

Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón

Environmental effects of agrochemicals and agricultural machinery in transgenic and conventional crops cotton

Giovanni Reyes¹, Alejandro Chaparro-Giraldo², Kelly Ávila³

Resumen

La producción de alimentos se basa en el uso de diferentes tecnologías agrícolas, que pueden derivar en conflictos entre medioambiente y agricultura. Es significativo estudiar el impacto ambiental de las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, la más importante de las cuales es la transgénesis. Este trabajo se realizó en la zona algodonera del municipio del Espinal, departamento del Tolima, para la cosecha de algodón del primer semestre de 2009, usando las metodologías de Brookes y Barfoot (2006) y Kovach y colaboradores (1992). Se estudió el efecto ambiental de la aplicación de agroquímicos y el uso de maquinaria agrícola en cultivos de algodón transgénico y convencional. Se recogió información mediante encuestas en veinte fincas productoras de algodón. El análisis de las encuestas se realizó de forma descriptiva, determinando diferencias de tipo cuantitativo y cualitativo para los predios que utilizan la tecnología convencional o la tecnología transgénicas (doble gen, Bt/RR), para luego realizar una correlación con el “Environmental Index Quotient” (EIQ). No se encontraron diferencias entre el EIQ de campo de las dos tecnologías, aunque la tecnología transgénica tiene ventajas ambientales en el control de algunas plagas de lepidópteros. En relación con el uso de maquinaria agrícola, se encontró que la tecnología convencional genera menor liberación de CO₂, gas de efecto invernadero. La metodología de Brookes y Barfoot puede adaptarse para estudios comparativos de tecnologías agrícolas en países tropicales.

Palabras clave: algodón, cultivos transgénicos, efectos ambientales, maquinaria agrícola, emisiones CO₂, EIQ.

Abstract

Food production is based on the use of various agricultural technologies, which can lead to conflicts between environment and agriculture. It is important to study the environmental impact of new technologies applied

1 Ingeniero Agrónomo. Magíster en Ciencias Ambientales, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Grupo de Ingeniería Genética de Plantas, Universidad Nacional de Colombia. bluederek96@hotmail.com

2 Profesor Asociado, Ph D. Departamento de Biología e Instituto de Genética, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Director grupo de Ingeniería Genética de Plantas. achaparro@bt.unal.edu.co

3 Bióloga. Magíster en Ciencias Ambientales, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Grupo de Ingeniería Genética de Plantas, Universidad Nacional de Colombia. kavilamendez@gmail.com

to agriculture, the most important of which is transgenesis. This work was carried out in the cotton belt of the town of Espinal, Tolima Department for the cotton crop in the first half of 2009, through methodologies Brookes & Barfoot (2006) and Kovach et al (1992). We studied the environmental impact of pesticide application and use of agricultural machinery for cultivation of transgenic and conventional cotton. Information was collected through surveys of 20 farms producing cotton. The analysis of the survey was conducted descriptively, by determining differences in quantitative and qualitative for the sites that use conventional technology, and transgenic (Bt gene and double RR / RR), and then make a correlation with the Environmental Index Quotient (EIQ). No differences were found between the fields EIQ the two technologies, although transgenic technology has environmental advantages in the control of some lepidopteran pests. In connection with the use of agricultural machinery, was found to conventional technology generates less release of CO₂, greenhouse gas. The Brookes and Barfoot methodology could be adapted in comparative studies of agricultural technologies in tropical countries.

Key words: Cotton, transgenic crops, environmental effects, agricultural machinery, CO₂ emissions, EIQ.

Recibido: agosto 19 de 2010

Aprobado: noviembre 5 de 2010

Introducción

Las sustancias químicas, o sus productos de degradación, siempre tienen un impacto en menor o mayor grado en el ambiente. Dentro de los problemas que pueden presentar las aplicaciones intensivas de agroquímicos están: eliminación de organismos que no son de interés dentro de las aplicaciones (especies no blanco), contaminación de ecosistemas acuáticos, efectos de resistencia de poblaciones de plagas, entre otros. El uso de químicos como los ciclodienos, carbamatos y organofosforados está disminuyendo lentamente pero en general mantienen una participación del 50% en el mercado mundial de los plaguicidas (Lies y Schulz, 1999).

Los programas de manejo de plagas han utilizado tradicionalmente métodos en los cuales se evalúa el número de aspersiones, la cantidad de ingredientes activos aplicados por hectárea y las dosis aplicadas por área, cuantificando el uso de la aplicación de plaguicidas, pero ninguno de estos métodos estima el impacto ambiental de plaguicidas específicamente (Kovach *et al.*, 1992; Brookes y Barfoot, 2006).

En 1992, Kovach y colaboradores presentaron el "Environmental Index Quotient" (EIQ por sus siglas en inglés), método que permite

calcular el impacto ambiental de los plaguicidas más comunes en cultivos de vegetales y frutas usados comercialmente en la agricultura. Los valores obtenidos de estos cálculos pueden ser usados para comparar diferentes plaguicidas o programas de manejo de plagas para determinar los que tengan un menor impacto ambiental.

Los organismos genéticamente modificados (OGM) son aquellos a los cuales se transfieren uno o varios genes o fragmentos de ADN de diverso origen, con el propósito de suministrar una o más características nuevas a las variedades convencionales, generando así las plantas transgénicas (Chaparro-Giraldo, 2005).

El algodón pertenece a la primera generación de genotipos transgénicos que dio como resultado el desarrollo de cultivos con alto potencial para aumentar la productividad, 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 lepidópteros y tolerancia a herbicidas, o de una combinación de estas dos características en una misma variedad ("stacked trait product") (Barton y Dracup, 2000; Bates *et al.*, 2005; Cattaneo *et al.*, 2006, James 2009).

En 2009, el número de países que sembraron cultivos transgénicos llegó a 25, e incluyó a 15 países en desarrollo y 10 industrializados ocupando una extensión de 134 millones de hectáreas (James, 2009).

Actualmente, la mayoría de sistemas agrícolas emiten carbono a través del uso directo de combustibles fósiles en la maquinaria agrícola usada en la preparación intensiva del suelo y la aplicación de agroquímicos para el control de agentes bióticos (insectos, patógenos, malezas). El uso de maquinaria agrícola origina costos por hectárea en las operaciones del cultivo de algodón, del orden del 30 al 40%, según estudios de Conalgodon (2006).

Una gran evaluación de dos años a nivel de plantíos del algodón transgénico con 81 campos comerciales en Arizona demostró una reducción del 40% del número de las aplicaciones de estas variedades relacionadas a las convencionales (Cattaneo *et al.*, 2006).

Materiales y métodos

Los datos se recolectaron durante el primer semestre de 2009, en la zona algodonera del municipio del Espinal, situado en el departamento del Tolima, Colombia, altitud de 323 msnm y temperatura media de 29 °C. El área del municipio del Espinal, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, es de 217,14 km².

Se utilizó un formato de encuesta que recoge la información básica necesaria para cuantificar el uso de insecticidas, el uso de herbicidas y el uso de maquinaria agrícola en las dos tecnologías agrícolas evaluadas. La encuesta se dividió en siete secciones, a saber: datos del predio, estado de propiedad del lote, datos generales del cultivo, datos de producción del cultivo, fertilización, control de plagas y enfermedades, consumo de combustible relacionado con la aplicación de insecticidas y herbicidas.

El formato que se usó fue diseñado a partir de los marcos de información requeri-

dos para el análisis con las siguientes metodologías:

1. Brookes y Barfoot (2006, 2008, 2009) para el consumo de insecticidas y herbicidas y uso de maquinaria.
2. Kovach y colaboradores (1992) para la determinación del efecto ambiental a nivel cuantitativo por medio del uso del índice de coeficiente ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés).

El EIQ desarrollado por Kovach y colaboradores en el año 1992, nació luego de una amplia colaboración de universidades estadounidenses a partir de una extensa gama de bases de datos sobre los plaguicidas usados comercialmente a nivel mundial en la agricultura (Kovach *et al.*, 1992; Brookes y Barfoot, 2006 y 2008). El propósito fue organizar y simplificar los datos de uso de plaguicidas. Este modelo reduce el impacto ambiental a información de un único valor (cuantitativo). Para lograr esto, se desarrolló una ecuación basada en los tres principales componentes de los sistemas de producción agrícola: componente de trabajadores agrícolas, componente de consumo, componente ecológico (Kovach *et al.*, 1992; Brookes y Barfoot, 2006).

El consumo de insecticidas y herbicidas resultantes de la información proporcionada por las encuestas, se cuantificó por medio del uso del EIQ. Los EIQ están estandarizados para diferentes insecticidas y herbicidas usados comercialmente, en diversos contextos ambientales. A partir de este EIQ teórico se calculó el EIQ de campo, que permite comparar tecnologías agrícolas mediante la siguiente fórmula:

$$EIQ_c = EIQ * \% \text{ ingrediente activo} * \text{Dosis} * \text{No de aplicaciones}$$

En este estudio se comparó cuantitativamente el efecto del uso de insecticidas en cultivos convencionales, cultivos transgénicos y las dos variedades transgénicas encontradas.

Del total de 212 agricultores que reportó Conalgodón para el año 2009 en el municipio del Espinal, Tolima, se tomaron 20 predios al azar, cuyos productores fueron encuestados, representando el 9,4% de los predios totales, ubicados en 10 veredas.

En la zona de estudio se encontraron los siguientes genotipos: a) Convencional: DP-90 (5 predios); b) transgénicos: Nuopal BG/RR, y DP 455 BG/RR variedades doble gen con resistencia al ataque de insectos lepidópteros y tolerancia a la aplicación de herbicidas que tengan como base el glifosato, sembradas en 7 y 8 predios respectivamente.

Resultados y discusión

Los resultados presentados en este artículo se basan en la comparación cuantitativa entre las variedades transgénicas y las variedades convencionales, y entre las variedades transgénicas. Se aplican a una localidad específica, el municipio del Espinal, y a un tiempo determinado, el primer semestre de 2009.

Según el Sistema de Información de Precios del Sistema Agropecuario (Sipsa), se consideran tres tipos de agricultor de acuerdo con el área sembrada: pequeño, 1 a 5 hectáreas; media-

no, 5 a 20 hectáreas, y grande, más de 20 hectáreas. En la muestra se encontró que el 100% de los agricultores que trabajan con la tecnología convencional son pequeños, mientras que los agricultores que usan la tecnología transgénica se reparten entre pequeños (13,33%), medianos (53,33%) y grandes (33,33%). Este resultado es relevante en relación con la adopción de la tecnología, puesto que la FAO (2004) considera que la adopción requiere de un periodo de transición, en el cual el tamaño de la tierra es un factor determinante. Por otro lado, confirma el trabajo de James (2008) quien reporta que en el mundo la tecnología transgénica es usada por grandes, pequeños y medianos productores.

Análisis de producción del cultivo

La tabla 1 muestra que las tecnologías transgénicas presentaron en promedio una mayor producción y un menor coeficiente de variación respecto a la variedad convencional. La variedad Nuopal BG/RR produjo $3,29 \pm 0,6$ ton/ha (para) y la variedad DP 455 BG/RR produjo $3,26 \pm 0,3$ ton/ha, mientras que la variedad convencional DP-90 produjo $2,88 \pm 0,6$ ton/ha. Los datos sobre coeficiente de variación parecen indicar también que las variedades transgénicas son más estables (8,02 y 9,02) que las variedades convencionales (21,9).

Tabla 1. Datos de producción del cultivo de las tecnologías evaluadas

Variable	Tecnología convencional			Nuopal BG/RR			DP 455 BG/RR		
	Promedio	SD	CV	Promedio	SD	CV	Promedio	SD	CV
Producción (Ton/ha)	2,88	0,6	21,9	3,29	0,3	9,02	3,26	0,3	8,02

El análisis estadístico de producción se realizó con el software Statgraphics® por medio de una prueba T de comparación de medias. Se consideró un nivel de significancia del 90% debido al reducido tamaño de la muestra de las diferentes tecnologías. No se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades

transgénicas, mientras que en la comparación de la tecnología convencional y la transgénica se encontraron diferencias significativas a favor de la segunda. En promedio, las variedades transgénicas rindieron 0,4 ton/ha más que la variedad convencional.

Los genes transferidos a las variedades transgénicas no tienen un efecto directo sobre la producción puesto que confieren resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia al glifosato. Pero esta tecnología transgénica parece tener un efecto positivo en la estabilidad de la producción, comparada con su contraparte convencional (Brookes y Barfoot, 2006 y 2009; James, 2008 y 2009).

Análisis comparativo de EIQ en insecticidas

Las plagas que se registraron en la zona de estudio se presentan en tabla 2, y los insecticidas que son utilizados para controlarlas se presentan en la tabla 3, en relación con la tecnología transgénica y con la tecnología convencional.

Tabla 2. Insectos plaga que afectan al cultivo del algodón en la zona del Espinal, Tolima

Nombre común	Orden	Nombre científico
Picudo	Coleóptera	<i>Anthonomus spp</i>
Arañita Roja	Acariforme	<i>Tetranychus spp</i>
Pulgón	Homóptera	<i>Aphys gossypii</i>
Gusano Rosado Colombiano	Lepidóptera	<i>Sacadodes pyralis</i>
Gusano Falso Bellotero	Lepidóptera	<i>Spodoptera frugiperda</i>

Se resalta la mayor cantidad de productos utilizados para el control de Spodoptera en la tecnología transgénica. Por otro lado, el uso de Metil y Lorsban 4EC en la tecnología convencional, insecticidas con valores altos de EIQ, puede indicar un mayor efecto ambiental negativo de esta tecnología. En las otras plagas el control se realiza con productos de EIQ similares en las dos tecnologías.

Las tablas 4 y 5 muestran el EIQ teórico y el EIQ de campo, así como el ingrediente activo, la dosis y el número de aplicaciones para cada insecticida en las dos tecnologías.

En la tecnología convencional los productos que se utilizaron para controlar el Picudo (*Anthonomus spp*) tienen una incidencia del 34,8% en el EIQ de campo. En el mismo sentido, en la variedad Nuopal BG/RR la incidencia es del 48,59%, y en la variedad DP 455 BG-RR es del 48,29%, siendo en esta última variedad transgénica donde se presenta mayor impacto ambiental. Debe aclararse que las variedades transgénicas sembradas no son resistentes a esta plaga.

En el control del Pulgón (*Aphys gossypii*), los insecticidas aplicados en los predios con tecnología convencional inciden en 3,6% en EIQ total, mientras en las variedades transgénicas fue de 0,32% Nuopal BG/RR, y de 0,33% en la variedad DP 455 BG-RR.

En la aplicación de insecticidas en la tecnología convencional para controlar el Gusano Rosado Colombiano (*Sacadodes pyralis*), se encontró un aporte al índice EIQ de 7,64%. No se realizan aplicaciones de pesticidas para el control de esta plaga en los predios donde se sembraron las variedades Nuopal BG/RR y DP 455 BG-RR. Estos resultados no concuerdan con el estudio realizado por Tabashnik y colaboradores (2002) donde se reporta que en Estados Unidos se han generado tipos de Gusano Rosado de la India (*Pectinophora gossypiella*) resistentes a la Cry1Ac. Estas diferencias indican la importancia de realizar análisis caso a caso, puesto que las diferencias en el comportamiento de la especie plaga pueden estar ligadas más a condiciones agroecológicas que a la condición genética particular de una variedad mejorada.

Tabla 3. Control químico utilizado en insectos plaga que afectan el algodón en la zona del Espinal, Tolima, en fincas con tecnología transgénica y fincas con tecnología convencional.

Insectos plaga	Tecnología transgénica		Tecnología convencional	
	Insecticida	IA	Insecticida	IA
Spodoptera	Match E5	Lufenuron	Match E5	Lufenuron
	Dart 15 SC	Teflubazuron	Larvin 80	Thiodicarb
	Efectrina 200	Cipermetrin	Lorsban 4EC	Clorpirifos
	Insectrina 20 EC	Cipermetrin	Nufos 4 EC	Clorpirifos
	Larvin 80	Thiodicarb	Rimon I	Novalusan
	Lorsban 4EC	Clorpirifos	Metil	Metomyl
	Rimon 1	Novalusan		
	Latigo EC	Clorpirifos		
	Lannate 20	Metomil		
	Dimilin 25	Diflubenzuron		
Picudo	Regent 250 FC	Fipsonil	Regent 250 FC	Fipsonil
	Metil	Metilparation	Metil	Metilparation
	Spock 18 EW		Spock 18 EW	
Pulgón	Actara 25W	Tihamethoxan	Actara 25W	Thiamethoxan
	Match e5	Lufenuron		
	Orthene 75 SP	Acetato		
Araña roja	AbaMectin 1.8 ECa 1.8 EC		AbaMectin 1.8 ECa 1.8 EC	
	UndaMectin 1.8 ECa			

Tabla 4. Valores de EIQ de insecticidas para la tecnología convencional

Tecnología convencional					
Insecticida	EIQ	IA (%)	Dosis	No. aplicaciones	Total
Match E5	26,18	0,05	0,43	1,50	0,84
Lorsban 4EC	43,50	2,50	1,20	1,66	216,63
Actara 25W	33,30	2,50	0,06	1,50	7,49
Mectin 1.8 EC	38,00	2,00	0,63	1,00	47,88
Regent 250 FC	90,92	2,50	0,34	2,25	173,88
Metil	35,20	4,80	2,00	2,50	844,80
Larvin 80	23,30	3,75	1,44	1,40	176,15
Spock 18 EW	27,3	1,80	0,50	2,00	49,14
Nufos 4 EC	43,50	4,80	1,20	1,00	250,56
Rimon I	25,33	0,92	0,20	1,00	4,66
Methavin 90 PS	30,70	0,90	0,50	1,00	13,82
Total EIQ (campo) Insecticidas					1786

Tabla 5. Valores de EIQ de insecticidas para las dos variedades de tecnología transgénica

Tecnología transgénica		I.A (%)	Nuopal BG/RR		Total
Insecticida	EIQ		Dosis	No aplicaciones	
Match E5	26,18	0,05	0,43	1,5	0,84
Lorsban 4EC	43,50	2,50	1,20	1,66	216,63
Actara 25W	33,30	2,50	0,06	1,50	7,49
Mectin 1.8 EC	38,00	2,00	0,63	1,00	47,88
Regent 250 FC	90,92	2,50	0,34	2,25	173,88
Metil	35,20	4,80	2,00	2,50	844,80
Larvin 80	23,30	3,75	1,44	1,40	176,15
Spock 18 EW	27,30	1,80	0,50	2,00	49,14
Nufos 4 EC	43,50	4,80	1,20	1,00	250,56
Rimon I	25,33	0,92	0,20	1,00	4,66
Methavin 90 PS	30,70	0,90	0,50	1,00	13,82
Total EIQ (campo) insecticidas					1786
Tecnología transgénica		IA (%)	DP 455 BG/RR		Total
Insecticida	EIQ		Dosis	No. aplicaciones	
Match E5	26,18	0,05	1,40	1,25	2,29
Regent 250 FC	90,92	2,50	0,35	3,33	264,92
Metil	35,20	4,80	1,80	2,40	729,91
Actara 25W	25,00	2,50	0,08	1,50	7,50
Mectin 1.8 EC	38,00	2,00	0,50	1,00	38,00
Spock 18 EW	27,3	1,80	0,50	3,20	78,62
Larvin 80	23,30	3,75	1,30	1,00	113,59
Lorsban 4EC	43,50	2,50	1,25	1,00	135,94
Latigo EC	43,50	5,00	1,00	1,00	217,50
Lannate 20	30,70	0,90	1,00	1,00	27,63
Orthene 75 SP	23,40	0,75	0,70	2,00	24,57
Efectrina 200	27,30	2	0,35	1,00	19,11
Insectrina 20 EC	27,30	2	0,35	1,00	19,11
Dimilin 25	25,33	2,50	0,10	1,00	6,33
Total EIQ (campo) Insecticidas					1685

En los insecticidas que se utilizaron en el control del Gusano Falso Bellotero (*Spodoptera frugiperda*), se encontró un aporte al EIQ del 55,2% del índice total en la tecnología convencional. Para la variedad Nuopal BG/RR se encontró el 28% y en la DP 455 BG-RR el 50,5%. La tecnología convencional y la variedad 455 BG-RR tienen efectos ambientales similares, lo que es sorprendente dado que la variedad transgénica tiene un alto nivel de control de esta plaga. Santos y colaboradores (2009) reportan una mayor presencia de larvas del complejo *Spodoptera* en variedades de Nuopal BG/RR en estudios realizados en el departamento del Tolima. Estos datos no coinciden con los hallados en el presente trabajo, donde el nivel de aplicaciones de control de esta plaga es me-

nor para esta variedad. La explicación podría estar en efectos locales relacionados con poblaciones específicas del insecto y sustentan la necesidad de hacer estudios caso a caso y región por región, elementos claves en los estudios de bioseguridad en cultivos transgénicos.

Análisis comparativo de EIQ en herbicidas

En cuanto a la aplicación de herbicidas en las dos tecnologías, se observa una mayor aplicación de estos productos en las fincas que utilizan tecnología convencional (tabla 6). Este resultado se explica por la característica de tolerancia a herbicidas de las variedades transgénicas.

Tabla 6. Herbicidas utilizados en el control de malezas que afectan el algodón en la zona del Espinal, Tolima, en fincas con tecnología convencional y fincas con tecnología transgénica

Tecnología convencional		Tecnología transgénica	
Herbicida	Ingrediente activo	Herbicida	Ingrediente activo
Dualgolt	Metaloclor	R Brio	N fosfometil
Karmex	Diusan	Estelar	Glifosato
Finale	Glusofinato	Glifosol	Glifosato
R Brio	N fosfometil	Finale	Glusofinato
Estelar	Glifosato		

A continuación se presentan los resultados de los valores de EIQ de herbicidas para la tecnología convencional (tabla 7) y para la tecnología transgénica (tabla 8).

En la tecnología convencional el aporte generado por los herbicidas en el valor de EIQ total fue de 23%, mientras que para la variedad Nuopal BG/RR fue de 21,6% y en la variedad 455 BG-RR fue de 24%. Sin embargo, el EIQ de campo indica un menor efecto ambiental de la tecnología transgénica, que obtuvo un valor promedio de 515,01, mientras el valor en la tecnología convencional fue de 1258,39. Según estos datos, el impacto ambiental derivado

de la aplicación de herbicidas en la tecnología transgénica sería 60% menor que en la tecnología convencional. Por otro lado, es menor el EIQ que presenta la variedad Nuopal BG/RR (492,2) respecto de la variedad DP 455 BG-RR (537,82).

El EIQ para herbicidas en algodón transgénico reportado para diferentes países, presenta diferencias entre sí: China 1,35, México 1,62, Argentina y Suráfrica 27,54, (Brookes y Barfoot, 2009). En este mismo estudio se reporta, luego de 10 años de seguimiento para Estados Unidos, un EIQ de 51,8 para algodón tolerante a herbicidas y de 46,3 para algodón

convencional, a partir de lo cual, los autores sugieren que no hay diferencias numéricas que puedan concluir un beneficio ambiental por parte de la tecnología transgénica.

La diferencia numérica encontrada para cada país en este índice muestra la importancia

de realizar estudios caso por caso, en cuanto a comparaciones entre la tecnología transgénica y convencional se refiere. Es necesaria la continuidad de toma de datos para poder obtener en el tiempo un promedio de este índice, y así poder dar conclusiones en términos ambientales.

Tabla 7. Valores de EIQ de herbicidas para la tecnología convencional

Tecnología convencional					
Herbicida	EIQ	ai	Dosis	No. aplicaciones	Total
Dualgold	22,00	9,60	1,06	1,00	223,87
Round up brio	15,30	4,80	2,00	1,50	220,32
Karmex	20,50	0,80	1,00	1,66	27,22
Finale	28,50	0,15	1,13	1,66	8,02
Estelar	15,30	0,41	2,5	1,00	15,68
Total EIQ (campo) Herbicidas					1258,39

Tabla 8. Valores de EIQ de herbicidas para las dos tecnologías transgénicas

Nuopal BG/RR					
Herbicida	EIQ	IA (%)	Dosis	No. aplicaciones	Total
Round up brio	15,30	4,80	2,32	1,71	291,35
Estelar	15,30	0,41	2,75	1,00	17,25
Glifosol	15,30	4,80	2,50	1,00	183,60
TOTAL EIQ (campo) HERBICIDAS					492,20
DP 455 BG/RR					
Herbicida	EIQ	IA (%)	Dosis	No. aplicaciones	Total
Round up brio	15,30	4,80	2,35	1,71	295,12
Estelar	15,30	0,41	2,75	1,00	17,25
Glifosol	15,30	4,80	3,00	1,00	220,32
Finale	28,50	0,15	1,20	1,00	5,13
Total EIQ (campo) Herbicidas					537,82

Análisis de EIQ ponderado

Varios autores (Kovach *et al.*, 1992; Gallivan *et al.*, 2001; Brookes y Barfoot, 2008) sugieren que para analizar el EIQ de los pesticidas y su relación con efectos ambientales, es necesario segregarlos de acuerdo con el grado de toxicidad (baja, media y alta).

En este estudio se encontró que en el cultivo del algodón convencional se aplican 16 productos, 1,4 como promedio de aplicación y una dosis promedio de 0,95 Lt/ha para controlar plagas y malezas, con un EIQ total de 2134,12 (tabla 9). Con relación a los productos aplicados, 9 (56,2%) tienen un EIQ alto (mayor de 40), 5 (31,2%) un EIQ intermedio (entre 23 y 39) y 2 (12,5%) tienen un EIQ bajo, menor o igual a 22 (Kovach *et al.*, 1992).

En la variedad Nuopal BG/RR, se encontró que se aplicaron 14 productos para controlar plagas, con un EIQ de 2278 (tabla 9), con un promedio de aplicaciones 1,41 y una dosis de 0,87 Lt/ha en promedio. Los insecticidas y herbicidas con un EIQ alto son 9 (el 64,2%). No se encuentran productos con un rango me-

dio de EIQ. Los pesticidas con un EIQ bajo son el 35,7%.

El promedio de aplicaciones y dosis para la variedad DP 455 BG-RR fue de 1,4 y 1,38 Lt/ha respectivamente. En esta variedad se aplicaron 18 productos. El valor de EIQ total fue de 2222,82 (tabla 9). Los productos que tienen un rango alto de EIQ fueron 6 (33,3%). En el rango medio fueron el 5 (16,6%) de los productos aplicados. Los agroquímicos con un rango bajo fueron 7 (38,8%).

En la comparación de las tecnologías se encontró que el promedio del número de aplicaciones es igual para las tres, mientras que el promedio de dosis de aplicación tiene un mayor valor para la variedad DP 455BG/RR. Esto es importante si se tiene en cuenta que el EIQ es un cociente, y que en la medida que la dosis aumenta su valor final también lo hará. Ello sugiere que el efecto ambiental estaría siendo causado por la dosis y no por el producto per se, lo que se traduce en que un buen o mal manejo del paquete tecnológico y su respectivo manejo integrado de plagas y malezas pueden generar mayores o menores efectos ambientales.

Tabla 9. EIQ de campo calculado para cada tecnología agrícola

Tecnología	EIQ		
	Insecticida	Herbicida	Total
Convencional	1639	495,12	2134,12
Nuopal BG/RR (Transgénica)	1786	492,2	2278,2
DP 455 BG/RR (Transgénica)	1685	537,82	2222,82

Los valores muestran claramente que no hay diferencias significativas en el impacto ambiental medido por EIQ entre la tecnología convencional y la tecnología transgénica en el cultivo del algodón en el municipio del Espinal, Tolima, Colombia, en el primer semestre de 2009.

Análisis de maquinaria

La reducción en el número de aplicaciones de agroquímicos significa menor uso de maquinaria en las labores agrícolas, lo que implica menor emisión de gases de efecto invernadero, y menores procesos de compactación y degradación de suelo (Brookes y Barfoot, 2006,

2008). Cada litro de combustible que consume la maquinaria agrícola, en promedio libera 2,75 kg/ CO₂/ha a la atmósfera (Brookes y Barfoot, 2006).

Con base en lo anterior, se determinó el promedio de consumo de combustible para cada insumo (herbicida e insecticida) en cada tecnología agrícola, y se calculó la cantidad de Lt/CO₂/ha que libera cada tecnología (Tabla 10).

Tabla 10. Promedio de consumo de combustible para cada tecnología agrícola y liberación de Lt/CO₂/ha

Tecnología	Promedio consumo combustible (Lt/ha)		Liberación de Lt/CO ₂ /ha
	Insecticida	Herbicida	
Convencional	12,5	22,5	96,2
Nuopal BG/RR (Transgénica)	12,5	42,5	151,25
DP 455 BG/RR (Transgénica)	10	40	137,5

Los cálculos realizados muestran que es la tecnología convencional la que genera menores emisiones de gases de efecto invernadero, resultado de prácticas agrícolas intensivas aplicadas en pequeñas extensiones de terreno, dado que el 100% de los productores convencionales en esta muestra son pequeños.

Las variedades transgénicas, por el contrario, presentaron los mayores valores de liberación de CO₂, lo que permitiría concluir que dichas tecnologías están generando mayor efecto ambiental en términos de maquinaria, debido a que los cultivos se desarrollan en sistemas agrícolas tradicionales de alto consumo energético y que no tienen dentro de su plan de siembra el uso de labranza mínima, asociado por ejemplo a la soya transgénica tolerante a herbicidas.

Conclusiones

La metodología propuesta por Brookes y Barfoot (2006, 2008, 2009) es adecuada para realizar análisis de efectos ambientales ligados al consumo de plaguicidas y al uso de maquinaria, en el contexto de diferentes tecnologías

agrícolas. El EIQ sugerido por Kovach y colaboradores (1992) permite diferenciar cuantitativamente el uso de plaguicidas y herbicidas entre tecnologías agrícolas. Se pueden señalar las siguientes conclusiones generales, aplicables al caso del uso de la tecnología transgénica y convencional en el cultivo del algodón, durante el primer semestre de 2009, en el municipio del Espinal, Tolima, en la población de productores analizada: a) existen diferencias significativas en producción de las variedades transgénicas comparadas con las variedades convencionales; b) no se encontraron diferencias significativas en el impacto ambiental derivadas del uso de insecticidas y herbicidas, medido por EIQ, entre la tecnología transgénica y la tecnología convencional; c) es mayor el efecto de gases invernadero, derivado del uso de maquinaria agrícola, en la tecnología transgénica que en la tecnología convencional. Estos resultados pueden ser explicados por la crisis de confianza debida a los problemas legales derivados de demandas presentadas por agremiaciones de productores contra las empresas dueñas de la tecnología transgénica. La Confederación Colombiana del Algodón (Conalgodón), en calidad de representante legal de los algodoneiros de Colombia,

entabló un acto administrativo en contra de la Compañía Agrícola Colombiana Ltda. & S. C. A. (Coacol), empresa titular, y la Distribuidora de Abonos S.A Diabonos, demanda basada en las pérdidas observadas en la temporada algodonera de 2008-2009. Según Conalgodon, los agricultores registraron importantes pérdidas debidas al uso de variedades transgénicas en el cultivo del algodón, estimadas en 19,7%, por los daños directos que ocasionaron dos ataques de *Spodoptera sp.*, así como por la pérdida de lóculos y cápsulas a partir de las aplicaciones de glifosato que se realizaron sin la debida instrucción por parte de los dueños de la tecnología. Los perjuicios según los agricultores pueden ser mayores por el precio pagado por estas semillas. El ICA, mediante resoluciones 050 y 051 de febrero 18 de 2010 impone una sanción administrativa y una multa de \$512.000.000 a Coacol por propaganda engañosa. Por su parte, Coacol consideró que los hechos denunciados no fueron verificados por el ICA, y se centran en establecer que, supuestamente, el rendimiento de la cosecha 2008-2009 disminuyó en 19,7% por esta razón, cuando no existe prueba que lo corrobore (Portafolio, 2009).

Referencias bibliográficas

- Bates, S., Zhou, J., Roush, R., Shelton, A. 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nature* 23 (1): 57-63.
- Barton, J., Dracup, M. 2000. Genetically modified crops and the environment. *Agronomy Journal* 92: 797-803.
- Brookes, G. & Barfoot, P. 2006. GM Crops: The first ten years – Global socio-economic and environmental impacts. ISAAA Brief 36. Ithaca: ISAAA.
- Brookes, G. & Barfoot, P. 2008. Global impact of Biotech crops: socio economic and environmental effects, 1996-2006. *AgBioForum* 11(1): 21-38.
- Brookes, G. & Barfoot, P. 2009. Global impact of Biotech Crops: Income and Production Effects 1996-2007. *AgBioForum* 12 (2): 184-208.
- Cattaneo, M., Yafuso, C., Schmidt, C., Huang, C., Rahman, M., Olson *et al.* 2006. Farm-scale evaluation of the impacts of transgenic cotton on biodiversity, pesticide use, and yield. *PNAS* 103:7571-7576.
- Chaparro-Giraldo, A. 2005. Elementos básicos para entender la tecnología transgénica. En Chaparro-Giraldo, A. (ed.). *Introducción a la ingeniería genética de plantas*. Bogotá: Unibiblos.
- FAO. 2004. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La biotecnología: ¿una respuesta a las necesidades de los pobres? Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y5160s/y5160s00.pdf> [fecha de consulta: 4 de octubre de 2010].
- Gallivan, G. J., Surgeoner, G. A. and Kovach, J. 2001. Pesticide risk reduction on crops in the province of Ontario. *J Environ Qual* 30: 798-813.
- James, C. 2008. Global Status of Commercialized Biotech / GM Crops: 2008. ISAAA Brief No. 39. Ithaca: ISAAA.
- James, C. 2009. Global Status of Commercialized Biotech / GM Crops: 2009. ISAAA Brief No. 41. Ithaca: ISAAA.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J. and Tette J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences Bulletin. NYS Agricul. Exp. Sta. Cornell University, Geneva, NY, 139. 8 pp.
- Liess, M. & Schulz, R. 1999. Linking insecticide contamination and population response in an agricultural stream. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 1948-1955.
- Portafolio, 2009. ICA sancionó a Monsanto por semillas OGM de algodón. Disponible en http://www.portafolio.com.co/negocios/agronegocios/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_PORTA-7425869.html [fecha de consulta: 4 de octubre de 2010].
- Santos, O., Delgado, O., Argüelles J., Aguilera, E. 2009. Evaluación del comportamiento del complejo *Spodoptera* con la introducción del algodón transgénico al Tolima, Colombia. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología* 10 (1): 24-32.
- Tabashnik, B. E., Dennehy, T. J., Sims, M. A., Larkin, K., Head, G. P., Moar, W. J., Carriere, Y. 2002. Control of Resistant Pink Bollworm (*Pectinophora gossypiella*) by Transgenic Cotton That Produces *Bacillus thuringiensis* Toxin Cry2Ab. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 3790-3794.