

EL PAPEL DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD DEL ALGODÓN

Roy G. Cantrell – Vicepresidente de la División de Investigación Agrícola. Cotton Incorporated Estados Unidos

Resumen

El incremento de la población llevará a una creciente demanda de fibras textiles que ya será satisfecha por las fibras naturales como el algodón o por fibras sintéticas hechas por el hombre. Incrementar el área global de cultivo de algodón no es una alternativa sustentable para satisfacer esta demanda, así que la tecnología moderna es necesaria para maximizar la producción por hectárea de la manera más sustentable posible. La biotecnología moderna está siendo adoptada a un paso rápido por el algodón globalmente. Los agricultores se dan cuenta del beneficio del algodón biotecnológico ya sea por la reducción en los insumos o por la mejora de la productividad o por ambos. En muchos casos, las reducciones en insumos se comparan con los impactos positivos en la sustentabilidad de algodón. Los beneficios ecológicos del algodón biotecnológico están bien documentados y son significativos. La calidad de vida se mejora mediante una menor exposición de los trabajadores a los pesticidas y una reducción general en la mano de obra requerida por paca de algodón producida. El incremento en los rendimientos con la adopción del algodón biotecnológico, mientras se disminuye los costos de pesticidas ha mejorado dramáticamente la rentabilidad en muchas regiones de cultivo en el mundo. El impacto y velocidad de la adopción del algodón biotecnológico muy probablemente se acelerarán en los países en desarrollo y en las pequeñas propiedades de tierra, debido a las mejoras significativas potenciales para la sustentabilidad. Los pilares para los sistemas de producción sustentable permanecen, como la rotación de la cosecha, control de plagas integral (IPM por sus siglas en inglés), y uso de múltiples o prácticas alternas de tecnología. La integración cuidadosa del algodón biotecnológico en sistemas IPM probados y mejores prácticas culturales serán la ruta más probable para mejorar la sustentabilidad. Para lograr esta sustentabilidad es esencial que el algodón biotecnológico se vea como un componente importante en un sistema de cultivo integrado.

Introducción

La creciente población mundial y los cambios en los patrones de consumo contribuyen al crecimiento anual de la demanda total de la fibra textil de 3 a 4 % anual. Una creciente porción de esta demanda está siendo satisfecha por las fibras sintéticas hechas por el hombre. La producción de fibras sintéticas puede simplemente acelerar la producción con la construcción de más plantas químicas, como sucedió en la década pasada. El área de cultivo para la producción de algodón se ha limitado de 30 a 35 millones de hectáreas desde 1974 y es muy poco probable que se incremente significativamente para satisfacer esta demanda. Por otro lado la agricultura y la erosión son las amenazas constantes para los campos de algodón existentes en ciertas regiones del mundo. En este contexto la preocupación por el medio ambiente es legítima y debe verse desde la perspectiva

de la sustentabilidad. El reto de la sustentabilidad en la producción del algodón es única comparada con otras cosechas ya que claramente hay un producto que compite o fibra textil producida químicamente de componentes sintéticos, con frecuencia productos hechos de petróleo. Si un suministro global disponible de algodón no se cultiva de una manera confiable, será desplazado por las fibras sintéticas hechas por el hombre. Este no es un reto para las otros *commodities* agrícolas.

La sustentabilidad es un concepto que es mal entendido y mal usado por muchos. La sustentabilidad del algodón no puede mejorarse enfocándose en un solo aspecto de la producción del algodón. Involucra el sistema de producción agrícola de sistemas de cosechas y animales completo. Hay una gran diversidad entre plantíos y productores en todo el mundo. Los ambientes de cultivos y los retos biológicos para la producción del algodón difieren dramáticamente. La producción del algodón sustentable trata de lograr tres objetivos:

- Afectar el medio ambiente de una manera positiva
- Ser económico y rentable
- Y mejorar la calidad de fibra

Cuando estos objetivos se cruzan, el efecto neto se acerca a lograr la sustentabilidad (Cantrell 2006). Este concepto de sustentabilidad es muy útil al comparar sistemas agrícolas alternativos. Las diferencias son relativas y no absolutas. La producción de algodón sustentable debe:

- Satisfacer la creciente demanda de fibra y alimentos de hoy para el mañana.
- Mantener un recurso ambiental y natural base en la que depende la economía agrícola.
- Sostener la posibilidad económica de las operaciones agrícolas.

El comercio detallista y las marcas han traído una atención considerable a la sustentabilidad, con frecuencia asociada con la discusión del algodón orgánico. Desafortunadamente, muchos todavía ignoran o evaden los beneficios ambientales de la tecnología moderna, como la biotecnología. Los modernos avances de la biotecnología ofrecen una oportunidad considerable para dirigirse al mejoramiento de la sustentabilidad del algodón. La sustentabilidad no se puede lograr si se niega a los productores de algodón el acceso a las herramientas de la nueva tecnología. La sustentabilidad es igualmente inalcanzable si se ve la biotecnología como una solución milagrosa y reemplaza los pilares clave, como un control integral de plagas o variedades adaptadas. La biotecnología debe ser considerada como parte de los sistemas tecnológicos interdependientes y convergentes.

El 2005 se marcó como el décimo aniversario de la comercialización de las cosechas biotecnológicas. La Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de

las Naciones Unidas en 1992 afirmó que la biotecnología “promete hacer una contribución significativa al permitir el desarrollo de, por ejemplo, mejor cuidado de la salud, promover la seguridad alimentaria a través de prácticas agrícolas sustentables, mejores suministros de agua potable, procesos de desarrollo industrial para la transformación de materias primas de un modo más eficiente, apoyo de métodos sustentables de forestación y la destoxificación de desechos peligrosos”. El número de países productores que aprobó las cosechas biotecnológicas (algodón, maíz, soya y canola) llegó a 21 en 2005. Catorce de estos países tienen áreas de cultivo con cosechas biotecnológicas mayores de las 50,000 hectáreas. 90% de los agricultores que cultivan estas cosechas de los países desarrollados, estaban escasos de recursos. (Clive James, 2005 “Estado Global de las Cosechas Transgénicas Comercializadas: 2005” ISAAA Breviario No. 34 Ithaca, NY). Los productores de algodón han adoptado la biotecnología a un paso más rápido que los agricultores de otros productos. Diez países, representando cerca del 60% del área global de la producción de algodón, permiten actualmente el cultivo del algodón biotecnológico: Argentina, Australia, Brasil, China, Colombia, India, Indonesia, México, Sudáfrica y los Estados Unidos. En la temporada de cosecha del 2005/2006 se estima que el 29% del área global de la producción de algodón se siembra con variedades conteniendo pruebas biotecnológicas, como los resistentes a los insectos o los herbicidas. Esto constituye casi el 37% del total de pacas producidas globalmente y casi el 38% de todas las pacas exportadas. (ICAC, 2006) En los Estados Unidos durante el 2006, Fernández-Cornejo (2006) estima que el 83% de los acres sembrados se cultivan con algodón biotecnológico.

Las innovaciones biotecnológicas de algodón se han enfocado en las características de los insumos. Estos están desarrollados con el fin de reducir los insumos de los productores. El algodón resistente a los insectos (IR) contiene un gene o genes para controlar los insectos Lepidopteron mientras que el algodón resistente a los herbicidas contiene genes que protegen a la planta contra los herbicidas de amplio espectro. Ahora hay variedades disponibles que contienen múltiples características (IR y HR). La investigación biotecnológica que se está llevando a cabo incrementa las características de los resultados mejorando al algodón sustentable: como el desarrollo agrícola, calidad de fibra, tolerancia al stress abiótico y la reducción del gossypol en la semilla. El objetivo de este trabajo es discutir el papel de las pruebas biotecnológicas presentes y futuras para mejorar la sustentabilidad del algodón. El enfoque debe ser en el impacto de cada uno de los componentes de la sustentabilidad: el medio ambiente, calidad de vida y rentabilidad.

El algodón biotecnológico y el medio ambiente.

Este ejemplar incluye dos debates críticos: el beneficio del algodón biotecnológico al medio ambiente comparado con el riesgo de la seguridad del medio ambiente o falta de daño. El algodón biotecnológico comparado con su contraparte el algodón convencional ha llevado a reducciones significativas en el uso de pesticidas en países donde se ha adoptado. Esta reducción en el consumo de pesticidas y en las pérdidas de rendimiento por las plagas que son los principales objetivos de los

algodones IR Y HR. La cantidad de la reducción de pesticidas y las ganancias en el rendimiento que las acompañan varían grandemente con el medio ambiente y la presión de las plagas junto con su compleja mezcla. Los efectos del algodón biotecnológico relativo a su contraparte convencional han sido estudiados extensivamente en pequeñas pruebas de investigación experimental y mayormente analizando los sistemas a escala en los sembradíos. Un repaso exhaustivo de los cambios en los patrones de los pesticidas relacionados con el algodón biotecnológico fue presentado por Carpenter et al "Impactos Ambientales Comparativos de la Biotecnología derivada y las Cosechas de Algodón, Soya y Maíz", Consejo de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Junio 2002.

El más grande impacto de la adopción del algodón IR en los Estados Unidos es la reducción en el uso de insecticidas. Para seis de los estados en los EUA, el uso de insecticidas para las plagas atacadas por el algodón IR disminuyó en 1.2 millones de kg. entre 1995, el año anterior al que el algodón IR fue introducido, y 1999 (Carpenter y Gianessi, 2001). Esto representa una reducción de casi 14% en los primeros años de la adopción de esta tecnología, lo que significa casi 15 millones de menos aplicaciones de pesticidas en estos seis estados. Se observó que esos tratamientos sobre otros insectos incrementan la superficie del algodón IR. Las plagas secundarias con frecuencia emergen en el algodón IR con la reducción del uso de los insecticidas de amplio espectro. Sin embargo, la reducción en los tratamientos de las plagas atacadas por el algodón es mayor que el mayor número de aplicaciones para las plagas secundarias. El uso reducido de pesticidas puede disminuir significativamente su efecto en la calidad de agua a través de la fuga de agua y los residuos filtrados en la superficie y el agua del subsuelo. El agua filtrada de los campos de EU plantados con algodón IR estuvo virtualmente libre de insecticidas durante un estudio de cuatro años del Departamento de Agricultura de los EUA (ISAAA, 2004). Una gran evaluación de 2 años a nivel de plantíos del algodón IR con 81 campos comerciales en Arizona demostró una reducción del 40% del número de las aplicaciones del algodón IR relacionadas a las variedades convencionales (Cattaneo et al 2006). Además de este beneficio, se tuvo un beneficio en el rendimiento de 8.6% con el algodón IR. El reemplazo de los insecticidas de amplio espectro con el algodón IR tuvo un efecto muy positivo en la biodiversidad, incluyendo a los insectos benéficos que no son su blanco.

Qaim y Ziberman (2003) reportaron que los híbridos de algodón IR redujeron las necesidades de insecticidas por un 70% en India con relación a los híbridos convencionales mientras aumentaban el rendimiento en casi un 80%. La India ha adoptado rápidamente la tecnología IR en años recientes. En el 2006, 1.3 millones de hectáreas fueron plantadas con algodón IR de un total de 8.8 millones de la cosecha de algodón. Se ha proyectado que la superficie con algodón biotecnológico aumente a casi 3.2 millones de hectáreas en 2007 o aproximadamente un tercio del área total de algodón en la India. El algodón biotecnológico fue comercializado por primera vez en China en 1997. El área total de algodón IR cultivado en 2005 se estima que fue 3.3 millones de hectáreas o

sea 60% del total del área de algodón. Esto significa casi 7.5 millones de agricultores están sembrando algodón biotecnológico en China solamente. Esta tecnología ha resultado en una reducción en el uso de pesticida de 15,000 toneladas o de un 60 a 80 por ciento. (Prey et al. 2002)

El impacto ambiental se comunica comúnmente como un cambio en la cantidad de pesticidas aplicados o el número de aplicaciones en un sistema de producción. Una medida más robusta de las cosechas biotecnológicas es el coeficiente del impacto ambiental (EIQ por sus siglas en inglés) propuesto por Kovach et al (1992). El EIQ está basado en la toxicidad clave y los datos de la exposición al medio ambiente relacionados a un pesticida individual, que al aplicarse impacta en los trabajadores, consumidores y la ecología. Este proporciona un valor de campo individual multiplicando el EIQ por la cantidad del ingrediente activo de pesticida (ai) aplicado por hectárea. Es casi imposible tomar en consideración todos los asuntos ambientales y sus impactos, así que este valor es más usado para comparar los sistemas de producción que como un valor absoluto. Bookes y Barfoot (2005) usaron el EIQ para estimar el impacto del algodón biotecnológico en el uso de herbicidas e insecticidas del algodón biotecnológico cultivado globalmente de 1996 a 2004 (Tabla 1). Las ganancias para el algodón IR fueron las mayores de cualquier cosecha por hectárea. Los productores de algodón han usado 77 millones de kg. menos de insecticidas en el algodón IR para una reducción total de 15% desde 1996. Esta dramática disminución ha resultado en un 17% de reducción en el cociente ambiental. La disminución más dramática en el impacto ambiental del algodón biotecnológico ha ocurrido en los Estados Unidos, Australia y China (Tabla 2). Esto no es sorprendente, ya que estos fueron los primeros países en adoptar esta tecnología.

Tabla 1. Cambios en el uso de pesticidas debido a la adopción del algodón biotecnológico globalmente de 1996 a 2004 (Bookes y Barfoot 2005)

Prueba	Cantidad de pesticida (millones de kg.)	Cambio en pesticida (ai) %	Cambio en EIQ %
Algodón HT	-24.7	-14.5	-21.7
Algodón IR	-77.3	-14.7	-17.4

Tabla 2. Cambio en EIQ para países seleccionados asociados con la adopción del algodón biotecnológico de 1996 a 2004 (Brookes y Barfoot, 2005).

País	Algodón HT % de reducción en EIQ	Algodón IR % de reducción en EIQ
Estados Unidos	23	20
Argentina	n/d	6.4
Sudáfrica	5	n/d
China	n/d	28
India	n/d	2.1
Australia	3	21.2

n/d datos no disponibles

La adopción del algodón HR ha llevado a incrementos significativos en la superficie cultivada con labranza de conservación. El impacto ambiental de la labranza de conservación está bien documentado. El uso de la labranza de conservación reduce la erosión del suelo provocado por el viento y el agua, incrementa la capacidad del suelo de retener agua, reduce la degradación del suelo, reduce las filtraciones de agua y químicos y secuestra el CO₂ en la biosfera terrestre. El algodón HR ha expandido el uso de las prácticas de la labranza de conservación en los Estados Unidos en aproximadamente un 60% del total del área de algodón cultivada (USDA- NASS, 2004). Dependiendo región y las condiciones del clima, las prácticas de labranza de conservación varían. El Centro de Información de la Labranza de Conservación estima que las superficies sin arar se incrementaron casi en un 400% de 1996 – 2004 en los Estados Unidos. Los ahorros de combustible y mano de obra con el cultivo del algodón HR en los Estados Unidos se acercaron a casi 48 millones de dólares en el 2004 (Sankula et al. 2005). Setenta y nueve por ciento de los productores de algodón encuestados por el Grupo de Investigación Doane respondieron que los cultivos de HR fueron la razón principal para este incremento en la producción del algodón sin labrado de tierra.

La reducción de la labranza o los sistemas sin ella pueden jugar un papel significativo al mitigar los efectos del calentamiento global secuestrando el carbón en los residuos de la cosecha y reduciendo las emisiones de CO₂ en la atmósfera. La cantidad de carbón secuestrado, varía desde luego por el tipo de suelo, sistema de cultivo y la eco-región. En Norte América, la Comisión Internacional para el Cambio Climático estima que los sistemas sin arado ahorran 300 kg. carbón/ha¹, reduciendo los sistemas de labranza ahorran 100 kg. carbón/ha¹, y los sistemas de labranza convencional entregan una carga de 100 kg. carbón/ha¹. (Brookes y Barfoot, 2005). Los ahorros de CO₂ global resultantes del impacto del algodón biotecnológico se estiman en 61 millones de kg. para el periodo 1996 – 2004 o una cantidad equivalente a quitar 27,111 automóviles del camino.

Claramente, para que el algodón biotecnológico contribuya a la sustentabilidad debe haber un riesgo mínimo de dañar al medio ambiente. Un sistema regulador transparente, riguroso y coordinado debe ponerse en práctica para probar los riesgos ecológicos posibles más allá de la seguridad en los alimentos, como son:

- Flujo de genes o el escape a especies relacionadas.
- Un programa de control de la resistencia de las plagas atacadas.
- Impacto en los organismos no atacados.
- Ya sea que el algodón biotecnológico persista en el ambiente, especialmente más tiempo que el usual o invada nuevos habitats.

La valoración es conducida rutinariamente por los desarrolladores de la biotecnología, cuerpos reguladores gubernamentales, científicos académicos de acuerdo a los principios desarrollados por los espectros ambientales alrededor del mundo (OECD, 1992 Consideraciones de Seguridad para la Biotecnología, Paris 50pp). Los riesgos varían dramáticamente de región a región y se debe desarrollar específicamente a una región geográfica. El proceso de regulación, aprobación y monitoreo para las pruebas biotecnológicas debe ser riguroso, transparente y continuo durante la vida de la tecnología. Numerosos países han desarrollado y reforzado estructuras de valoración para el riesgo de la bioseguridad. Parece haber una pequeña duda de que los productos de la biotecnología moderna son los más rigurosamente evaluados de cualquier otra tecnología introducida alguna vez. (Fitt et al, 2004)

El algodón biotecnológico y la calidad de vida.

El componente de la sustentabilidad con respecto a la “calidad de vida” con frecuencia se pasa por alto o se atenúa. Esto es, en parte, debido a la gran variedad de diferencias culturales y regionales bajo las que se cultiva el algodón. Las dos áreas más obvias de impacto son las mejoras en la seguridad de la salud de los humanos con la reducción del uso y exposición a los pesticidas y la reducción en la mano de obra. China y Sudáfrica son la más dramática evidencia de los beneficios en la salud humana por la adopción del algodón IRA. La evidencia reciente en China demuestra la ventaja directa en la salud humana del algodón derivado de la biotecnología entre los productores. Se redujeron significativamente las incidencias de los síntomas de envenenamiento con pesticidas entre quienes sembraron algodón Bt comparado con los agricultores de las variedades tradicionales (Huang et al 2001). Se estima que hay una reducción de las aplicaciones por rocío de por lo menos 80% para el control del pulgón del algodón. Los beneficios podrían ser similares o mayores para los países de bajos recursos donde los pequeños agricultores usan tecnologías de aplicaciones de pesticidas inadecuadas (Fit et al. 2004). La sustentabilidad, medida en términos de calidad de vida, ciertamente es afectada por la disponibilidad de suministro de alimentos. La biotecnología está progresando rápidamente con las herramientas para disminuir el gopipol en la semilla de algodón mientras que mantiene sus niveles en otras partes del tejido de la planta. Actualmente este terpenol cardio y

hepatóxico, presente en las glándulas, vuelve a la semilla de algodón peligrosa para el consumo humano y los animales monogástricos. Esto transformará a la semilla de algodón en una fuente de alimentación viable. Los 44 millones de toneladas métricas (TM) de semilla de algodón (9.4 millones de TM de proteína disponible) producida cada año podrían satisfacer los requerimientos de 500 mil millones de personas durante un año (50g/día) si la semilla fuera segura para el consumo humano. Así que una semilla de algodón libre de gopipol contribuiría significativamente a la nutrición y salud humanas, particularmente en los países en desarrollo y podría satisfacer los requerimientos de salud del 50% del incremento de la población proyectada en los próximos 50 años.

La reducción en mano de obra con frecuencia resultante de la adopción del algodón biotecnológico. Menos mano de obra para las aplicaciones del control de plagas se puede trasladar en una sustentabilidad mejorada. Si existen las oportunidades en las comunidades para la educación, desarrollo económico y empleo. El exceso de mano de obra es particularmente no aceptado socialmente si se necesita mano de obra infantil. Es injusto culpar a la biotecnología de potencialmente desplazar a los trabajadores. Si las condiciones socioeconómicas requieren la mano de obra y los beneficios del flujo se bloquean, entonces la situación debe verse como la “subsistencia del campo” a corto plazo. La sustentabilidad se puede alcanzar, pero requiere un cambio socioeconómico a gran escala más allá del campo de la biotecnología agrícola. Es difícil imaginarse un sistema de producción sustentable que tiene como objetivo mantener la mano de obra necesaria para producir una paca o más aún incrementar los requerimientos de mano de obra. Esta es una medida para el crecimiento económico y una sobredependencia de la agricultura para el empleo eventualmente llevará a un ciclo de subsistencia del plantío. El algodón biotecnológico se integra con otra tecnología, como la cosecha y la siembra mecánica para acelerar la disminución en los requerimientos de mano de obra por paca de algodón producido. Mejoramientos simultáneos en la productividad y la reducción de los insumos de mano de obra han contribuido a una situación en los Estados Unidos, donde toma aproximadamente 3 horas de mano de obra producir una simple paca de algodón comparado con las 25 horas que tomaba antes de la introducción del algodón biotecnológico (USDA-NASS 2004). Estrictas leyes sobre el salario mínimo y la reforma migratoria que afectan la disponibilidad de trabajadores han provocado esta disminución. La velocidad de la reducción en los requerimientos de mano de obra varía dramáticamente con las condiciones locales.

La biotecnología del algodón y la rentabilidad económica.

Los productores de algodón son llevados por la búsqueda implacable de la disminución de los costos de los insumos mientras maximizan la productividad. El papel que el algodón biotecnológico juega en la rentabilidad determinará el punto en el que contribuye a la sustentabilidad. Recientes estudios económicos han reportado muy variables y con frecuencia positivos rendimientos económicos atribuibles a la adopción de la biotecnología. El nivel de distribución de los beneficios económicos se determina por la capacidad de investigación nacional,

los derechos de propiedad intelectual y los mercados de los resultados agrícolas como la biotecnología en sí misma.

Estados Unidos fue el primero en adoptar el algodón biotecnológico, varias encuestas han demostrado que los productores están logrando mayores rendimientos con el algodón IR y consiguiendo mayor rentabilidad. El promedio de incremento en los rendimientos netos de 5 estudios en 7 estados comparando el algodón IR con el algodón convencional fue de \$8.42 USD/ha, tomando en consideración los costos de la tecnología. El incremento promedio en el rendimiento fue de 9%. Con estas ganancias en rendimientos e ingresos, el beneficio proyectado del algodón IR en los Estados Unidos fue de \$ 99 millones de dólares solamente en 1999 (Carpenter y Gianessi, 2001). La nueva generación del algodón IR con genes alineados podría proporcionar ingresos económicos adicionales. En 2004, los ingresos netos del agricultor en los Estados Unidos por la siembra del algodón IR con genes alineados se estimó en \$ 13.7 millones de dólares. La ventaja económica fue de \$ 28.70 dólares y \$ 4.23 dólares por hectárea, respectivamente, comparado al algodón convencional y el algodón IR de un solo gen (Sankula et al 2005; Mullins et al 2005).

Raney (2006) resume los resultados del estudio más completo de los impactos a nivel de plantío del algodón IR en los países en desarrollo (Tabla 3). Resultados positivos reales se demuestran a pesar de la gran variación temporal y espacial. Los agricultores que cultivan algodón biotecnológico (IR) experimentaron rendimientos efectivos más altos debido a menores daños en las plagas de los insectos atacados. Esto acompañado con más altos ingresos y los costos reducidos de pesticidas. El costo mayor de la semilla de algodón IR se compensó con estos factores.

Tabla 3. Ventaja de desempeño del algodón IR sobre el algodón convencional expresado como porcentaje (Raney, 2006).

Ventaja de desempeño sobre el algodón convencional

	Argentina	China	India	México	Sudáfrica
Rendimiento	33	19	34	11	65
Ingreso	34	23	33	9	65
Costos de pesticidas	-47	-67	-41	-77	-58
Costos de semillas	530	95	17	165	89
Ganancia	31	340	69	12	299

En el 2005, la India experimentó el crecimiento anual proporcional más alto de una cosecha biotecnológica globalmente con el algodón IR expandiéndose a 160 por ciento. Aproximadamente, 1.3 millones de hectáreas fueron sembradas con híbridos de algodón IR por más de un millón de agricultores (ISAAA, 2006). El cultivo a gran escala de algodón IR en la India ha sido el enfoque de una estrecha

vigilancia y debate. ICAR ha conducido pruebas de campo en varias locaciones para un análisis de costo beneficio del algodón IR. Los incrementos en el rendimiento, en relación a las revisiones locales y nacionales, fueron de 62 a 92% (Tabla 4). La ventaja en el ingreso bruto promedió 67% al ajustarse con los costos de la semilla. La ventaja económica del algodón IR fue entre \$ 105.2 dólares/ha y \$ 231.9 dólares/ha (ISAAA, 2002, Tabla 4). A medida que la superficie del algodón IR se expande en la India, más datos a nivel de plantíos están surgiendo más que a nivel de terreno (APCoAB, 2006, Tabla 5). Las abrumadoras ganancias en el rendimiento con frecuencia compensan los altos costos de las semillas, y la reducción en el uso de pesticida está sobre el 70% comparado con los híbridos de algodón convencional.

Tabla 4. Desempeño de los híbridos de algodón IR en las pruebas de campo ICAR en la India (ISAAA, 2002 y APCoAB, 2006).

Variedad/Híbrido	Rendimiento	Ingreso Bruto	Costo de Insecticidas	Costos Adicionales de Semillas	Ingreso Neto
	c/ha	\$/ha	\$/ha	\$/ha	\$/ha
MECH - 12 Bt	11.67	477.4	39.3	55.1	383.0
MECH -162 Bt	13.67	559.2	32.1	55.1	472.0
MECH - 184 Bt	14.00	572.7	32.1	55.1	485.5
Registro local	8.37	342.4	64.7	-	277.8
Registro nacional	7.31	299.1	45.5	-	253.6

Tabla 5. Desempeño del algodón IR en 9,000 plantíos en 2002 y 2003 en Maharashtra (Bennett et al. 2004).

Tipo de Híbrido	Roños para el Control del Gusano del Algodón		Rendimiento negativo al algodón no Bt		Margen Bruto
	2002	2003	2002	2003	2003
Algodón IR (Bt)	1.44	0.71	45%	63%	US\$ 1156.90
No Bt	3.84	3.11	-	-	US\$ 665.40

El consumidor se puede beneficiar de la tecnología moderna, así como los agricultores, los proveedores de semilla y los de tecnología. Los desarrolladores de biotecnología y las compañías que comercializan la semilla se benefician al cambiar las cuotas y las primas de semillas a quienes adoptan las variedades modernas. Los Consumidores en los Estados Unidos y fuera de ese país pueden

beneficiarse indirectamente de las cosechas biotecnológicas con menores precios de los “commodities” que resultan de una mayor oferta. El USDA-ERS estimó el beneficio total del mercado resultante del algodón BT y el tolerante a los herbicidas (HT) (Price et al. 2003) El beneficio total estimado con el algodón HT fue de \$ 230 millones de dólares en 1997. Este estimado incluye el cambio total en el bienestar tanto en los mercados de insumos de las semillas y los mercados de los “commodities”. Sorprendentemente, la adopción del algodón HT beneficia principalmente al consumidor, con una participación de los consumidores de un 57 por ciento.

Los retos para el mejoramiento de la sustentabilidad con el algodón biotecnológico.

La evolución de la resistencia de las plagas atacadas (maleza o insectos) es uno de los mayores retos del uso sustentable del algodón HT o IR. Un sistema de control “caso por caso” es crítico para la sustentabilidad de la tecnología. Afortunadamente, la resistencia no se ha desarrollado en los insectos atacados a escala de plantíos para el algodón IR que ha sido cultivado en grandes áreas en algunos países por casi 10 años. La utilización de un sistema de control de resistencia en sistemas de cultivos específicos y huéspedes alternativos de los insectos atacados ha contribuido a este éxito. Un refugio específico se ha utilizado efectivamente como estrategias de control de la resistencia, junto con sistemas de genes alineados, para retrasar el desarrollo de está.

El surgimiento de ciertas plagas de insectos secundarios puede erosionar los beneficios del algodón IR como lo demostró Wang et al (2006) en China. Un refugio apropiado y programas que eduquen sobre la amenaza de las plagas secundarias son necesarios para un desarrollo sustentable de la tecnología IR. Está haciendo falta el conocimiento de un control efectivo y las estrategias IPM para ciertas plagas secundarias, así como la investigación en esta área. Las estrategias deberían ser llevadas por los gobiernos, las agencias de investigación y los proveedores de tecnología en una base regional para minimizar la carga en los agricultores locales.

Se han encontrado problemas con ciertas hierbas que desarrollan niveles de resistencia de moderados a altos al glifosato en los campos de algodón HT en los Estados Unidos, y especialmente en los sistemas de producción con reducción de labranza. Por lo menos dos especies de hierbas han documentado la resistencia al glifosato en áreas aisladas de la parte Sudeste y la parte media alta de los Estados Unidos (Encuesta Internacional de las Hierbas Resistentes a los Herbicidas, <http://www.weedscience.org>). El riesgo del algodón HT y posiblemente del algodón IR, es ver a la biotecnología como una “bala de plata”. Esto puede llevar a la erosión de los pilares de los sistemas de producción sustentable; como la rotación de la cosecha, un sistema integral de control de plagas y el uso de tecnologías alternativas o múltiples. La integración cuidadosa del algodón biotecnológico en los sistemas IPM probados (FAO, 2002) y las mejores prácticas culturales serán la ruta más probable una sustentabilidad mejorada.

La sustentabilidad del algodón biotecnológico está en peligro debido a que la tecnología no siempre está disponible en los germoplasmas adaptados localmente. La cantidad de tiempo y el costo de la integración de las pruebas biotecnológicas en los cultivos e híbridos locales, además de los derechos de propiedad intelectual exacerban este problema. La nueva tecnología, como los productores de DNA, se está aplicando para el desarrollo de algodón biotecnológico que pueda reducir el tiempo de la integración de una prueba para preservar mejor el antecedente genético de la plaga atacada para una adaptación local. A medida que emerge más información en el genoma del algodón, estas herramientas para la selección de una marca asistida estarán disponibles abiertamente a través de los esfuerzos de la crianza de un germoplasma convencional y serán desplazados en la era del algodón biotecnológico. Es esencial para la sustentabilidad que el algodón biotecnológico se vea como un importante componente de un sistema de cultivo integral.

Referencias

APCoab (2206) Algodón Bt en la India – Un reporte de su estado. Consorcio de Biotecnología Agrícola en Asia Pacífico. Nueva Delhi, India p. 34.

Bennet, RM, Ismael, Y. Kambhampati, V. y Mores, S. (2204) Prospectos para la tecnología del algodón Bt en la India. AgBioForum 7:96-100.

Brookes G. y Barfoot, P (2005) Cosechas GM : El Impacto económico y ambiental global – Los nueve primeros años 1996 -2004. AgBioForum 8(2&3): 187 – 196.

Cantrell, RG (2006) Un enfoque en la sustentabilidad. Conferencia de Ingeniería de Selección de Fibra, Junio 2006 (<http://www.cottoninc.com/Sustainability/FocusonSustainability>).

Carpenter, J. Felsot, A. Goode, T. Hamming, M, Onstad, D. y Sankula S (2002) Impactos ambientales comparativos de las cosechas derivadas de la biotecnología y tradicionales de soya, maíz y algodón. Consejo de Ciencia y Tecnología Agrícolas (CAST), Ames, IA. Pp198. Junio, 2002.

Carpenter, J. y Gianessi, LP (2201) Biotecnología agrícola: Actualización de los beneficios estimados. Centro Nacional para las Políticas de Alimentos y Agricultura, Washington, DC. Pp 46 (<http://www.ncafap.org>).

Cattaneo, MG Yafuso, C. Schmidt, C, Huang, C, Rahman, M, Olson, C, Eilers-Kirk, C, Orr, GJ. Marsh, ES, Antilla, L. Dutilleul, P, y Carriere, Y (2006) Evaluación a escala de plantíos de los impactos del algodón transgénico en la biodiversidad, uso de pesticidas y rendimiento. Proc. Natl. Adad. De Ciencia 103(20): 7571-7576.

FAO (2202) Código internacional de conducta en la distribución y uso de pesticidas.

<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/Code/PM> Code. htm (Adoptado por la Ciento Veinte Sesión del Consejo de la FAO en Noviembre 2002).

Fernández-Cornejo, J. (2006) Adopción de las cosechas genéticamente modificadas en los Estados Unidos. Datos del Producto. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Investigación Económica. [http://www-ers-isad-gpv\(Data/BiotechCrops/](http://www-ers-isad-gpv(Data/BiotechCrops/). Junio 2006.

Fit GP, Wakelyn PJ, Stewart JM Roupakias D, Pages J, Giband M, Zafar Y, Hake K, y James C (2004) Reporte del Segundo Panel Experto en la Biotecnología del Algodón. Comité Consultivo Internacional del Algodón (ICAC), Washington, DC, USA, Nov. 2004.

Huang, J, Roxelle, S, Pray, C, y Wang, Q (2001) La siembra biotecnológica en China. *Ciencia* 295:674-678.

Kovach, J. Petzoldt, C, Degni, J. y Tetti, J (1992) Un método para medir el impacto ambiental de los pesticidas. *Boletín de las Ciencias del Alimento y la Vida de Nueva York*. Geneva. NY:NYS Estación de Agricultura Experimental, Universidad de Cornell, (<http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/>).

Mullins, W. Pitts, D, y Coats, B (2005) Comparaciones hermanas de Bolgard II vs. Bolgard y algodones no Bt 2005. Beltwide Cotton Conference. pp 1822 – 1824

Pray, C, Huang, J, Hu, R, y Rozelle, S (2002) Cinco años de algodón Bt en China – los beneficios continúan. *Plant J* 31:423-430.

Price, GK, Lin, W, Falck-Zepeda, Jb, y Fernández-Cornejo, J (2003) El tamaño y distribución de los beneficios del mercado con la adopción de la biotecnología agrícola. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Investigación Económica. *Boletín Técnico* No. 1906. Nov. 2003.

Qaim, M. y Ziberman, D. (2003) Efectos de los rendimientos de las cosechas genéticamente modificadas en los países en desarrollo. *Ciencia* 299:900-902.

Raney, T (2006) Impacto económico de las cosechas transgénicas en los países en desarrollo. *Opinión actual sobre la biotecnología* 171:1-5.

Sankula, S, Marmon, G, y Blumenthal, E (2005) Cosechas derivadas de la biotecnología sembradas en 2004 – Impactos en la agricultura de los Estados Unidos. Centro Nacional de las Políticas para los Alimentos y la Agricultura. (<http://www.ncfap.org/whatedo/pdf/2004biotechimpacts.pdf>), diciembre 2005.

Wang, S, Just, DR, y Pinstrip-Anderson, P (2006). Deslustrando las balas de plata: Adopción de la tecnología Bt, vinculada racionalmente y el comienzo de las infestaciones de plagas secundarias en China. Junta Anual de la Asociación Americana de Economía Agrícola, Long Beach, CA, Julio 22- 26, 2006.