las características deseables en una sola.

En el cultivo del algodón se necesita que el mejoramiento en la producción y otras características expanda las posibilidades del mercado interno. En los últimos 10 años, la investigación en algodón ha sido extensa y como parte de los resultados, varios genes con gran potencial para conferir atributos agronómicos, han sido introducidos a varios genotipos mediante la transformación con *agrobacterium*, con biobalística o con la combinación de ambos métodos.

En general el algodón ha sido difícil de manipular para transformación genética con alta eficiencia, puesto que la respuesta a los métodos de cultivos de tejidos es altamente dependiente del genotipo. Hasta hace unos pocos años atrás, solamente las variedades Coker eran las que mejor respondían a la transformación genética, de tal manera que la mayoría de genes deseables eran introducidos inicialmente en una variedad Coker y luego por cruza y retrocruza se introgressaban a otras variedades. Esto implica que se requieren varios años de retrocruza y selección para identificar líneas adecuadas para la comercialización.

Sin embargo, varios laboratorios en diferentes países ya están generando plantas transgénicas de genotipos diferentes a las Coker. En vista de la gran importancia económica y social del cultivo del algodón en Colombia y para cumplir con la demanda interna, es imperativo mejorar las variedades comerciales colombianas. Por lo tanto es necesario desarrollar una estrategia que combine el mejoramiento genético y la tecnología de transformación genética. Por tanto, identificar la respuesta de nuestros genotipos a los procesos de transformación genética

es una prioridad, así como, en caso de lograrlo, de llegar a ejercer independencia en cuanto a los derechos de propiedad intelectual de los fitomejoradores.

Los cultivos transgénicos para generar resistencia a plagas, enfermedades, tolerancia a herbicidas y mejor contenido nutricional, constituyen el pilar más promisorio para generar una agricultura moderna más sostenible. En el algodón, una base genética cada vez más estrecha manipulada por métodos convencionales de mejoramiento genético está contribuyendo a la obtención de avances cada vez menores en cuanto a producción suficiente y de fibra de buena calidad. Además problemas de insectos, malezas, etc. contribuyen a la baja producción y al alto costo de la misma.

Nuevas tecnologías aplicadas al mejoramiento del algodón, para generar plantas con resistencia a plagas, a enfermedades, con mejor calidad de fibra y mejor adaptación a suelos, están disponibles. Aunque el algodón es por lo general recalcitrante al cultivo *in vitro*, la transformación genética se logró en 1990 y el primer cultivo transgénico de algodón se liberó a nivel de campo en 1996. Estos logros demostraron la eficacia de la transformación genética para generar variedades resistentes a insectos y tolerancia a herbicidas.

Actualmente el algodón transgénico es uno de los cultivos más populares en varios países y las perspectivas para mejorar la calidad y variación en color de la fibra, son inmensas. De todos los cultivos no alimenticios con variedades transgénicas, el algodón es el más importante. Aparte de variedades existentes con resistencia a insectos y herbicidas muy populares en EU, China y otros países, existen varios desarrollos experimentales que están avanzando

rápidamente. Esto incluye manipulación de genes asociados con compuestos pigmentados, por ejemplo coloración negra y la síntesis de plásticos vegetales. La producción de fibra de algodón con colores, evitará la tinción artificial, lo cual ayudará a disminuir costos de producción en la industria y aumentara las posibilidades de protección ambiental.

Como se mencionó antes, la primera variedad transgénica de algodón se logró en 1996. En 1999 variedades de algodón transgénico fueron sembradas en seis países ocupando un total de 3.7 millones de hectáreas, constituyéndose en el tercer cultivo transgénico en el mundo.

Con variedades transgénicas los insectos mueren antes de causar daño a la cosecha. Para producir algodón *Bt*, el gen *Bt* es manipulado e introducido en las plantas de algodón. Las plantas con mejor resistencia son identificadas y se constituyen en algunos casos en líneas elite con valor agregado. En otros casos, las plantas transgénicas se usan como padres donadores de transgen que mediante programas de cruza y retrocruza se transfieren a variedades comerciales o a líneas elite. En el campo, el algodón transgénico confiere una protección excelente contra lepidópteros, plagas equivalentes o mejor que los insecticidas químicos, lo cual se refleja en una producción equivalente a la que se obtiene con el tratamiento del mejor insecticida. La tecnología Bollgard o algodón *Bt* fue desarrollada por Monsanto en los años 80. Dos variedades de algodón *Bt*, NuCOTN 33 y NuCOTN 35 fueron generadas, las cuales se liberaron en E.U. en 1996 mediante una alianza entre Monsanto y Delta and Pine Land Co.

Estas mismas variedades han sido comercializadas en Argentina, Australia, China, South Africa y México. Agri

cultores de México han logrado un área de 50 mil hectáreas sin aplicación, con un incremento del 12.5% en la producción, lo cual incrementó las ganancias y protegió el ambiente.

En Colombia la promoción oficial, junto con la participación de los gremios del sector algodonero, en cuanto a la generación de variedades comerciales con características transgénicas, específicamente la resistencia a insectos, es una imperiosa necesidad. El cultivo del algodón es el cultivo adecuado para tomar como modelo para estructurar la generación, introducción y utilización de plantas transgénicas útiles para la agricultura colombiana.

Para que Colombia pueda sacar ventajas del potencial práctico que ofrece la biotecnología y especialmente la transformación genética de plantas, es necesario desarrollar un modelo propio que enmarque la formación de programas sólidos de mejoramiento genético, formación de grupos interdisciplinarios para la evaluación de cultivos transgénicos, la participación de las universidades, el descubrimiento de genes propios etc. En conclusión, estamos a las puertas de una nueva tecnología que nos ofrece la posibilidad de mejorar los procesos de fitomejoramiento para generar variedades comerciales de algodón propias con altos valores agregados.