



ALGODÓN GENÉTICAMENTE MODIFICADO



Contenido

- 1.** El algodón
3
- 2.** Algodón Genéticamente Modificado
8
- 3.** Algodón resistente a Insectos
10
- 4.** Algodón tolerante a herbicidas
14
- 5.** Algodón resistente a insectos y tolerante a herbicidas
17
- 6.** Legislación
19
- 7.** Aspectos de seguridad
22
- 8.** El futuro
38
- 9.** Glosario
40
- 10.** Referencias
44

Algodón Genéticamente Modificado

PUBLICACIÓN DE AGRO-BIO

DIRECTORA EJECUTIVA

Osiris Ocando

-

AUTOR

Carlos Arturo Silva Castro

Ingeniero Agrónomo

MSc. en Producción de Cultivos

Universidad Nacional de Colombia

Ph.D. en Fitotecnia

Universidad Federal de Viçosa, Brasil

-

Derechos Reservados

© Copyright AGRO-BIO

-

DISEÑO Y PRODUCCIÓN

Servicios Creativos

-

ISBN 958-33-8396-1

-

Primera edición Octubre 2005

Bogotá, D.C., Colombia

AGRO-BIO

Calle 90 No. 11A - 34, Oficina: 409

Teléfono: 610 1029 • Fax: 610 1247

Bogotá D.C., Colombia

E-mail: agrobio@agrobio.org

Web: www.agrobio.org





1

El algodón

Antecedentes

Las primeras referencias literarias acerca del algodón datan del año 1.500 antes de Cristo, en la India. Este país fue por más de 3.000 años el centro principal de la producción y transformación de la fibra algodonera y algunas telas hindúes hechas en telares primitivos no fueron igualadas sino hasta el siglo XIX. A través del tiempo el cultivo fue expandiéndose a otros países de Asia, África y Europa. En Colombia, y otros países de América, el algodón se explotaba como fibra para vestidos desde antes de la conquista española.

Clasificación

El algodón pertenece al género *Gossypium*, familia *Malvaceae*, el cual comprende un amplio número de especies. Citológicamente las especies de este género se pueden dividir en: diploides ($n=13$) y tetraploides ($n=26$), cuya distribución geográfica se encuentra por todo el mundo. De las especies diploides únicamente *G. herbaceum* y *G. arboreum* han sido cultivadas comercialmente, y aún son importantes en áreas restringidas de la India, Asia y África. Entre las tetraploides, del Nuevo Mundo, solamente *G. hirsutum* y *G. barbadense* se les cultiva ampliamente y son las responsables del 98% de la producción mundial de fibra de algodón.

La especie de algodón que se cultiva comercialmente en el país es *Gossypium hirsutum* L. y es originaria de México y Centro América, en donde se pueden encontrar plantas nativas creciendo como arbustos de carácter perenne y crecimiento indeterminado. A través del mejoramiento genético el hábito de crecimiento de esta planta ha sido modificado para adaptarla a la producción comercial, pasando de las plantas nativas, perennes e indeterminadas a plantas anuales y de crecimiento más o menos determinado que producen algodón semilla más temprano que las plantas nativas (Cadena, 2000).



Mejoramiento

En los últimos 60 años, el mejoramiento genético convencional de la especie, es decir, la introducción de características útiles en la planta (productividad, precocidad, resistencia a insectos y enfermedades, arquitectura de la planta y calidad de fibra, etc.) ha permitido obtener nuevas y mejores variedades. No obstante que en el mundo el promedio de rendimiento se incrementó a una tasa de 8 Kg/ha/año entre 1959 y 1990, la productividad del algodón registró un estancamiento a partir de 1992 con un promedio de 592 kg/ha de fibra, siendo que en Colombia el rendimiento fluctuó entre 500 y 710 kg/ha en los últimos 20 años (Mendoza, 2000). Las técnicas de mejoramiento convencional requieren gran cantidad de tiempo para seleccionar y establecer una característica particular y deseable en una variedad y en algunos casos es imposible incorporar estas características por métodos tradicionales.

Desde hace 15 años, la ingeniería genética, también llamada tecnología del ADN recombinante, se está aplicando para obtener plantas de algodón genéticamente modificadas (GM), resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas existiendo un gran potencial para introducir otras características deseables en la planta. Esta nueva tecnología es considerada como un instrumento alternativo para modificar y mejorar los cultivos, particularmente en el caso del algodón donde las pérdidas por insectos y malezas son altamente significativas. El alto costo del control químico de los insectos y las malezas, justifica el desarrollo de plantas genéticamente modificadas, no solo para reducir el costo de producción, sino también el deterioro del medio ambiente.

Importancia

El algodón es la principal planta cultivada para producción de fibra en el mundo, de gran importancia como materia prima para la fabricación de tejidos y prendas de vestir. Como subproducto, una vez removida la fibra, queda la semilla que es procesada para la extracción de aceite comestible y torta de uso en la fabricación de alimentos concentrados para animales. Inclusive, las fibras cortas, que quedan luego de remover la totalidad de la fibra, son procesadas para obtener productos dietéticos de alto contenido de fibra y algunos usos alimenticios que incluyen forros para embutidos y para mejorar la viscosidad de ciertos productos como pasta dental y helados, entre otros.



La producción algodonera mundial en 2004 alcanzó el volumen récord de 25.2 millones de toneladas, para un aumento de 4.5 millones de toneladas (22%) sobre la temporada anterior. El valor estimado de dicha producción fue US\$31 billones. Los países que en mayor cantidad contribuyeron a esta producción fueron: China (25.0%), Estados Unidos, (19.9%), India (13.1%), Pakistán (9.8%), Brasil (5.1%) y Uzbekistan (4.2%). Las condiciones atmosféricas favorables en 2004 hicieron que los rendimientos mundiales alcanzaran el nivel más alto de todos los tiempos: 715 kg/ha, 11% por encima del registro del año anterior. Se espera que la baja en los precios del algodón en 2004, como consecuencia de la alta producción y el aumento de las existencias de la fibra, afecte las siembras en 2005, reduciéndose la superficie plantada a 33 millones de hectáreas y la producción a 22.9 millones de toneladas; aún así, sería la segunda mayor cosecha que a nivel mundial se haya registrado (CCIA, 2005).

Situación nacional del cultivo de algodón

En Colombia el cultivo del algodón representa una actividad agrícola importante en lo económico y en lo social. Haciendo un análisis de algunas cifras del historial algodonero desde 1948, año en que se inició la producción comercial de la fibra en el país, hubo un crecimiento sostenido del área y la producción hasta 1978, ocupando un sitio destacado en cuanto a productividad, por encima del promedio mundial, **Tabla 1**.

Sin embargo, durante los últimos 15 años la superficie de siembra cayó de 248.449 ha en 1988, a 65.973 ha en 2004. La drástica reducción de la superficie cultivada se debió a la conjunción de varios factores adversos entre los que se destacan los siguientes: el modelo de apertura económico adoptado por el país, el desmonte de los subsidios y el apoyo a la agricultura, la sensible reducción en la protección arancelaria, la fuerte reevaluación del peso colombiano frente al dólar, una alta inflación (por encima del 20% en la década de los 90's), las altas tasas de interés, la fluctuación de los precios internacionales, el incremento de la competencia externa y el aumento de los costos de producción con un estancamiento de los rendimientos físicos de campo (Rodríguez, 2000).

No obstante, a partir del 2003 empezó a evidenciarse una halagadora recuperación del cultivo. Es así como, los estimativos indican un crecimiento del área total de algodón



Tabla 1. Superficie, producción y productividad de algodón en Colombia. 1948-2004.

Año	Superficie sembrada (Has)	Producción algodón semilla (Ton)	Rendimiento algodón semilla (Kg/Ha)
1948	35.575	20.460	0.575
1958	76.646	72.646	0.948
1968	123.030	219.248	1.782
1978	327.842	329.722	1.006
1988	248.449	393.852	1.585
1993	119.738	187.270	1.569
1998	47.510	96.764	2.037
2003	44.225	93.078	2.100
2004	65.973	147.514 (Estimado)	2.240 (Estimado)

Fuente: Federación Nacional de Algodoneros (1990), Minagricultura (2001), Conalgodón (2004)


cosechada de 49%, pasando de 44.225 has en 2003 a 65.973 has en 2004. La producción total de fibra se estimó en 55.533 toneladas como oferta nacional en 2004, lo que representa, alrededor de 20.000 toneladas adicionales de fibra en relación con el año anterior, cifra aún distante del consumo nacional de fibra, estimado en 100.000 toneladas anuales, déficit de aproximadamente 50%, que el país cubre con importaciones.

Los índices positivos registrados en los últimos dos años se atribuyen en gran parte, a la política agropecuaria actual, que contempla, entre otros, un impulso al sector algodonero y la generación de nuevas oportunidades de empleo en el campo colombiano. Existe entonces, una alternativa favorable para la recuperación del sector algodonero consistente en la integración de los diferentes eslabones de la cadena productiva de modo que promuevan un crecimiento sostenible de empleo y valor agregado nacional, sin perder de vista que la reactivación del cultivo debe adelantarse de manera planificada y sobre todo con mercados abiertos y oportunidades comerciales identificadas (Conalgodón, 2004).



Principales problemas del cultivo

Un aspecto determinante ha sido el alto costo de producción ocasionado, en gran parte, por el control de plagas, que últimamente llegó a requerir en algunas regiones, hasta de 14 aplicaciones con altas dosis de insecticidas. Algunos limitantes tecnológicos, que afectan la productividad y rentabilidad del cultivo, han sido: la respuesta diferencial de las variedades a las condiciones ambientales de las zonas de cultivo, la degradación de los suelos causada por una mecanización excesiva, deficientes prácticas culturales, carencia de investigación propia y bajos niveles de adopción de tecnología.

Frente a la anterior situación el gobierno ha propiciado estrategias de integración de actores en torno a la cadena productiva algodón - textiles – confecciones, y planes de acción concertados entre el sector público y privado, para generar condiciones apropiadas para un desarrollo competitivo y sostenible de la actividad algodonera, con lo cual se busca aumentar la superficie sembrada y la producción, para generar nuevos empleos sobre la base de fomentar la investigación y transferencia de tecnología, la incorporación de algodones modificados genéticamente, e implementar el manejo integrado del cultivo. 

2

Algodón Genéticamente Modificado

Definición

En el algodón genéticamente modificado el material genético (ADN) ha sido alterado, a través de la biotecnología moderna denominada también “tecnología del ADN recombinante” o “ingeniería genética”, insertando genes seleccionados de otros organismos para obtener variedades que expresan nuevas características. La obtención de tales plantas envuelve diversas etapas: la identificación y aislamiento de un gen que confiere la característica deseada, la clonación (multiplicación del gen); la transformación o transferencia de ese gen al genoma de la célula, al que debe integrarse de manera estable y expresarse adecuadamente; la regeneración de la planta y la fijación de la característica obtenida (Lajolo y Nutti, 2003).

El algodón pertenece a la primera generación de cultivos modificados genéticamente que ha dado como resultado el desarrollo de cultivares con un potencial importante para aumentar la productividad del cultivo, reducir el impacto ambiental al disminuir el uso de insecticidas y herbicidas; y mejorar la calidad del producto a través de la introducción de resistencia a insectos y de tolerancia a herbicidas o de una combinación de estas dos características en una misma variedad (“stacked trait product”).

El método de transformación comúnmente utilizado en algodón, es a través de la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens*, el cual utiliza las propiedades biológicas de dicha bacteria para introducir el gen correspondiente al rasgo o característica deseada. Tal método, es bien conocido y ha sido empleado en la modificación genética de diversas plantas dicotiledóneas (Monsanto Agricultura España, 2002).

La posibilidad de manipular genes individuales y de transferir genes entre especies que no podrían cruzarse es lo que distingue a la modificación genética de las técnicas convencionales de mejoramiento.



Cultivo mundial de algodones genéticamente modificados

La superficie global estimada en 2004 para cultivos genéticamente modificados, GM, fue de 81.0 millones de hectáreas (Tabla 2). El área continuó creciendo por octavo año consecutivo, manteniendo un aumento de 20% en relación con 2003. Desde 1996, año en el que se iniciaron las siembras comerciales de cultivos GM, el área global creció 48 veces pasando de 1,7 millones de has en 1996 a 81.0 millones en 2004. Esta superficie fue cultivada en 17 países, por 8.25 millones de agricultores, 1.25 millones de agricultores más que en 2003, el 90% de los cuales están en países en desarrollo, en su mayoría son pequeños agricultores.

En el caso del algodón, este fue sembrado en la China, Sudáfrica, Estados Unidos, Australia, India, México, Argentina, y Colombia (James, 2004).

Tabla 2. Superficie global cultivada con cultivos genéticamente modificados en 2004.

Cultivo y rasgo de la modificación genética	Superficie (Millones has.)	(%)
Soya tolerante herbicida	48.4	(60)
Maíz resistente insectos (Bt)	11.2	(14)
Canola tolerante herbicida	4.3	(5)
Maíz Bt/tolerante herbicida	3.8	(4)
Maíz tolerante herbicida	4.3	(5)
Algodón resistente insectos(Bt)	4.5	(6)
Algodón Bt/tolerante herbicida	3.0	(4)
Algodón tolerante herbicida	1.5	(2)
Total	81.0	100%

Fuente: James, 2004

El algodón GM se sembró en un área de 9.0 millones de has (12% del área global en cultivos GM), comparado con 7.2 millones de has en 2003. En 2004 de los 32 millones de has sembradas a nivel mundial en algodón, 28% fueron genéticamente modificadas, representando un 25% más en relación con el año anterior. Para el 2005 se espera que el área sembrada con algodón GM crezca, teniendo en cuenta el notable incremento que viene registrando esta tecnología en China e India, así como en los países que recientemente han iniciado la siembra de algodón GM. ●

3

Algodón resistente a insectos (Bt)

¿Qué es el algodón resistente a insectos?

Es una tecnología desarrollada para proteger las plantas de algodón del daño de ciertos insectos, a través de la inserción de un gen o genes de una bacteria natural del suelo, *Bacillus thuringiensis*, comúnmente conocido como Bt, lo que las hace producir, durante todo su ciclo de vida, pequeñas cantidades de una proteína Cry δ -endotoxina que es tóxica para ciertos insectos.

Una vez insertado el gen del Bt en el genoma de la planta de algodón, las características de la proteína Cry son transferidas, a variedades de algodón de alto rendimiento. Propiedades agrícolas como mayor rendimiento, mejor calidad de fibra y otras características importantes son preservadas, al mismo tiempo que el gen de la proteína Cry se agrega a las variedades comerciales.

Inicialmente las proteínas Bt fueron clasificadas en cuatro clases, basadas en el rango de sus hospederos. Así, por ejemplo Cry1 es activa frente a lepidópteros, Cry2 actúa contra lepidópteros y dípteros, Cry3 contra coleópteros y Cry4 contra dípteros. El término "Cry" hace referencia a "cristalina", reflejando la apariencia cristalina de la δ -endotoxina; "Cry" es usada para denotar proteína, mientras "cry" denota el respectivo gen. Actualmente, se conocen más de 60 clases de proteínas Cry (Krattiger, 1997).

Las primeras variedades de algodón Bt que se introdujeron comercialmente contenían la proteína Cry1Ac, derivada de la bacteria *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*, (B.t.k.) y se comercializan con el nombre de Bollgard®.

En China, ya se dispone de una fuente independiente de protección de Bt, desarrollado por la Academia China de Ciencias Agronómicas, se trata de un gen Bt modificado



que es la combinación de los genes cry1Ac y cry1Ab. La Academia aisló adicionalmente un gen del caupí, el CpTi, que produce resistencia a insectos por medio de un mecanismo diferente.

Las plagas del algodón contra las que la tecnología Bt, aprobada y comercializada en Colombia, ofrece una protección eficaz, son el gusano bellotero (*Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea*), el gusano Rosado Colombiano (*Sacadotes pyralis*), el gusano Rosado de la India (*Pectinophora gossypiella*), el gusano de las Hojas (*Alabama argillaceae*) y parcialmente eficaz para combatir el gusano Falso Bellotero (*Spodoptera frugiperda*), consideradas plagas de gran importancia económica para el algodón cultivado en Colombia (Bollgard®, 2001).

Modo de acción del Bt

Las proteínas Cry requieren que estas sean ingeridas para tener una actividad insecticida. En el intestino del insecto, la proteína se solubiliza debido al alto pH (alcalino) y se degrada hasta quedar el núcleo proteico que genera la actividad tóxica. El núcleo de la proteína se une a receptores específicos en el intestino medio de insectos lepidópteros, se inserta dentro de la membrana y forma poros que rompen el flujo de iones existentes en el tubo digestivo. De esta forma se produce parálisis en la digestión y se causa la muerte del insecto.

Los tejidos del sistema digestivo de insectos no objetivo, mamíferos, pájaros y peces carecen de receptores donde se pueda unir a la proteína Cry1, tienen un pH ácido, lo que impide que se interrumpa la digestión y en consecuencia esta no es tóxica para especies distintas a insectos lepidópteros (Monsanto Agricultura España, 2002).

Países que cultivan algodón Bt

El algodón Bt se cultivó por primera vez en Estados Unidos, Australia y México en 1996 y posteriormente, se introdujo comercialmente a otros países: Argentina, China, y Sudáfrica y más recientemente a países como India y Colombia (Tabla 3).



Tabla 3. Superficie estimada en el mundo con algodón Bt y Bt/Tolerante herbicida, en 2004.

País	Superficie (Miles de has)
Estados Unidos	2.789
China	3.700
India	500
Australia	250
Sudáfrica	150
México	75
Argentina	25
Colombia	11
Total	7.500

Fuente: James, 2004; Área estimada para Colombia corresponde a información local

En Colombia las siembras comerciales de algodón Bt se iniciaron en la temporada 2004 (Costa 2003B, Interior 2004A), alcanzando una superficie de aproximadamente 10.700 has.

Beneficios del Algodón Bt


Los beneficios directos del algodón Bt son:

1. Menor uso de insecticidas para la protección del cultivo.
2. Control más eficaz de los gusanos de las cápsulas y en consecuencia una mejora del rendimiento.
3. Reducción en los costos de producción y en los riesgos del cultivo, teniendo todo ello como resultado una mejora de la rentabilidad para los productores de algodón (ISAAA, 2002a; Gianessi *et. al.* 2002; FAO, 2004).

Se ha estimado que desde 1996 el cultivo de algodón Bt en los Estados Unidos ha permitido una reducción de 1.2 millones de kilogramos de ingrediente activo de insecticidas y 15 millones de aplicaciones de insecticidas (Carpenter y Gianessi, 2001). También el algodón Bt ha aportado beneficios secundarios asociados con la reducción en el uso de insecticidas, que han resultado en un incremento de las poblaciones de insectos benéficos, una disminución en la escorrentía potencial de los insecticidas y una mayor seguridad para los trabajadores agropecuarios (Monsanto Agricultura España, 2002).

Los ensayos con algodón Bt en España han demostrado ofrecer una excelente herramienta para el manejo integrado de plagas de algodón, reduciendo el consumo de recursos necesarios para proteger la cosecha de los gusanos de las cápsulas: 10.7-15.8 l/ha de insecticidas no selectivos ahorrados, manteniendo o incrementando las producciones finales; 12% de incremento medio en ensayos durante 1988 y respetando las poblaciones de insectos auxiliares, que contribuyen a la lucha biológica contra las especies plaga del cultivo (Monsanto Agricultura España, 2002)

Estudios sobre el rendimiento del cultivo de algodón Bt, efectuados en países en desarrollo, como Argentina, China, India, México y Sudáfrica, durante un período de uno a tres años (FAO, 2004), indicaron, mayores rendimientos promedio, reducción en el uso de plaguicidas y beneficios netos superiores en relación con sus homólogos convencionales. Se establece además que en estos países los rendimientos tanto del algodón Bt como del convencional están sujetos a un elevado grado de variabilidad estacional y entre distintos terrenos. Por ello, no es posible generalizar las conclusiones a cualquier tipo de terreno, clima y temporada.

Por otro lado, los estudios también señalan que los pequeños agricultores tienen una probabilidad igual o mayor que los grandes de beneficiarse del algodón Bt, siendo probable que el rendimiento relativo del algodón Bt sea mayor cuando lo utilizan pequeños agricultores donde la presión de las plagas es elevada y hay menores posibilidades de combatirlas con medios químicos. Apoyan estos hechos la información sobre mayores aumentos de rendimientos que se han obtenido en Argentina, China y la India (FAO, 2004). 



4 Algodón tolerante a herbicida

Las malezas constituyen un severo limitante para la producción de algodón en el mundo. El cultivo compite desfavorablemente, principalmente en los estados iniciales de crecimiento, y debe ser protegido de la invasión de malezas agresivas.

Los métodos actuales de manejo de malezas combinan prácticas culturales y mecánicas con la aplicación de herbicidas de amplio espectro y residuales para contrarrestar el efecto de competencia.

El algodón tolerante a herbicida, obtenido por ingeniería genética, ofrece a los agricultores una manera eficaz, para combatir las malezas siendo esta compatible con los métodos de labranza mínima, los cuales ayudan a preservar el suelo. El algodón GM, permite cierta flexibilidad a los agricultores en relación con la aplicación de los herbicidas, conforme a las características de uso requeridas.

Modo de acción

Así como los genes *cry* han sido introducidos a la planta de algodón para generar resistencia a insectos, los métodos de ingeniería genética han permitido que plantas de algodón sensibles a herbicidas se modifiquen genéticamente para ser capaces de tolerar herbicidas no selectivos de amplio espectro como glifosato, oxinil, glufosinato de amonio y sulfonilurea.

El glifosato, elimina las plantas inhibiendo competitivamente la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS). La EPSPS es esencial para la producción de aminoácidos aromáticos en las plantas. La estrategia de tolerancia consistió en conferirles a las plantas de algodón, la capacidad de producir la proteína CP4 EPSPS, derivada



de *Agrobacterium* sp. cepa CP4 que de forma natural es tolerante al herbicida y de esta manera generar en la planta la tolerancia al herbicida. Esta tecnología ha sido utilizada en las variedades de algodón, que confieren tolerancia a las aplicaciones tóxicas del herbicida, cuyo ingrediente activo es el glifosato.

El herbicida oxinil, incluyendo bromoxinil y ioxinil, actúa bloqueando el flujo de electrones durante la fotosíntesis, inhibiendo la respiración celular en plantas dicotiledóneas. Este herbicida es tóxico para las variedades convencionales de algodón. Las variedades modificadas que contienen el gen *bxn* para tolerancia a oxinil permiten a los agricultores usar herbicidas con este ingrediente activo sin causar daño al algodón. El gen *bxn* fue aislado de *Klebsiella pneumoniae* sbsp. *ozaenae* y codifica para la enzima nitrilasa la cual hidroliza el ioxinil y bromoxinil en compuestos no tóxicos (AGBIOS, 2002).

El herbicida fosfinotricina, ingrediente activo del glufosinato de amonio, es un potente inhibidor de la glutaminosintetasa, enzima clave en la regulación del metabolismo del nitrógeno. Las plantas de algodón genéticamente modificadas para tolerar y detoxificar el glufosinato contienen un gen que codifica para la enzima fosfinotricina acetiltransferasa (PAT), procedente de la bacteria *Streptomyces viridochromogenes*, la cual le confiere resistencia, vía inactivación del herbicida fosfinotricina (Calderón *et al.*, 1991; ISAA, 2002b).

El algodón con resistencia a sulfonilurea fue desarrollado introduciéndole una forma del gen ALS tolerante al herbicida, el cual codifica la enzima acetolactato sintetasa (ALS). La enzima ALS producida, en el algodón genéticamente modificado, es una forma resistente de una enzima similar presente en todas las plantas, bacterias y hongos, y de esta manera confiere la resistencia al herbicida (AGBIOS, 2002).



Países que cultivan algodones tolerantes a herbicidas

En 2004, el algodón GM tolerante a herbicida fue sembrado en 1.5 millones de hectáreas representando el 2% de la superficie total de cultivos GM plantados en ese año (James, 2004). Esta tecnología se empezó a utilizar desde 1997 en los Estados Unidos y se ha ido extendiendo paulatinamente a otros países, principalmente los mismos donde se cultiva el algodón Bt. En Colombia el algodón tolerante a herbicida Glifosato fue autorizado para siembras comerciales, a partir de la temporada algodonera 2004/2005 en las subregiones Caribe seco y Caribe húmedo.

Beneficios

El algodón tolerante a herbicida presenta beneficios agronómicos, ambientales y económicos, sustentados por varios estudios realizados en diferentes países (Monsanto, 2001; ISAAA, 2002b), destacándose los siguientes:

- Es compatible con las prácticas de manejo integrado de plagas y la agricultura de conservación de suelos.
- Los efectos favorables del uso de esta tecnología en relación con la preservación del medio ambiente se observan en la reducción de los niveles totales de herbicidas empleados en el cultivo, reduciendo el impacto de estos sobre mantos freáticos y cuerpos de agua superficiales; cuando se emplea en sistemas de agricultura de conservación reduce la erosión del suelo, conserva por mayor tiempo la humedad del suelo, mejora algunas de las propiedades físico-químicas del suelo y disminuye el gasto de combustible en labores y aplicaciones en el cultivo.
- Los agricultores se benefician al reducir costos de producción, por disminución del número y cantidad de aplicaciones de herbicidas, economía de tiempo y laboreo, permitiendo mayor flexibilidad en el control de malezas con un sistema más efectivo fácil y seguro. ●

5

Algodón resistente a insectos y tolerante a herbicida



El algodón con resistencia a insectos y con tolerancia a herbicida ha sido desarrollado combinando ambos rasgos (genes acumulados), proporcionando al agricultor la oportunidad de disponer en una misma variedad protección contra insectos y tolerancia a herbicida.

El mismo proceso empleado para obtener variedades convencionales fue utilizado para combinar las características introducidas en este algodón. De esta forma, el algodón con tecnologías conjuntas (Bt + tolerante a herbicida) fue obtenido por mejoramiento convencional mediante un cruce del algodón Bt y el tolerante a herbicida (ICA, 2004a).

Modo de acción

Las proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* (Bt) y CP4 EPSPS de *Agrobacterium tumefaciens*, cepa C4, producidas por el algodón con genes acumulados, actúan independientemente y a través del mismo mecanismo que ya fue descrito cuando se trataron individualmente las características Bt y tolerante a herbicida. Dichas proteínas se acumulan en sitios diferentes de la planta, la CP4 EPSPS lo hace en los cloroplastos, mientras que la proteína Cry se presenta en el citoplasma.


El modo y sitio de actividad biológica son significativamente diferentes entre Cry y CP4 EPSPS y no se conoce, ni se concibe un mecanismo de interacción entre estas proteínas, el cual pudiera generar efectos nocivos para la salud de los animales o del hombre (ICA, 2004a)



Países que cultivan algodón resistente a insectos y tolerante a herbicida

Los genes combinados para resistencia a insectos y tolerancia a herbicida en algodón, continuaron creciendo desde que se inicio su utilización en 1997 en Estados Unidos, y ocuparon 4% o 3.0 millones de ha, a nivel global en 2004. Las características combinadas Bt/tolerancia a herbicida, aumentaron significativamente reflejando una continua tendencia de los genes combinados para ocupar un porcentaje creciente en relación con el área total plantada con cultivos GM (James, 2004). Actualmente esta tecnología se utiliza, además de los Estados Unidos, en Australia, Japón, y México. En Colombia actualmente, se está evaluando esta oferta tecnológica, de acuerdo con los procedimientos establecidos por el ICA sobre la materia.

Beneficios

El valor aportado por las variedades que expresan las dos características corresponde, en cierta forma, a la suma de los beneficios anotados tanto para la tecnología Bt como para la tecnología de tolerancia a herbicidas. 

6

Legislación



Las plantas pueden ser genéticamente modificadas con diferentes propósitos, incluyendo aplicaciones agrícolas. En relación con este tema la comunidad internacional ha procurado el aprovechamiento de los beneficios reportados por la moderna biotecnología, garantizando al mismo tiempo la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica y la protección de la salud pública. Aunque los riesgos potenciales asociados a la biotecnología no son diferentes a los de otras técnicas, los países paralelamente con el desarrollo de las nuevas tecnologías han adoptado marcos normativos de bioseguridad para garantizar la introducción segura de los cultivos GM (Crop Life, 2003)

Marco regulatorio Internacional

Las discusiones en torno a la bioseguridad, comenzaron en los años setenta y adquirieron mayor relevancia con la adopción del Convenio sobre la Diversidad Biológica CDB, instrumento internacional vinculante del cual hacen parte 185 países y cuyo objetivo es la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, vigente desde 1993.

El CDB contiene tres disposiciones directamente relacionadas con los "Organismos Vivos Modificados" (OVM), una de ellas generó el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología considerado como uno de los más importantes tratados internacionales, adoptado por más de 130 países, entró en vigor desde el 11 de septiembre de 2003 y actualmente se encuentra en implementación por los países signatarios. Tal instrumento marca el compromiso de la comunidad internacional para asegurar la transferencia, manipulación y uso seguro de los OVM. El concepto de OVM utilizado en el Protocolo de Cartagena, se deriva de su utilización en el CDB y esta limitado a aquellos OVM resultantes de la biotecnología moderna. En muchos países el término "Organismo Genéticamente Modificado" (OGM) es ampliamente utilizado para describir los OVM cubiertos por el Protocolo. También el CDB facultó a los países para establecer sus propios marcos regulatorios sobre bioseguridad (IUCN, 2004).



Los sistemas regulatorios fundamentalmente se centran en el análisis de riesgo, caso a caso, como una metodología científica que contribuye a la búsqueda sistematizada de un determinado peligro, que permita la evaluación del riesgo inherente y la adopción de medidas para eliminar o controlar el riesgo detectado. Los riesgos potenciales de los cultivos GM se asocian al nuevo ADN introducido, al producto de la expresión de ese ADN (proteína) a efectos no intencionales derivados de la introducción en el genoma y de la expresión de ese nuevo gen sobre caracteres aparentemente no relacionados, (efecto pleiotrópico), y eventuales mutaciones (Lajolo y Nutti, 2003).


Con base en las orientaciones internacionales y los esquemas regulatorios nacionales sobre bioseguridad los países están utilizando estrategias y metodologías destinadas a regular la introducción, desarrollo, manejo y uso de plantas modificadas mediante biotecnología moderna.

Marco regulatorio nacional

En referencia al sector agropecuario colombiano, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), inició un proceso sistemático para facilitar la incorporación de los cultivos genéticamente modificados, estableciendo unos procedimientos específicos que permitan evaluar la conveniencia de utilizar o abstenerse de emplear en este medio productos de tal naturaleza y prevenir o minimizar los riesgos potenciales para la agricultura generados por estos organismos.

Con el propósito anterior, en diciembre de 1998, se promulgaron dos instrumentos que actualmente conforman el marco regulatorio en materia de bioseguridad agrícola: el Acuerdo 013/98, de la Junta Directiva del ICA que crea el Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Agrícola CTN, modificado por el Acuerdo 002/2002, y la Resolución 3492/98 de este Instituto, que establece los procedimientos y normas para la introducción, manejo y uso de los OGM agrícolas. Posteriormente el ICA expidió las normas pertinentes para el área pecuaria a través de la resolución 2935/01 y el Acuerdo 004/02 que crea el Consejo Técnico de Bioseguridad Pecuaria. En virtud de tales disposiciones el ICA es la entidad que en Colombia esta facultada para autorizar o negar la realización de actividades con organismos genéticamente modificados de uso agropecuario.



Los Consejos Técnicos Nacionales de Bioseguridad son órganos asesores y de apoyo al ICA en su gestión sobre bioseguridad, y están integrados por técnicos y científicos de instituciones y organizaciones, tanto del sector público como del privado que tienen responsabilidades o alcance en el campo de la bioseguridad. La participación del área ambiental y del sector salud en relación con las evaluaciones y gestión de riesgos inherentes a las solicitudes de OVM/OGM, se da a través de los representantes de los ministerios e instituciones vinculadas, quienes participan en los Consejos Técnicos Nacionales de Bioseguridad Agrícola y Pecuaria. De esta forma se estableció en Colombia la estructura legal e institucional para el ejercicio de los principios que deben regular la bioseguridad relativa al manejo de OVM/OGM (Silva, 2003). 



7 Aspectos de seguridad

La mayoría de legislaciones existentes sobre OGM contemplan evaluaciones rigurosas para estimar la seguridad ambiental y su inocuidad para el consumo animal y humano. Los cultivos genéticamente modificados son ensayados en condiciones experimentales controladas durante varios años, por quienes los han desarrollado y luego evaluados independientemente por las autoridades regulatorias competentes de cada país.

Las evaluaciones de los cultivos GM, en general se fundamentan en la comparación con su homólogo convencional, para el cual existe un historial de uso seguro. Este método, basado en la comparación, es el concepto de "equivalencia sustancial" y provee un marco para la evaluación de bioseguridad de acuerdo con normativas y recomendaciones de organismos internacionales como FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación), OMS (Organización Mundial de la Salud), OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) y *Codex Alimentarius* (FAO/OMS) (Robinson, 2001).

Estas evaluaciones de seguridad se concentran de una parte en el rasgo o característica introducida (el gen y sus productos) y de otra, en el cultivo o alimento como un todo.

Evaluación de seguridad del algodón resistente a insectos Bt

Las evaluaciones sobre la seguridad son un paso previo necesario para la aprobación de la tecnología en los países productores o importadores donde se ha solicitado su autorización. Algunos de los resultados de los estudios de bioseguridad, se resumen a continuación:



Caracterización molecular del algodón Bt

La caracterización molecular del algodón Bt demostró que el gen funcional (secuencia codificante del gen cry) se integra de manera estable en el genoma del algodón y tiene una herencia de tipo mendeliano. De otra parte, el análisis de la semilla obtenida en diferentes localidades de España, por más de ocho años, evidenció niveles similares de la proteína Cry al tiempo que conserva su eficacia bajo diferentes condiciones ambientales (Monsanto Agricultura España, 2002).

Por otro parte, la equivalencia agronómica (morfología, maduración, desarrollo, rendimiento, características de la fibra, componentes de la semilla incluido el aceite, y susceptibilidad a enfermedades y plagas) entre variedades de algodón Bt y convencionales fue demostrada en varios ensayos efectuados tanto en invernadero como en campo y en diferentes años (Perlak *et al.*, 2001). Estos resultados indican que no existe evidencia de inestabilidad genética o de ineficacia del algodón Bt.

Niveles de expresión de la proteína Cry

Información generada a partir de muestras recogidas en varias localidades, en ocho años de ensayos en campo en España, indicaron que la proteína Cry no fue detectada en el néctar del algodón Bt, ni en los productos procesados de semilla de algodón tales como aceite refinado, fibra y harina. La proteína se encontró en el polen a niveles por encima del límite de detección (11.5 ng/g peso fresco polen) de los ensayos (Monsanto Agricultura España, 2002)

Evaluación de seguridad de la proteína Cry en humanos

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA, y la Organización Mundial de la Salud, WHO, han reconocido el potencial de exposición dietaria a proteínas Cry a partir de formulaciones microbianas en cultivos para uso alimentario y han señalado que los residuos de esporas bacterianas en materias primas agrícolas esta ausente de preocupaciones toxicológicas y no se prevé riesgo por el consumo de tales materias tratadas, para la población incluyendo niños (U.S. EPA, 1998). Tampoco se conocen efectos adversos del Bt en la salud humana cuando se encuentra presente en agua potable o alimentos (WHO, 2000).



Los resultados sobre toxicidad de la proteína Cry, administrada oralmente, en ratones mostró que no hubo evidencia de toxicidad incluso en dosis extremadamente altas (4200 mg/kg peso corporal). Además, no se espera que la proteína Cry producida en las plantas de algodón presente algún riesgo de toxicidad dermal o por inhalación, en primer lugar porque el nivel de expresión de la proteína en algodón es bajo y la proteína se encuentra dentro de las paredes celulares de los tejidos de la planta, con bajo o ningún potencial de exposición dérmica o inhalatoria. Por otra parte, no se espera que las proteínas que no son tóxicas por la ruta oral lo sean por rutas dérmicas o pulmonares (Betz *et al.*, 2000).

La evaluación de la velocidad de degradación de la proteína Cry en fluidos gástricos e intestinales simulados, demostró que la proteína se degrada en aproximadamente 30 segundos desde el momento de la exposición al fluido gástrico. Las condiciones ácidas del estómago desnaturalizan la proteína, facilitando su rápida degradación, lo cual apoya la ausencia de efectos tóxicos en humanos y otros mamíferos (Betz *et al.*, 2000; Perlak *et al.* 2001).

Al comparar la secuencia de aminoácidos de la proteína Cry con la de proteínas tóxicas conocidas, no se encontró similitud de secuencia de aminoácidos significativa presentes en las bases de datos de proteínas PIR, EMBL, SwissProt y GenBank, lo cual descarta el potencial alergénico de la proteína (Monsanto Agricultura España, 2002).

Seguridad de la proteína Cry como alimento humano

La evaluación de la exposición de humanos a la proteína Cry, en relación con los únicos productos de algodón utilizados para alimento: aceite de semilla de algodón y fibras de algodón procesadas, confirmó que no hay proteína detectable (a un límite de detección de 1.3 ppm de proteína total) en aceite (Cottonseed Oil, 1993), ni en fibras procesadas (Sims *et al.* 1996). Esta información permite concluir que el aceite de semilla de algodón Bt no causa preocupación significativa sobre alergenicidad, basándose solamente en la falta de exposición significativa.



Evaluación de la proteína Cry en animales

Los tejidos del sistema digestivo de organismos no objetivo, mamíferos, pájaros, y peces carecen de receptores que se unan a la proteína Cry, por lo tanto dicha proteína no puede interrumpir la digestión y en consecuencia no es tóxica para especies distintas a insectos lepidópteros (Betz *et al.*, 2000; Perlak *et al.*, 2001).

Cepas de *B. thuringiensis* han sido utilizadas de forma segura como insecticidas microbianos comerciales durante más de 40 años, demostrando no tener efectos nocivos para organismos no objetivo (peces, aves, mamíferos, entre otros) atribuyendo el hecho al modo de acción altamente específico y a la rápida digestibilidad de la proteína Cry (Betz *et al.*, 2000; Perlak *et al.* 2001).

Seguridad de la proteína como alimento animal

El análisis detallado de la composición del algodón Bt, demostró que no hay diferencia significativa cuantitativa o cualitativa entre este y variedades comerciales de algodón con respecto a componentes tales como proteína, grasa, fibra, ceniza y aminoácidos. Por lo tanto el valor nutricional de la semilla de algodón Bt es sustancialmente equivalente a otras variedades de algodón. El aceite refinado de algodón Bt también mostró ser equivalente al producido a partir de variedades convencionales de algodón (Berberich *et al.*, 1996). Adicionalmente, se estableció que el contenido total de gossypol en la semilla se mantiene dentro de los rangos aceptables para que la harina pueda ser utilizada como un suplemento proteico para alimento animal.

La calidad nutricional de la semilla de algodón Bt se demostró alimentando ratas e incorporándola a la dieta de vacas lecheras que contenían semillas de algodón crudas, tanto de algodón Bt como de testigos convencionales (Tabla 4).



Tabla 4. Resumen de estudios sobre la calidad nutricional de la semilla de algodón Bt

Animal	Alimento GM	Estudio	Referencia
Ratas	Semilla de algodón	Suministro de harina de semilla de algodón Bt durante un mes de estudio alimenticio. Cuando finalizó el estudio no hubo diferencias significativas en ganancia de peso o incorporación de alimento ente aquellas que consumieron algodón Bt y la dieta de algodón convencional	(Castillo, citado por Monsanto Agricultura España 2002)
Vacas Lecheras	Semilla de algodón	Uso de semilla de algodón como suplemento en la dieta de vacas lecheras, en estabulación durante cuatro meses. Los resultados de este estudio mostraron que la semilla de algodón Bt se comportó de forma comparable a la semilla de algodón convencional. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento de leche, composición y condición corporal de las vacas.	(Castillo, 2002)

Evaluación sobre seguridad ambiental

La evaluación sobre seguridad ambiental del algodón Bt determinó, entre otros aspectos el potencial de cruzamiento con otras especies, el potencial de transformación en maleza y la ausencia de efecto en organismos no objetivo.

En cuanto al primer aspecto, se estableció que el cruzamiento del gen *cry* desde el algodón Bt hacia otras especies de *Gossypium* o hacia otras especies de la familia malvaceae es extremadamente improbable debido a que el algodón cultivado es tetraploide y es incompatible con especies diploides de algodón cultivado o silvestre. Aunque el cruzamiento con especies tetraploides silvestres de *Gossypium* puede ocurrir, la producción comercial de algodón no ocurre generalmente en la misma localización geográfica de los



parientes silvestres. Se conoce, además que el cruzamiento del gen *cry* con otros genotipos de algodón es posible si las plantas están próximas pero esto ocurre a frecuencias muy bajas y no es considerado como una preocupación (Percival *et al.*, 1999.).

El riesgo potencial de que el algodón Bt pueda transformarse en maleza ha sido evaluado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: el algodón no tiene ninguna característica de maleza diferente a las variedades convencionales de algodón, toda vez que factores como latencia de la semilla, persistencia en el suelo, germinación bajo condiciones ambientales diversas, crecimiento vegetativo rápido, ciclo de vida corto o alta producción o dispersión de semilla, no son atributos propios de esta especie. El algodón Bt no muestra características agronómicas o morfológicas distintas comparado con sus homólogos convencionales, que pudieran conferirle una ventaja competitiva sobre otras especies en el ecosistema en el cual es cultivado. Con base en estos argumentos y experiencias en campo, no hay indicación de que la inserción del gen *cry* dentro del genoma del algodón, pueda hacer que este adquiera característica de maleza (Percival *et al.*, 1999).



Tabla 5. Resumen de algunos estudios sobre ausencia de efecto del algodón Bt en organismos no objetivo

Organismo no objetivo	Presencia de la proteína Cry	Resultado	Referencia
Depredadores y parasitoides comunes en el cultivo del algodón	Productos microbianos que contienen proteínas Cry	Preparaciones microbianas, utilizadas por muchos años, que contienen las mismas proteínas Cry que el algodón Bt, demuestran que no hay efectos nocivos en el crecimiento y desarrollo de una amplia gama de insectos predadores y parásitos benéficos comunes en el cultivo del algodón.	(U.S. EPA, 1998 Betz <i>et al.</i> 2000)
Insectos polinizadores, predadores y parásitos	Plantas de algodón Bt	Evaluación del impacto potencial de la proteína Cry en varios organismos representativos no objetivo (abejas, crisopas, mariquitas, colémbolos, entre otros), indicaron que no hubo efectos nocivos en el crecimiento y desarrollo de los insectos examinados. Tampoco se evidenciaron efectos adversos cuando se alimentaron con hojas de algodón Bt algunas especies de ácaros.	(Betz <i>et al.</i> 2000)
Aves	Harina de semilla de algodón	Evaluaciones sobre el efecto del algodón Bt, en aves presentes en campos cultivados con este algodón y que fueron alimentadas con una dieta conteniendo 10% de harina cruda de semilla de algodón Bt, indicaron que no hubo diferencia en el consumo de alimento o en la ganancia de peso de codornices alimentadas con dieta de semilla Bt frente al alimento con semilla de algodón.	(Betz <i>et al.</i> 2000)
Ratas	Cebos con proteína Cry purificada	Administración oral de proteína Cry purificada en ratas hasta 4200 mg/kg de peso corporal, no afectó el crecimiento y consumo alimenticio de estos animales.	(Betz <i>et al.</i> 2000)
Organismos del suelo	Raíces y biomasa de algodón Bt incorporada al suelo	Evaluaciones realizadas sobre el efecto de las toxinas Cry producidas por cultivos Bt y liberadas por las raíces y la biomasa incorporada de estas plantas, indicaron que no hubo ningún efecto consistente sobre organismos (lombrices, nematodos, protozoarios, bacterias y hongos) según análisis realizados tanto en suelo como <i>in vitro</i> .	(Saxena <i>et al.</i> 2003)



Evaluación de seguridad del algodón resistente a insectos Bt en Colombia

Evaluación ambiental

El proceso de evaluación del algodón GM en Colombia fue realizado por el ICA en materia de su competencia, apoyado por los Consejos Técnicos Nacionales de Bioseguridad Agrícola y Pecuaria en los cuales participan, entre otras instituciones, los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, del Ambiente y la Protección Social, que tienen responsabilidad en el tema de bioseguridad.

La primera fase de evaluación, iniciada en 1999, fue de carácter experimental y comprendió la realización de dos proyectos de investigación, en el agroecosistema del Caribe húmedo colombiano haciendo uso de todas las medidas de bioseguridad recomendadas:

1. Estudiar el transporte del polen de la variedad transgénica y determinar posibles cruzamientos con variedades convencionales de algodón.
2. Conocer el efecto de la tecnología sobre poblaciones de artrópodos y anélidos del cultivo del algodón, y sobre las plagas objetivo de esta tecnología.

Los resultados de estas investigaciones comprobaron que no hubo efectos biológicos adversos para el agroecosistema y el medio ambiente del área de estudio, como consecuencia del empleo de la tecnología Bt analizada (Díaz y Montenegro, 2002; Díaz y Montenegro 2003).

Una segunda fase de evaluación, soportada por los resultados obtenidos en las investigaciones antes citadas, consistió en estudios en áreas semicomerciales, con la aplicación de un plan de bioseguridad, el cual buscó de una parte, ampliar los conocimientos adquiridos hasta ese momento y generar información sobre esquemas de refugios, iniciar estudios de línea base de susceptibilidad, inventario de malezas malváceas y plantas afines al algodón y estudios de eficacia e impacto económico de la tecnología.

Los resultados favorables obtenidos de estas investigaciones permitieron concluir que la tecnología Bt analizada posee riesgos comparables o menores para el medio ambiente que el algodón convencional que es protegido con aplicaciones de insecticidas. Se verificó el control efectivo de las plagas para las cuales la tecnología actúa y adicionalmente se identificó una reducción significativa de las aplicaciones de insecticidas para controlar dichas plagas, proporcionando beneficios ambientales, y sociales (salud pública) relevantes (ICA, 2003a).

La tercera fase apoyada en los resultados de los ensayos experimentales y las pruebas semicomerciales, correspondió a la autorización de las siembras comerciales de algodón con la tecnología Bollgard® en el Caribe húmedo colombiano, segundo semestre de 2003, adoptando simultáneamente la aplicación de un plan de manejo de la tecnología en el que participan los diferentes actores involucrados, bajo la supervisión del ICA (ICA, 2003b).

La evaluación de la seguridad de la proteína Cry la realizó el Ministerio de Protección Social concluyendo que "es mínima la probabilidad de generar efectos alérgicos, su dosis letal 50 (DL 50) oral es elevada, lo que permite considerarla prácticamente como no tóxica por vía oral y en estudio de 90 días no se presentaron efectos que permitan evidenciar daños a la salud". De otra parte el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), en relación con el empleo de algodón con la tecnología Bollgard como materia prima para la producción de alimentos consideró que no presenta riesgo para la salud de los consumidores, pues el proceso al cual es sometido no afecta la inocuidad, especialmente del aceite y por consiguiente puede emplearse como materia prima para la producción de alimentos para consumo humano.

La evaluación de riesgo realizada por el ICA, con la asesoría del CTN Pecuario a la torta proveniente de semilla de algodón con la tecnología Bt evaluada, concluyó que es tan inocua para consumo animal como el algodón convencional y por consiguiente autorizó su uso para consumo animal en el país. La evaluación de riesgos que sustentó el concepto citado, se basó en un análisis detallado de la información científica disponible a nivel mundial sobre el tema (ICA, s.f.a).



Evaluación de seguridad del algodón tolerante a herbicida

Previamente a su comercialización el algodón tolerante a herbicida fue sometido a una serie de evaluaciones rigurosas para determinar su inocuidad. Algunos de los resultados de los estudios de bioseguridad, respecto de las variables consideradas se resumen a continuación:

Caracterización molecular del algodón tolerante a herbicida

Se ha comprobado que el inserto funcional que contiene el gen que confiere la característica de tolerancia a herbicida (*cp4 epsps*) tiene una herencia de tipo mendeliano y se ha mantenido estable por más de 10 generaciones. De otra parte, la consistencia en el desempeño del algodón comercial, tolerante a herbicida, sembrado por más de cuatro años, en seis millones de acres en los Estados Unidos, soportan la estabilidad del ADN insertado y el funcionamiento de la proteína (CP4 EPSPS) que confiere la tolerancia al herbicida (Monsanto, 2001).

Seguridad de la proteína que confiere tolerancia a herbicida

La proteína expresada en el algodón tolerante a herbicida, es funcionalmente similar a diversas familias de proteínas EPSPS presentes en alimentos y piensos derivados de plantas y fuentes microbiales. Esta proteína ha mostrado ser rápidamente degradada por los componentes del sistema digestivo de mamíferos. En ensayos *in vitro* y en evaluaciones de la toxicidad aguda oral, en ratones, se determinó su inocuidad en dosis hasta de 572 mg/kg de peso (Harrison, *et al.*, 1996).

La exposición de humanos a la proteína que confiere la tolerancia a herbicida se basó en el análisis de aceite refinado y de las fibras procesadas de semillas de algodón tolerante a herbicida confirmándose, que no hay proteína CP4 EPSPS detectable en estos componentes, de tal manera que el consumo humano de dicha proteína es improbable (Sims *et al.*, 1996).

La evaluación del potencial de alergenicidad de la proteína CP4 EPSPS, contenida en aceite refinado y fibras de semillas de algodón con tolerancia a herbicida, se efectuó



comparándola con proteínas alergénicas conocidas. Factores como la rápida degradación en el sistema digestivo de mamíferos, la presencia en bajos niveles en los tejidos de la planta y las diferencias en las secuencias de aminoácidos diferencian totalmente la proteína CP4 EPSPS de proteínas alergénicas conocidas, lo que lleva a afirmar que el consumo de esta proteína como alimento no posee un riesgo alergénico significativo para humanos (Monsanto 2001).

Equivalencia composicional y aptitud nutricional

El análisis de la composición y el valor nutricional de la semilla de algodón con tolerancia a herbicida se llevó a cabo mediante la realización de diferentes ensayos que incluyeron: análisis proximal de la composición de aminoácidos, ácidos grasos y anti-nutrientes (gosipol). Los resultados de estos análisis demostraron que la semilla de algodón analizada, tienen una composición equivalente y un valor nutritivo igual a las semillas de algodón convencional de variedades comerciales (Monsanto 2001).

Evaluación ambiental

La evaluación sobre seguridad ambiental del algodón con tolerancia a herbicida se resume en la **Tabla 6**.



Tabla 6. Resumen de algunas evaluaciones sobre el impacto ambiental del algodón con tolerancia a herbicida

Factor de riesgo	Resultado	Referencia
Cruzamiento con especies emparentadas.	<p>El cruzamiento del gen cp4 epsps del algodón con tolerancia a herbicida a otras especies de <i>Gossipium</i> o a otras malváceas es extremadamente improbable por las siguientes razones: en el algodón predomina la autopolinización, el algodón cultivado es tetraploide y es incompatible con especies de algodón diploide, aunque el cruzamiento con especies silvestres tetraploides de algodón podría ocurrir, el cultivo comercial del algodón no ocurre en las mismas zonas geográficas donde existen parientes silvestres del cultivo.</p> <p>En caso de ocurrir el cruzamiento con plantas compatibles, este siempre se presentará a muy cortas distancias y la semilla que eventualmente resulte tendría muy poca probabilidad de sobrevivir en el ambiente.</p>	(Percival <i>et al.</i> , 1999) (De la Fuente, 2002)
Potencial de conversión en maleza.	El algodón con tolerancia a herbicida no tiene característica de maleza y tampoco posee atributos propios de las malas hierbas. La característica de malezas son gobernados en dichas plantas por genes múltiples, de tal forma que la inserción del gen que confiere la tolerancia al herbicida en otra planta haría improbable la transformación de aquella planta en maleza.	(Monsanto, 2001)
Efecto en organismos no objetivo.	<p>Las proteínas que confieren resistencia a herbicida están presentes en todas las plantas y microorganismos, de esta manera los organismos que se alimentan de plantas han estado permanentemente expuestos a la proteína.</p> <p>La parte vegetativa del algodón normalmente no es consumido por mamíferos u otras especies e igualmente la semilla no esta al alcance de las aves.</p> <p>Ensayos realizados con semillas de algodón utilizadas en dietas para pájaros no ocasionó ningún nivel de mortalidad, en concentraciones en el alimento hasta de 100.000 ppm, equivalente a un consumo de 400 semillas /kg de peso por pájaro.</p> <p>Basados en estos parámetros se concluyó que la inocuidad del alimento derivado de la semilla con la tecnología de tolerancia a herbicida, fue comparable a la de la variedad convencional homóloga.</p>	(Monsanto, 2001)
Generación de resistencia a herbicidas.	La posible generación de resistencia a herbicida, por el uso del algodón con tolerancia a estos productos es poco probable; en el caso del glifosato se tiene más de 30 años de ser utilizado en el mundo; la característica de resistencia a la N-fosfometil glicina es difícil de observar en la maleza debido a las propiedades de su estructura química, metabolismo limitado en la planta y carencia de actividad residual en el suelo. Además, la selección de resistencia al herbicida empleando plantas completas o cultivo de tejidos ha sido infructuoso.	(De la Fuente, 2002)



Evaluación de seguridad del algodón tolerante a herbicida en Colombia

Los estudios iniciales para evaluar el impacto ambiental del algodón genéticamente modificado con tolerancia a glifosato, fueron realizados por el ICA, durante la cosecha 2002-2003, en la zona algodonera del Departamento de Córdoba, Región Caribe húmedo colombiano, Centro de Investigación Turipaná (Municipio de Cereté).

Uno de los experimentos consistió en verificar el flujo de polen para determinar cruzamiento e hibridación entre el algodón GM y algodón convencional así como con plantas asilvestradas o especies cercanas, localizadas en un radio hasta de mil metros de la fuente contaminante. El otro experimento fue la evaluación de la eficacia biológica de la tecnología de tolerancia a herbicida. Los resultados de los estudios antes citados indicaron para el primer experimento que no hubo transporte de polen de la variedad con la tecnología analizada ya que el porcentaje de hibridación natural establecido fue cero. En cuanto al segundo ensayo se encontró que hubo reducción de costos y buen control de malezas, durante el ciclo de cultivo, empleando dosis del herbicida entre 2.5 y 3.0 litros por hectárea y un estado de desarrollo de las malezas entre 2 a 4 hojas (ICA, 2003c).

Con base en los resultados de la investigación anterior y siguiendo recomendaciones del CTN se realizaron evaluaciones en áreas semicomerciales, durante la temporada de siembra 2003-2004, subregiones Caribe húmedo y Caribe seco, con la aplicación de un plan de bioseguridad para cuantificar el uso de herbicidas y empleo de mano de obra en desyerbas manuales durante el ciclo de cultivo (ICA, 2004b). El plan de bioseguridad tuvo como objetivo mejorar el conocimiento sobre la utilización, manejo e implementación de medidas de bioseguridad en áreas mayores del Caribe húmedo y Caribe seco colombiano, con la variedad con la tecnología de tolerancia a herbicida analizada. Los resultados de estos ensayos, fueron consistentes y validaron los encontrados en el estudio realizado sobre evaluación de eficacia biológica de la tecnología de tolerancia a herbicida en algodón, realizado en Córdoba 2002-2003. Otros resultados relativos a los ensayos antes descritos, para las condiciones y ambientes donde se efectuaron, mostraron que:



- La variedad con la tecnología analizada no presentó diferencia en rendimiento por hectárea cuando se comparó con su homóloga convencional.
- La tecnología analizada en algodón redujo los costos de control de malezas entre un 24.2% y un 52.3%, cuando se comparó con las prácticas convencionales de control de malezas en algodón, esto es importante para el fomento del cultivo.
- Hubo un control efectivo de las malezas sin daños en el cultivo.

Algunos de los beneficios asociados con el uso de la tecnología de tolerancia a herbicida en algodón fueron: reducción de las aplicaciones de herbicidas residuales, menores costos en el control de malezas; al ambiente, uso de herbicidas menos tóxicos al ambiente y de menor riesgo para la salud pública, además de favorecer la reactivación de un sector deprimido y generar mano de obra para la recolección de la cosecha.

La última fase, apoyada en los resultados de los ensayos experimentales y las pruebas semicomerciales, correspondió a la autorización de las siembras comerciales de algodón con la tecnología de tolerancia a herbicida en el Caribe húmedo y Caribe seco colombiano, segundo semestre de 2004, adoptando simultáneamente la aplicación de un plan de manejo de la tecnología en el que participan los diferentes actores involucrados, bajo la supervisión del ICA.

En la zona algodonera del interior del país (Tolima, Huila y Valle del Cauca), las pruebas de bioseguridad de la tecnología de tolerancia a herbicida se realizaron en el primer semestre de 2003, en los centros de investigación Nataima y Palmira. Con base en los resultados favorables de estas investigaciones, se desarrollaron pruebas semicomerciales en 2004, las cuales están siendo evaluadas actualmente para decidir sobre la autorización de uso comercial de la tecnología RR en el interior del país.

La evaluación de la seguridad de la proteína EPSPS la realizó el Ministerio de Protección Social concluyendo que "es baja la probabilidad de generar efectos alérgicos, ya que en aceite y fibra procesada no se detectó la enzima EPSPS, en estudios de toxicidad aguda se considera prácticamente como no tóxica por vía oral y en estudios a mediano plazo no se presentan efectos que permitan evidenciar daños a la salud". De otra parte el Instituto



Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), en relación con el empleo de algodón con la tecnología de tolerancia a herbicida como materia prima para la producción de alimentos conceptuó que pueden utilizarse semillas de algodón con esta tecnología en la producción de alimentos, para lo cual los productos elaborados deberán cumplir con las normas sanitarias o reglamentos técnicos establecidos para cada uno de ellos.

La evaluación de riesgo realizada por el ICA a la torta proveniente de semilla de algodón con la tecnología analizada, concluyó que es sustancialmente equivalente a su contraparte convencional y por lo tanto apta para consumo animal. El análisis de riesgo, que sustentó la conclusión antes citada se basó fundamentalmente, en una revisión detallada de la información científica disponible sobre la materia (ICA, s.f.b.)

Evaluación de seguridad del algodón Bt resistente a insectos y tolerante a herbicida


A nivel internacional las evaluaciones de bioseguridad han seguido criterios basados en la posición fijada por la Organización Mundial de la Salud (WHO) que consideró que cuando dos líneas genéticamente modificadas que son sustancialmente equivalentes a las convencionales, se cruzan por técnicas de mejoramiento convencional, se espera que la progenie que acumula ambas características sea sustancialmente equivalente a los parentales. Por lo tanto, se esperaría que variedades de cultivo con características acumuladas, sustancialmente equivalentes a las variedades parentales se sometan a los procedimientos de evaluación establecidos para los materiales convencionales (WHO, 1995).

En países como Estados Unidos, Australia y Canadá, no es necesario presentar información de seguridad adicional de los cultivos con características acumuladas que han sido desarrollados mediante técnicas de mejoramiento genético convencional, cuando los productos de característica única de los cuales estos se derivan, han seguido todo el proceso de evaluación requerido por las regulaciones pertinentes, y las características en cuestión no están relacionadas (De la Fuente, 2003)



Otros países como Taiwán, han adoptado un trámite de notificación voluntaria cuando se trata de cultivos con características acumuladas siempre y cuando las características individuales estén aprobadas y los cultivos con características acumuladas se produzcan mediante métodos de mejoramiento tradicional. En Japón, la Comisión Japonesa de Alimentos, en relación con los productos con características acumuladas concluyó que cuando tales características no alteran rutas metabólicas en la planta receptora, como es el caso de la resistencia a insectos y la tolerancia a herbicida, no se requieren datos adicionales de seguridad para cultivos con las características acumuladas cuando estos han sido desarrollados por mejoramiento genético convencional, a partir de materiales con características previamente aprobadas.

Evaluación de seguridad del algodón Bt resistente a insectos y tolerante a herbicida en Colombia

La evaluación de bioseguridad de algodón con las tecnologías conjuntas Bt + Tolerancia a herbicida, se inició en Colombia a finales de 2004. Un estudio detallado del análisis de riesgos para la introducción y uso de esta tecnología, realizado por el ICA (ICA, 2004a), con la participación del CTN, permitirá iniciar en 2005 los estudios de bioseguridad con semillas de las variedades que portan la tecnología, siguiendo los requisitos exigidos en la reglamentación vigente sobre la materia. 

8 El futuro



El desarrollo de nuevas tecnologías en algodón continuará buscando para proveer mejores condiciones en el control de insectos y malezas. En la lucha contra los insectos plaga se dispone de nuevas tecnologías cuyo objetivo es ampliar el espectro de acción y reducir el uso de insecticidas en el cultivo. De igual manera, para el control de las malezas se han desarrollado nuevos productos que buscan, entre otros beneficios, flexibilizar la época de aplicación de herbicidas sobre el cultivo sin causar daño a las plantas, como es el caso del algodón Roundup Ready Flex. Estas tecnologías tienden a reducir el uso de plaguicidas en la producción de algodón, manteniendo un alto nivel de seguridad y eficiencia, en la lucha contra los insectos y las malas hierbas (Tabla 7).

Tabla 7. Nuevas tecnologías para el control de insectos y malezas en algodón

Tecnología	Compañía	Rasgo de la modificación genética
VIP	Syngenta	Resistencia a insectos lepidópteros
WideStrike	Dow AgroSciences	Resistencia a insectos lepidópteros
Liberty Link	Bayer Crop Science	Tolerancia a glufosinato de amonio
Roundup Ready Flex	Monsanto	Tolerancia a glifosato


Fuente: Conalgodón, 2004.



En la lista de otros posibles productos están los algodones con fibras de colores, objeto de trabajos de investigación en varios países como China, Estados Unidos y Brasil, entre otros.

La Academia China de Ciencias Agronómicas y el Instituto chino Xinjiang Uygur han desarrollado algodones de color café, verde, rojo, azul y negro transfiriendo, mediante ingeniería genética, el gen de color de otro organismo al algodón blanco. Esta tecnología traerá beneficios a la industria textil al reducir los costos en la etapa de teñido del algodón, la cual es de las más complejas dentro de las operaciones de procesamiento del producto (<http://english.eastday.com>).

Pionner Hi-Bred, una filial de DuPont, trabaja en el desarrollar algodones GM con fibras inecogibles e inarrugables que harían innecesarias las mezclas con fibras sintéticas como el poliéster. Igualmente adelantan investigaciones para obtener algodones de color azul utilizando un transgen de una bacteria que produce un pigmento azul (Grobman, 2003).

La biotecnología moderna constituye una gran promesa como nuevo instrumento científico para crear tecnologías agrícolas aplicadas. El aspecto clave es buscar las estrategias adecuadas para aprovechar este potencial científico en resolver los problemas agrícolas locales. 

9

Glosario

ADN (Acido desoxirribonucleico): El portador de la información genética en las células, compuesto por dos cadenas complementarias de nucleótidos organizadas en una doble hélice. Los genes están hechos de ADN y son responsables de la transferencia de la información genética de una generación a la siguiente.

Agrobacterium tumefaciens: Bacteria que origina la enfermedad de los tumores de cuello en algunas plantas. La bacteria infecta una herida de la planta e incorpora un segmento del ADN del plásmido Ti en el genoma del hospedador. Este ADN determina que las células de la planta crezcan y desarrollen una estructura de tipo tumoral donde se sintetizan opinas específicas que sólo el patógeno puede metabolizar. Este mecanismo de transferencia de ADN se utiliza en ingeniería genética de plantas.

Análisis del riesgo: Proceso que consta de tres componentes: evaluación, manejo, y comunicación del riesgo, y que se realiza para examinar la naturaleza de las consecuencias no deseadas y negativas para la salud humana y animal, y para el medio ambiente que puede desencadenar un determinado acontecimiento.

Bacillus thuringiensis: (Abr. Bt). Bacteria que produce una toxina contra ciertos insectos, en particular especies de coleópteros y lepidópteros; constituye el principal medio de lucha contra insectos en el contexto de la agricultura orgánica. Algunos de los genes de la toxina se consideran de mucha importancia en el enfoque transgénico de la protección de cultivos.

Biobalística: Técnica para generar células transgénicas en la que partículas pequeñas de un metal (tungsteno u oro) se recubren con ADN y se impulsan a velocidad suficiente para ser introducidas en células diana. El ADN suele quedar incorporado a las células, siempre que éstas no queden irreparablemente dañadas. Esta técnica se ha utilizado con éxito para transformar células animales, vegetales y fúngicas, e incluso mitocondrias dentro de las células. Sinónimo: bombardeo con microproyectiles.



Bioseguridad: Políticas y procedimientos adoptados para garantizar la aplicación segura de la biotecnología moderna.

Biotecnología moderna: Aplicación de: a) técnicas *in vitro* de ácidos nucleicos, incluyendo el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o b) fusión de células de la misma o distinta familia taxonómica. Estas técnicas que no forman parte de las empleadas en la selección y mejora tradicionales, permiten sobrepasar las barreras fisiológicas naturales, ya sean reproductoras o de recombinación (Convenio sobre la Diversidad Biológica).

Cultivar: Término aceptado internacionalmente para designar una variedad de plantas cultivadas. Debe poder distinguirse de otras variedades de su especie por determinadas características y retener sus caracteres.

DL 50: (Abr. de dosis letal media). Cantidad de una sustancia que se requiere para destruir el 50% de la población experimental. Cuanto mayor sea la DL50, menor es la toxicidad del compuesto químico en esa prueba específica.

Enzima: Proteína que cataliza reacciones químicas específicas, sin consumirse ni modificarse en la reacción.

Evaluación del riesgo: Proceso de base científica que consta de las siguientes etapas: i) identificación del peligro ii) caracterización del peligro, iii) evaluación de la exposición y iv) caracterización del riesgo.

Gen: segmento de ADN en un cromosoma que contiene la información necesaria para producir una proteína. Un gen es la unidad de la herencia biológica.

Genoma: 1. Dotación completa de material genético que contiene cada célula de un organismo. 2. Conjunto completo de cromosomas (y por lo tanto de genes) heredado de un progenitor como una unidad.

Gestión del riesgo: Valora opciones alternativas, consultando a todas las partes interesadas y teniendo en cuenta la evaluación del riesgo y otros factores relevantes. En caso necesario, selecciona las opciones de control y prevención más apropiadas.



Herbicida: Sustancia tóxica para las plantas; principio activo de los productos agroquímicos destinados a eliminar plantas no deseadas, sobre todo malezas o malas hierbas.

Ingeniería genética: Conjunto de herramientas de laboratorio que permiten aislar un gen de un organismo (donante) e integrarlo a otro (receptor).

Insecticida: Sustancia utilizada para controlar determinadas plagas de insectos, como aquellas que se alimentan de los cultivos.

Organismo genéticamente modificado o transformado por ingeniería genética: (Abr. OGM) Organismo transformado por la inserción de uno o más transgenes.

Organismo vivo modificado: (Abr. OVM) "Organismo vivo que posee una nueva combinación de material genético, obtenida mediante el uso de la biotecnología moderna." (Convenio sobre Diversidad Biológica).

Planta transgénica: Planta cuyo material genético fue transformado por medio de la adición de ADN de una fuente diferente del germoplasma parental mediante el uso de técnicas de ingeniería genética.

Recombinante: Molécula híbrida formada por el ADN obtenido de distintos organismos. Normalmente se usa como adjetivo, p. ej., ADN recombinante.

Toxina: Compuesto producido por un organismo que es perjudicial para el crecimiento o la supervivencia de otro organismo de la misma o de distinta especie.


Toxina bacteriana: Toxina producida por una bacteria, como por ejemplo, la toxina Bt de *Bacillus thuringiensis*.

Transgén: Secuencia génica aislada que se utiliza para transformar un organismo. A menudo, pero no siempre, el transgén proviene de una especie distinta a la del receptor.



Transgénesis: Introducción de uno o más genes en células animales o vegetales, lo que determina que del gen incorporado (transgén) se transmite a las generaciones sucesivas.

Transgénico: Individuo en cuyo genoma se ha integrado un transgén.

Variedad: Categoría específica de una planta de cultivo, seleccionada tomando como base su homogeneidad fenotípica (algunas veces la genotípica). 

10

Referencias



Agriculture & Biotechnology Strategies AGBIOS. 2002. Essential biosafety. CD-ROM, AGBIOS. Montreal.

Betz, F.S.; Hammond; Fuchs, R.L. 2000. Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis* protected plants to control insects' pests. *Regulatory Toxicology and Farmacology* 32: 156-173.

Berberich, S.A.; Ream, J.E.; Jackson, T.L.; Wood, R.; Stipanovic, R; Harvey, P.; Patzer, S.; Fuchs, R.L.. 1996. The composition of insect-protected cottonseed is equivalent to that of conventional cottonseed. *J. Agri. Food Chem.* 44:365-371.

Bollgard. 2001. Manual de producto. 24 p.

Cadena, T.J. 2000. Crecimiento y desarrollo de la planta de algodón y sus efectos sobre el manejo del cultivo. *In: Memoria curso manejo integrado del algodonoero, Corpoica. Valledupar.* pp. 46-57.

Calderón, A.; Roca, W.M.; Jaynes, J. 1991. Ingeniería genética y cultivo de tejidos. *In: Cultivo de tejidos en la agricultura fundamentos y aplicaciones. CIAT N° 151. Cali.* pp. 733-753.

Carpenter, J.E.; Gianessi, L.P. 2001. Agricultural biotechnology updated benefits estimates. National Center for Food and Agricultural Policy. Washington. 48 p.

Castillo, A. 2002. Suplementación de vacas lecheras con semilla de algodón genéticamente modificado. *Nuestro Agro No. 100. Argentina.* sp.

CCIA. 2005. Suministro y consumo de algodón mundial. Comité Consultivo Internacional del Algodón. 1 febrero 2005. Washington. 8p.



CONALGODÓN. Boletín del algodón. Confederación Colombiana del Algodón. Conalgodón: 1(2).

COTTONSEED OIL. 1993. National Cottonseed Products Associations, Inc. And the Cotton Foundation , Memphis. L.A. Jones and C.C. King (eds.)

Crop Life International. 2003. Marcos de seguridad de la biotecnología para manejar la liberación de organismos Vivos Modificados (OVMs) Vegetales. Bruselas. 35p.

De la Fuente, J.M. 2002. Tecnología Algodón RR. Monsanto, México. 2p.

De la Fuente, J.M. 2003. Plant biotechnology products containing two or more traits produced through conventional plant breeding. Monsanto, México.

Díaz, J. A.; Montenegro, T. H. 2002. Estimación de la distancia a la cual el polen del algodón (*Gossypium hirsutum* L.) es trasladado por polinizadores. Boletín Técnico. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 22 p.

Díaz, J. A.; Montenegro, T. H. 2003. Evaluación del efecto de la tecnología Bollgard® sobre poblaciones de artrópodos y anélidos en el algodón (*Gossypium hirsutum* L.). Boletín Técnico. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 57 p.

Federación Nacional de Algodoneros. 1990. Bases técnicas para el cultivo del algodón en Colombia. Bogotá. 704 p.

Gianessi, L.P.; Silvers, C.S.; Sankula, S.; Carpenter, J.E. 2002. Plant biotechnology: Current and potential for improving pest management in US. Ag. An analysis of 40 case studies. National Center for Food and Agricultural Policy. Washington. 75 p.

Grobman, A. 2003. Consultoría sobre biotecnología y organismos genéticamente modificados. Programa BID 1442/OC-PE. Programa de Desarrollo de Políticas de Comercio Exterior. 213 p.



Harrison L.A.; Bailey, M.R.; Taylor, M.W.; Ream, J.E.; Hammond, B.G.; Nida, D.L.; Burnette, B.L.; Nickson, T.E.; Mitsky, T.A.; Taylor, M.L.; Fuchs, R.L.; Padgett, S.R. 1996. The expressed protein in glyphosate-tolerant soybean, 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase from *Agrobacterium* sp. Strain CP4, is rapidly digested *in vitro* and is not toxic to acutely gavaged mice. *J. of Nutrition* 126: 728-740.

ICA. s.f.a. Concepto del grupo evaluador del ICA en relación con el uso de la torta de algodón Bollgard® para consumo animal. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 4 p.

ICA. s.f.b. Concepto del ICA en relación con el uso de la torta de algodón Roundup Ready para consumo animal. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 9 p.

ICA. 2003a. Resultados de los ensayos semicomerciales con la variedad Nucotn 33B con la tecnología Bollgard® en el Caribe húmedo colombiano. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 10 p.

ICA. 2003b Organismos modificados genéticamente: una alternativa tecnológica para el cultivo del algodón en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. Hoja Divulgativa.

ICA. 2003c. Evaluación de eficacia biológica de la tecnología Roundup Ready® en algodón en zonas agroecológicas de Colombia y evaluación de riesgos e impactos ambientales. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 13 p.

ICA. 2004a. Evaluación de los riesgos potenciales para introducir y comercializar semillas de algodón con las tecnologías conjuntas (Bollgard) + (Roundup Ready). Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 11 p.

ICA. 2004b. Resultados de los ensayos semicomerciales con la variedad DeltaOpal con la tecnología Roundup Ready en las subregiones naturales Caribe húmedo y seco colombiano. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 11 p.

ISAAA. 2002b. Herbicide tolerance technology: Glyphosate & Glufosinate. SeAsiaCenter. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Pockets n° 10. Manila.



- ISAAA. 2002a. Bt insects resistance technology. SeAsiaCenter. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Pockets nº 6. Manila.
- James, C. 2004. Preview. Global status of commercialized biotech/GM: 2004. ISAAA Briefs Nº 32. ISAAA: Ithaca, NY.
- Krattiger, A.F. 1997. Insect resistance in crops: a case study of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and its transfer to developing countries. ISAAA Briefs nº 2. ISAAA: Ithaca, NY. pp. 42.
- Lajolo, F.M.; Nutti, M.R. 2003. Transgénicos: bases científicas da sua segurança. São Paulo: SBAN. 112 p.
- Mendoza, O. A. 2000. Desarrollo de variedades de algodón con alto porcentaje de fibra y productividad. *In*: Memoria curso manejo integrado del algodónero, Corpoica. Valledupar. pp. 12-18
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2001. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2001. Bogotá. 209 p.
- Monsanto Agricultura España. 2002. Seguridad del algodón Bollgard® evento 531, genéticamente protegido contra las orugas de las cápsulas. Cuaderno Técnico Nº 4. Madrid. 44 p.
- Monsanto. 2001. Safety Assessment of Roundup Ready Cotton Event 1445. pp. 30.
- FAO. 2004. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2003-04. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 163 p.
- Percival, A.E.; Wendel, J.F.; Stewart, J.M. 1999. Taxonomy and germoplasm resources. *In* Cotton: origin, history, technology and production. Pp. 33-63.
- Perlak, F.J.; Oppenhuizen, M.; Gustafson, K.; Voth, R.; Sivasupramaniam, S.; Heering, D.; Carey, B.; Ihrig, R.A.; Roberts, J.K. 2001. Development and commercial use of Bollgard® cotton in the USA – early promises versus today's reality. *The Plant Journal*. 27(6):489-501.



Robinson, C. 2001. Alimentos y tecnología de modificación genética. ILSI. Bruselas. 45 p.

Rodriguez, R. M. 2000. Modernización y reactivación de la producción de algodón en la región de la costa caribe colombiana mediante la implementación de un programa integral de transferencia y adopción de tecnología. *In: Memoria curso manejo integrado del algodón*, Corpoica. Valledupar. pp. 6-11.

Saxena, D.; Stotzky, G. 2003. Fate and effects in soil of insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* in transgenic plants. ICGEB. Collection of Biosafety Reviews V. 1, 37 p.


Silva, C.C.A. 2003. Perspectivas de la utilización de cultivos transgénicos en Colombia. *In: Memorias XXIV Congreso ASCOLFI*. Armenia. pp. 43-46.

Sims, S.R.; Berberich, S.A.; Nida, D.L.; Segalini, L.L.; Leach, J.N.; Ebert, C.C.; Fuchs, R.L. 1996, Analysis of expressed protein in fiber fractions from insect-protected and glyphosate-tolerant cotton varieties. *Crop Science* 36 (5): 1212-1216.

UICN. 2004, Guía Explicativa del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. Unión Mundial para la Naturaleza. Serie de Política y Derecho Ambiental. <http://www.iucn.org/Bookstore> 318 p.

U.S. EPA. 1998. R.E.D. Facts: *Bacillus Thuringiensis* . Environmental Protection Agency (EPA) 738-F-98-001.

WHO. 1995. Application of principles of substantial equivalent to the safety evaluation of food or food components from plants derived by modern biotechnology. World Health Organization. Workshop. pp. 1-80.

WHO. 2000. Environmental Health Criteria 217: *Bacillus thuringiensis* Geneva. World Health Organization. Programme on Chemical Safety. 



Calle 90 No. 11A - 34. Oficina: 409
Teléfono: 610 - 1029 • Fax: 610 - 1247
Bogotá, D.C., Colombia
E-mail: agrobio@agrobio.org
Web: www.agrobio.org