

ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE COEFICIENTE AMBIENTAL (EIQ) EN CULTIVOS TRANSGÉNICOS Y CONVENCIONALES DE ALGODÓN (*Gossipium hirsutum*) Y MAÍZ (*Zea mays*) EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

ESTIMATING THE ENVIRONMENTAL COEFFICIENT INDEX (EIQ) IN GM CROPS AND CONVENTIONAL COTTON (*Gossipium hirsutum*) and maize (*Zea mays*) IN THE DEPARTMENT OF TOLIMA

Kelly Ávila¹, Alejandro Chaparro-Giraldo^{1,2}, Giovanni Reyes¹

RESUMEN

En la zona maicera de Valle de San Juan y en la zona algodонера de El Espinal, municipios del Departamento del Tolima (Colombia), en el primer semestre del 2009 se encuestaron 10 productores de maíz convencional, 10 productores de maíz transgénico, 5 productores de algodón convencional y 15 productores de algodón transgénico, para contrastar las diferencias en el efecto ambiental asociadas al consumo de insecticidas y herbicidas, que se evaluaron por medio de la estimación del índice de coeficiente ambiental (Environmental Index Quotient –EIQ). Para el caso del cultivo del maíz, en la tecnología convencional se encontró un EIQ de 42, mientras que para la tecnología transgénica fue de 3,03. En el cultivo de algodón, para la tecnología convencional se encontró un EIQ de 263,59 en tanto que para la tecnología transgénica este valor vario entre 335,75 (tecnología Nuopal BG/RR) y 324,79 (Tecnología DP 455 BG/RR). Estos datos mostraron un menor impacto ambiental del uso de la tecnología transgénica en el cultivo de maíz cuando es comparada con su homologo convencional, en relación con el consumo de de insecticidas y herbicidas, en el contexto temporal, espacial y genotípico analizado. Este efecto no se observo en el caso del cultivo del algodón, donde los impactos ambientales fueron similares.

PALABRAS CLAVES: EIQ, consumo de insecticidas, consumo de herbicidas, tecnologías agrícolas, cultivos transgénicos, maíz, algodón

ABSTRACT

In the corn belt of Valle de San Juan and the cotton-growing area of El Espinal, municipalities of Tolima (Colombia), during the first half of 2009, surveyed 10 producers of conventional corn and 10 producing transgenic maize, and 5 conventional cotton producers and 15 producers of GM cotton to compare the differences in the environmental impact associated with use of insecticides and herbicides, which were evaluated by using environmental coefficient index (Environmental Index Quotient-EIQ). In the case of maize in the conventional technology was found EIQ of 42, while for transgenic technology was 3.03. In the case of cotton crop to the conventional technology EIQ was found in 263,59, while for transgenic technology EIQ value ranged from 335,75 (Technology Nuopal BG/RR) and 324,79 (technology DP 455 BG/RR). These data show a lower environmental impact of the use of transgenic technology in the cultivation of maize when compared with its conventional counterpart, in connection with the use of insecticides and herbicides, in the context of time, space and genotypic analysis. This effect was not observed in the case of cotton, where environmental impacts are similar.

1. Grupo de Ingeniería Genética de Plantas, Departamento de Biología & Instituto de Genética, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).

2. Autor de correspondencia achaparro@bt.unal.edu.co

KEY WORDS: EIQ, insecticide consumption, herbicide consumption, agricultural technologies, GM crops, maize, cotton.

INTRODUCCIÓN

Los cultivos transgénicos están jugando un papel importante, dentro de las tecnologías agrícolas disponibles, según el último reporte de ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications) para el 2010 la tecnología transgénica ha llegado a 29 países ocupando una extensión de 146 millones de hectáreas, un incremento del 10% respecto al año anterior (James, 2010). Sin embargo, el debate que se ha generado desde la liberación comercial de los cultivos transgénicos alrededor de los beneficios o riesgos que puedan causar en los agroecosistemas, la economía y la sociedad en general aún se mantiene vigente, y de hecho cada vez cobra mas importancia debido a la carencia de estudio relacionados con este tema, especialmente en países del trópico que ya han liberado este tipo de cultivos (Amman & Garden, 2004; Dale, et al, 2002).

Por lo tanto, el debate de los riesgos o beneficios de los cultivos transgénicos debe ser ampliado desde una base fáctica con investigación científica sólida, que brinde información sobre el panorama de los cultivos transgénicos en los países que están implementando esta tecnología. Se debe utilizar la metodología “caso por caso”, que involucra una serie de datos sobre el cultivo transgénico: gen introducido, vector de transformación, especie y genotipo receptor, especies relacionadas, características del agroecosistema donde se libera, etc. Esta información permite limitar el contexto temporal, espacial y genético del análisis, y así determinar las diferencias ambientales y económicas que se presentan con la adopción de la tecnología (Shapper & Parada 2001; Dale *et al.*, 2002; Brookes & Barfoot, 2006 y 2008; FAO 2005; Nap *et al.*, 2003).

Las principales investigaciones respecto de la tecnología transgénica, han estado dirigidas a evaluar costos de producción, efectos ambientales (consumo de insecticidas y herbicidas), uso de maquinaria y su asociación con la liberación de gases de efecto invernadero, y se han realizadas principalmente en países de la zona templada, como Estados Unidos, Canadá y España. Ésta condición agroecológica limita la extrapolación de datos a otras latitudes. Adicionalmente, estos países se caracterizan por poseer amplias bases de datos sobre cultivos transgénicos y cultivos convencionales, cosa que no ocurre en países subdesarrollados tropicales como es el caso de Colombia (Herrera, 2000; Kleter & Kuiper, 2003; Kleter *et al.*, 2007; Nap *et al.*, 2003).

Por otra parte, las tecnologías transgénicas liberadas comercialmente, se han diseñado para combatir el ataque de insectos plagas y las pérdidas de producción asociadas por la competencia inter o intra específica causada por las arvenses, lo que llevaría a una subsecuente disminución de aplicación de insumos químicos que las controlen (Ketler *et al.*, 2007); los estudios reportados para cultivos transgénicos se han centrado en medir cuantitativamente el consumo de insecticidas y herbicidas, comparando con el homologo convencional, mediante el uso extensivo del índice de coeficiente ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés).

El EIQ propuesto por Kovach y colaboradores (1992) nació de una cooperación de universidades estadounidenses que desarrollaron bases de datos sobre los plaguicidas usados globalmente en la agricultura, en donde la metodología planteada reduce la evaluación del impacto ambiental a información numérica de un único valor y adimensional (Kovach *et al.*, 1992).

El EIQ de cada plaguicida ó herbicida se obtiene por medio de una ecuación basada en los tres principales componentes de los sistemas de producción agrícola: i) componente de trabajadores agrícolas, ii) componente de consumo y iii) componente ecológico.

Se evalúa cada componente de la ecuación con un mismo peso en la parte final del análisis, pero dentro de cada uno de los componentes, los factores individuales se ponderan de manera diferente (Kovach *et al.*, 1992). Para simplificar la interpretación de los datos, la toxicidad de cada ingrediente activo de los plaguicidas y el efecto sobre cada factor ambiental fueron agrupados en baja, media o alta toxicidad y clasificados en una escala de uno a cinco, siendo uno el valor más bajo y cinco el más alto (Kovach *et al.*, 1992; Brookes & Barfoot, 2006).

La fórmula de EIQ se expresa como:

$$\{C[(DT+5)+(DT*P)]+[(C+((S+P/2)*SY)+(L)]+[(F*R)+(D*((S*P)/2*3)+(Z*P*3)+(B*P*5)]\}/3$$

Donde: DT = toxicidad cutánea, C = toxicidad crónica, SY = sistematicidad, P = toxicidad en peces, L = potencial de lixiviación, R = superficie de pérdida del potencial, D= toxicidad en aves, S = vida media del suelo, Z= toxicidad en abeja, B = toxicidad en artrópodos, P = vida media en la planta.

Cada uno de los valores de la fórmula del cociente proviene de una amplia revisión de datos y éste índice se considera como universal. (Kovach *et al.*, 1992; Brookes & Barfoot, 2006).

Puesto que se conoce el EIQ de los plaguicidas comercializados y su respectivo ingrediente activo, su valor puede ser hallado en campo, donde a partir de datos sobre dosis, número de aplicaciones y el ingrediente activo se calcula el EIQ de campo como se muestra a continuación (Kovach *et al.*, 1992; Brookes & Barfoot, 2006):

$$EIQ_{de\ campo} = EIQ * Porcentaje\ de\ ingrediente\ activo * Dosis * No\ de\ aplicaciones$$

El índice EIQ de campo ha sido usado ampliamente en diferentes países y para diferentes cultivos, lo que demuestra que es un índice fácilmente aplicable y que su diseño permite adaptarse a diferentes condiciones de cultivo y de zonas agroecológicas. Ha sido usado en Europa para maíz transgénico, el cual reporta una disminución de un 30% de consumo de insecticidas (Brookes, 2008); para el caso del algodón en India se reporta disminuciones hasta del 77% en variedades resistentes a insectos (Ketler *et al.*, 2007). En otros cultivos se conocen reportes en cultivo de manzano en México (Ramírez y Jacobo, 2002), en Perú en el cultivo de papa (Pradel *et al.*, 2009), en Venezuela en el cultivo de la cebolla (Pierre & Betancourt, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos recolectados en este trabajo se tomaron durante el primer semestre de 2009 y fueron tomados por medio de encuestas directas a productores. Mediante este instrumento se recogió la información básica necesaria para cuantificar las condiciones económicas del cultivo, el uso de insecticidas, y el uso de herbicidas en las dos tecnologías agrícolas evaluadas, transgénica y convencional.

Se encuestaron 20 productores de maíz con la siguiente distribución:

- Para la tecnología convencional, los 10 lotes de los productores encuestados representaron el 7.24% del total según datos de Fenalce;
- Para la tecnología transgénica los 10 lotes de los productores encuestados ocuparon una extensión de 190.4 hectáreas, representando el 100% del total de hectáreas en el semestre evaluado.

El híbrido de maíz Herculex I® de la empresa Dupont S.A., fue liberado comercialmente para Colombia, mediante la resolución 3745 de 2006 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Contiene el gen *cryIF* que confiere resistencia contra algunas plagas de insectos lepidópteros, y el gen *pat* que confiere tolerancia contra herbicidas cuyo ingrediente activo sea el glufosinato de amonio.

Para las fincas del algodón se encuestaron igualmente 20 lotes. Del total de los 212 agricultores que reportó CONALGODÓN para el año 2009, los 20 lotes representaron el 9.4% del total, ubicadas en 10 diferentes veredas del municipio de El Espinal.

Para el caso de la tecnología transgénica en algodón, se ha autorizado la siembra de genotipos que contengan eventos combinados en Colombia. Para el caso de genotipos que contengan los eventos Bollgard® y Roudup Reday®, se autorizó mediante la resolución 358 del 2007 del ICA. Bollgard® se refiere al gen *cryIAC* derivado de *Bacillus thuringiensis* y que confiere resistencia a algunos insectos lepidópteros, en tanto que Roundup Ready se refiere al gen *cp4epsps* derivado de *Agrobacterium tumefaciens* que confiere tolerancia a herbicidas cuyo ingrediente activo es el glifosato.

Mediante las resoluciones 1726 y 2203 de 2007, el ICA autorizó la siembra de genotipos que contengan los eventos combinados Bollgard II® y Roundup Ready Flex®, que mejoran los eventos originales. Bollgard II contiene los genes *cry1Ac* y *cry2Ab*. Estos genotipos son propiedad de la compañía Agrícola Colombiana (COACOL), filial nacional de la corporación multinacional Monsanto. A este tipo de genotipos pertenecen las variedades NUOPAL BG/RR y DP 455 BG/RR.

El formato de guía de trabajo usado fue diseñado a partir de los marcos de información requeridos para el análisis con la metodología Brookes y Barfoot (2006, 2008, 2009), y Kovach y colaboradores (1992). La encuesta se dividió en 6 secciones a saber:

- I. Datos del Predio,
- II. Nivel de Propiedad de la Finca,
- III. Datos Generales del Cultivo,
- IV. Datos de Producción del Cultivo,

- V. Fertilización,
- VI. Control de insectos y malezas.

El presente artículo se centrara en el numeral VI de la encuesta del cual se obtuvo la información relacionada al consumo de insecticidas y herbicidas para cada cultivo y a su vez para cada tecnología.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Coeficiente ambiental (EIQ)

Con la información recogida en las encuestas del consumo de insecticidas y herbicidas (dosis, y número de aplicaciones) se calculó el EIQ de campo para cada producto de cada cultivo y en cada tecnología agrícola, con éstos datos se promedió la dosis usada para cada plaguicida en (kg/ha) y el número de aplicaciones realizadas.

Es importante aclarar que los reportes existentes en la literatura (en cuanto a cuanto a cálculos de EIQ se refiere) han analizado las tecnologías de resistencia a insectos lepidópteros (RIL) y tolerancia a herbicidas (TH) de manera independiente.

Para las zonas evaluadas en los dos cultivos se encontraron genotipos que tienen las dos características RIL y TH conjuntamente: el híbrido Herculex I® de maíz y las variedades Nuopal BG/RR y DP 455 BG/RR de algodón. Como se trató en los dos casos, de genomas en los que se expresan los transgenes conjuntamente, el análisis se realizó de manera conjunta, para ello se calculo un EIQ de campo para cada tipo de producto -herbicida e insecticida - y finalmente se realizó la sumatoria de los dos índices, el resultado de la sumatoria se tomo como el EIQ de campo total.

EIQ en el cultivo de Maíz

La tabla 1 muestra la reducción de índice de coeficiente ambiente (ligada al consumo de insecticidas y herbicidas) que se obtuvo con la implementación de la tecnología transgénica en la zona maicera del Valle de San Juan, debido a que las aplicaciones de insecticidas se redujeron a cero.

En efecto el valor del EIQ de campo para la tecnología convencional fue de 42, mientras ese mismo valor fue de 3.03 para la tecnología transgénica. El EIQ de campo calculado muestra una diferencia de 38,97 puntos a favor de la tecnología transgénica que equivale a una reducción en términos de la valoración numérica del índice del más del 10% con la evaluación en conjunto (insecticidas y herbicidas).

Tabla 1. EIQ de campo calculado para insecticidas y herbicidas comparando la tecnología convencional con la tecnología transgénica en maíz

TECNOLOGÍA CONVENCIONAL											
INSECTICIDA	EIQ	ai (%)	Dosis kg/ha	Numero de aplicaciones	Total	HERBICIDA	EIQ	ai (%)	Dosis kg/ha	Numero de aplicaciones	Total
Match	16,29	0,05	0,3	1,5	0,37	Atrazine	22,85	0,5	1,38	1	15,77
Atabron	30,31	0,05	0,5	2	1,52	Gramaxone	24,73	0,19	1,5	1	7,05
Lorsban	26,85	0,25	1	1,3	8,73	Thordon	18,00	0,11	1,6	1	3,17
Methomyl	22,00	0,9	0,18	1	3,56	Accent	19,52	0,75	0,05	1	0,73
						Finale	20,2	0,15	0,5	1	1,52
TOTAL EIQ INSECTICIDA					14,17	TOTAL EIQ HERBICIDA					28,23
EIQ TOTAL TECNOLOGÍA CONVENCIONAL											42
TECNOLOGÍA TRANSGÉNICA											
INSECTICIDA	EIQ	ai (%)	Dosis kg/ha	Numero de aplicaciones	Total	HERBICIDA	EIQ	ai (%)	Dosis kg/ha	Numero de aplicaciones	Total
Esta tecnología no requirió aplicaciones de insecticidas					0	Finale	20,2	0,15	0,5	2	3,03
TOTAL EIQ INSECTICIDA					0	TOTAL EIQ HERBICIDA					3,03
EIQ TOTAL TECNOLOGÍA TRANSGÉNICA											3,03

Cómo se mencionó anteriormente, la evaluación de los efectos de los cultivos transgénicos debe hacerse enmarcada con la metodología caso por caso. Los valores registrados para maíz convencional en otros países como Canadá (61.65), Estados Unidos (26.39) y Sur África de 2.92 (Barfoot & Brookes, 2006), muestran la importancia de esta metodología y la utilidad del EIQ. Puesto que, así los países compartan las tecnologías transgénicas, éstas al ser expuestas bajo diferentes parámetros agroecosistemicos su comportamiento sera diferente y en cierta medida determinará la respuesta del cultivo, lo que en términos ambientales se puede ver reflejado, como en este caso, en EIQ diferentes que muestran la importancia que cada país posea bases de datos actualizadas e inventarios completos de las tecnologías transgénicas que han introducido y sus posibles efectos (estos efectos ligados al consumo de insecticidas y herbicidas específicamente).

Adicional al calculo del EIQ de campo se revisó la categoría toxicológica de cada producto, de los 4 insecticidas que se aplicaron para el control de plagas en el cultivo de maíz convencional, éstos difieren en su categoría toxicológica (Ver tabla 2). Uno de los insecticidas usados está clasificado con la categoría I (Extremadamente tóxico), dos con categoría III (Mediamente tóxico) y sólo uno con categoría IV (ligeramente tóxico)

Tabla 2: Categoría toxicológica de insecticidas usados en la tecnología convencional del cultivo de Maíz

INSECTICIDA	INGREDIENTE ACTIVO	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA*
Atabron	Clorfluazuron	IV
Lorsban	Clorpirifos	III
Match	Lufenuron	III

INSECTICIDA	INGREDIENTE ACTIVO	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA*
Methavin	Metomyl	I

* Categorías establecidas por el ICA según Decreto 775 de 1990

Mientras en la tecnología convencional se registró un promedio de 5.8 aplicaciones con 4 insecticidas y 5 aplicaciones con 5 diferentes herbicidas, en la tecnología transgénica se registró sólo 1 aplicación con 1 herbicida y cero aplicaciones de insecticidas. Este comportamiento permite sugerir que para el ciclo de cultivo evaluado, la zona de cultivo y la tecnología transgénica se observa una ganancia ambiental a favor de esta tecnología, que está asociada a la reducción de los efectos nocivos de la aplicación de agroquímicos, entre los cuales están: bioacumulación, daño a especies no blancos, reducción de la diversidad, contaminación de fuentes hídricas, contaminación del suelo, eliminación de micotoxinas en maíz, entre otros (Carpenter, 2011).

En cuanto a las aplicaciones de herbicidas, se encontró que en todos los lotes que usan la tecnología transgénica aplican Finale para el control de arvenses. La tabla 3 indica que éste herbicida es de categoría toxicológica IV (ligeramente tóxico) lo que coincide con los estudios reportados por Brookes y Barfoot (2008). Estos autores concluyen que para el caso de los herbicidas, a pesar que las aplicaciones no siempre se reducen, la tecnología transgénica facilita la adopción de insumos químicos más amigables con el medio ambiente y la salud humana. Los herbicidas que se aplican en un ciclo de cultivo de maíz con la tecnología convencional, uno es altamente tóxico, tres son medianamente tóxico y uno es ligeramente tóxico.

Tabla 3. Herbicidas aplicados durante un ciclo productivo de maíz convencional y transgénico

HERBICIDA	INGREDIENTE ACTIVO	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA*
Accent	Nicosulforun	III
Atrazina	Atrazina	III
Gramoxone	Paraquat	I
Tordon	Picloram + Acido 2,4-D	III
Finale**	Glufosinato de amonio	IV

* Categorías establecidas por el ICA según Decreto 775 de 1990

** Herbicida aplicado en las dos tecnologías (convencional y transgénica)

EIQ en el cultivo de Algodón.

Para el cultivo de algodón se presentó un panorama diferente al encontrado en el cultivo de maíz para las dos tecnologías. En este cultivo se encontró una gran número de aplicaciones como a su vez un gran número de productos para el control tanto de plagas como de arvenses. Debido a lo anterior y en aras de presentar un análisis más completo los cálculos de insecticidas y herbicidas se encuentran reportados independientes para cada tecnología, finalmente se hace la sumatoria para obtener el EIQ de campo total como se mencionó anteriormente.

Asi mismo en la tecnología transgénica en los lotes muestreados se encontraron dos tecnologías diferentes por lo tanto se realizó el calculo del EIQ de campo para cada una.

Insecticidas

En la tabla 5 se presenta la información sobre los insecticidas utilizados en la tecnología convencional donde se encontró que se aplican 11 diferentes insecticidas con un promedio de aplicación de 1.45 para un ciclo de cultivo (Tabla 4). Todos los insecticidas aplicados tienen categoría toxicológica I, II y III, es decir de mediana a alta toxicidad (Ver tabla 5). El valor total del EIQ para insecticidas en la tecnología convencional fue de 162,58 (tabla 5).

Tabla 4. EIQ de campo calculado para insecticidas en la tecnología convencional en Algodón (I.A Ingrediente activo, Dosis: kg/ha)

TECNOLOGÍA CONVENCIONAL					
INSECTICIDA	EIQ	I.A (%)	Dosis	No aplicaciones	Total
Match	16,29	0,05	0,40	1,5	0,49
Lorsban 4EC	26,85	0,25	1,13	2	15,17
Karate	18,35	0,05	0,50	2	0,92
Actara 25W	33,3	0,25	0,70	1,33	7,75
Mectin 1.8 EC	34,68	0,18	0,35	1	2,18
Regent 250 FC	88,25	0,25	0,35	2,66	20,54
Metil	35,2	0,8	2,00	1,5	84,48
Larvin 80	23,3	0,34	1,50	1	11,88
Spock 18 EW	36,35	0,18	0,50	1	3,27
Nufos 4 E	26,85	0,44	1,20	1	14,18
Rimon I	14,33	0,1	1,20	1	1,72
TOTAL EIQ (campo) INSECTICIDAS					162,58

Tabla 5: Categoría toxicológica de insecticidas usados en la tecnología convencional del cultivo de algodón (I.A Ingrediente activo)

Insecticida	I.A	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA ICA
Match E5	Lufenuron	III
Lorsban 4EC	Clorpirifos	
Regent 250 FC	Fipsonil	

Larvin 80	Thiodicarb	II
Nufos 4 EC	Clorpirifos	
Rimon I	Novalusan	
Actara 25W	Tihamethoxan	
Spock 18 EW	Zeta - Cipermetrina	
Methavin 90 PS	Metomil	
Mectin 1.8 EC	Abamectina	I
Metil	Metilparation	I

La tabla 6 muestra los valores de EIQ obtenidos para las dos tecnologías transgénicas encontradas en campo: NUOPAL BG/RR y DP 455 BG/RR. Para la primera, se registraron 11 insecticidas diferentes con un promedio de aplicación de 1,53 obteniéndose un EIQ de 270,87; mientras que para la segunda tecnología (DP 455 BG/RR) se registraron 14 diferentes insecticidas con el mismo promedio de aplicación de la otra tecnología transgénica y se obtuvo un EIQ de campo de 252,29.

Estos resultados sugieren que el valor de EIQ de campo calculado se verá afectado principalmente por la dosis y el número de aplicaciones, ya que al ser el índice un producto su valor final aumentara o disminuirá con base a estas variables. Se puede concluir entonces que así se tenga un producto con un alto EIQ su efecto estará relacionado con el número de veces y la cantidad que se aplique.

Tabla 6. EIQ de campo calculado para insecticidas comparando las dos tecnologías transgénicas en Algodón (I.A. Ingrediente activo; Dosis: kg/ha)

TECNOLOGÍA TRANSGÉNICA NUOPAL BG/RR					
INSECTICIDA	EIQ	I.A. (%)	Dosis	No aplicaciones	Total
Match E5	16,29	0,05	0,43	1,50	0,53
Lorsban 4EC	26,85	0,25	1,20	1,66	13,37
Actara 25W	33,3	0,05	0,06	1,50	0,15
Mectin 1.8 EC	34,68	0,18	0,63	1,00	3,93
Regent 250 FC	88,25	0,02	0,34	2,25	1,35
Metil	35,2	0,8	2,00	2,50	140,80
Larvin 80	23,3	0,48	1,44	1,40	22,55
Spock 18 EW	36,35	0,18	0,50	2,00	6,54
Nufos 4 EC	26,85	1,8	1,20	1,00	58,00
Rimon I	14,33	4,8	0,20	1,00	13,76
Methavin 90 PS	22	0,9	0,50	1,00	9,90
EIQ (campo) PARCIAL DE INSECTICIDAS					270,87
TECNOLOGÍA TRANSGÉNICA DP 455 BG/RR					

INSECTICIDA	EIQ	I.A (%)	Dosis	No aplicaciones	Total
Match E5	16,29	0,05	1,4	1,25	1,43
Regent 250 FC	88,25	0,02	0,35	3,33	2,06
Metil	35,2	0,8	1,8	2,4	121,65
Actara 25W	33,3	0,05	0,08	1,5	0,20
Mectin 1.8 EC	34,68	0,18	0,5	1	3,12
Spock 18 EW	36,35	0,18	0,5	3,2	10,47
Larvin 80	23,3	0,48	1,3	1	14,54
Lorsban 4EC	26,85	0,25	1,25	1	8,39
Latigo EC	36,35	0,5	1	1	18,18
Lannate 20	22	0,9	1	1	19,80
Orthene 75 SP	24,88	0,75	0,7	2	26,12
Efectrina 200	36,35	2	0,35	1	25,45
Insectrina 20 EC	36,35	0,02	0,35	1	0,25
Dimilin 25	25,33	0,25	0,1	1	0,63
EIQ (campo) PARCIAL DE INSECTICIDAS					252,29

Los insecticidas utilizados en los dos genotipos de la tecnología transgénica pertenecen a todos los tipos de categorías toxicológicas (tabla 7), incluyendo 3 categoría I, que es la categoría de mayor toxicidad.

Tabla 7: Categoría toxicológica de insecticidas usados en las tecnologías transgénicas (I.A Ingrediente activo).

Insecticida	I.A	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA ICA
Dart 15 SC ***	Teflubazuron	IV
Dimilin 25 ***	Diflubenzuron	
Match E5	Lufenuron	III
Lorsban 4EC	Clorpirifos	
Regent 250 FC	Fipsonil	
Larvin 80	Thiodicarb	
Nufos 4 EC	Clorpirifos	
Rimon I	Novalusan	
Orthene 75 SP ***	Acetato	
Actara 25W	Tihamethoxan	II
Spock 18 EW	Zeta - Cipermetrina	
Methavin 90 PS	Metomil	
Efectrina 200	Cipermetrin	
Insectrina 20 EC	Cipermetrin	
Latigo EC	Clorpirifos	

Mectin 1.8 EC	Abamectina	I
Metil	Metilparation	I

*** Insecticidas que sólo se aplican en la tecnología DP 455 BG/ RR

Para el cultivo del algodón no se registraron diferencias en relación a los valores de EIQ parcial de campo para los insecticidas entre la tecnología convencional y la tecnología transgénica. Esto indica que para éste cultivo, en el municipio de El Espinal y en el primer semestre del 2009, la tecnología transgénica no ofrece beneficios ambientales, comparada con la tecnología convencional en cuanto al control de plagas, puesto que el EIQ registró mayores valores al igual que mayor número de productos y mayor promedio de aplicación. Esto sugeriría entonces que las plagas del cultivo de algodón están generando algún tipo de resistencia a los transgenes de la planta.

Los valores reportados para cultivos de algodón, como se mencionó anteriormente sólo se encuentran publicados para la tecnología de resistencia a insectos lepidópteros (RIL) ó tolerancia a herbicidas (TH) de manera independiente. Se encontró que para el año 2009 en China para la tecnología (RIL), el algodón convencional obtuvo un EIQ de 126 mientras que la tecnología transgénica de 83, en India para el algodón convencional se encontró un EIQ de 70 y para la tecnología transgénica el índice tuvo un valor de 34 (Brookes y Barfoot, 2011).

Se observa entonces como para otros países la tecnología transgénica si brinda beneficios en términos de consumo de insecticidas cuando se compara con su homologo convencional, comportamiento que no se observó en la zona evaluada

Herbicidas

La tabla 8 muestra lo encontrado con respecto a los herbicidas aplicados en relación con la tecnología convencional y las dos tecnologías transgénicas para un ciclo de cultivo del algodón. Para el caso de la tecnología convencional, se registraron aplicaciones de 5 diferentes herbicidas, con un promedio de aplicación de 1.36 para un valor de EIQ de campo de 101. Para el genotipo transgénico NUOPAL BG/RR se registraron 3 herbicidas diferentes con un promedio de aplicación de 1.23 con un EIQ de campo de 64.87. Finalmente, para el genotipo DP 455 BG/RR se registraron 4 herbicidas diferentes, promedio de aplicación de 1.17 para un valor de EIQ de campo de 72,51.

Tabla 8. EIQ de campo calculado para herbicidas comparando las dos tecnologías transgénicas y convencional en Algodón. (I.A: Ingrediente activo; Dosis: kg/ha)

NUOPAL BG/RR					
HERBICIDA	EIQ	I.A (%)	Dosis	No aplicaciones	Total
Round up brio	15,33	0,48	2,32	1,71	29,19
Estelar	15,33	0,41	2,75	1	17,28
Glifosol	15,33	0,48	2,5	1	18,40
TOTAL EIQ (campo) HERBICIDAS					64,87
DP 455 BG/RR					

HERBICIDA	EIQ	I.A (%)	Dosis	No aplicaciones	Total
Round up brio	15,3	0,48	2,35	1,71	29,51
Estelar	15,33	0,41	2,75	1,00	17,28
Glifosol	15,33	0,48	3	1,00	22,08
Finale	20,2	0,15	1,2	1,00	3,64
TOTAL EIQ (campo) HERBICIDAS					72,51
TECNOLOGÍA CONVENCIONAL					
HERBICIDA	EIQ	ai	Dosis	No aplicaciones	Total
Dualgold	22	0,96	1,06	1	22,39
Round up brio	15,33	0,48	2	1,5	22,08
Karmex	26,47	0,8	1	1,66	35,15
Finale	20,2	0,15	1,13	1,66	5,68
Estelar	15,33	0,41	2,5	1	15,71
TOTAL EIQ (campo) HERBICIDAS					101,01

A diferencia de lo encontrado con los insecticidas, para las aplicaciones de herbicidas el EIQ de campo calculado mostró una reducción para las tecnologías transgénicas de aproximadamente 30 puntos respecto a la convencional, indicando que para el caso específico de control de arvenses hay una reducción del efecto ambiental ligado al consumo de estos productos, sin embargo es importante anotar que esta reducción se pudo haber presentado por que para la tecnología convencional se usa un mayor número de productos (5) que los usados en las tecnologías transgénicas.

Todos los herbicidas usados en las dos tecnologías transgénicas son de categoría toxicológica III, según se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Categoría toxicológica de herbicidas usados en la tecnología convencional y transgénicas del algodón. (I.A: Ingrediente activo)

HERBICIDA	I.A	CATEGORÍA TOXICOLÓGICA ICA
Dualgold	Metaloclor	III
Karmex	Diusan	
Finale	Glusofinato	
R Brio	N fosfometil	
Estelar Glifosol	Glifosato	

Análisis conjunto

Los resultados obtenidos para el cultivo del algodón indican que al ser un cultivo mas susceptible al ataque de plagas, genera un mayor efecto ambiental ligado al consumo de insecticidas, lo que también se observó en las dos tecnologías transgénicas evaluadas en campo, por lo tanto se concluye que la tecnología transgénica no generó una ganancia ambiental en la zona y en el periodo de cultivo evaluado, por lo que se recalca nuevamente la importancia de hacer estudios caso por caso y seguidos en el tiempo que puedan mostrar alguna variación respecto al consumo de insecticidas y así determinar si es o no efectiva implementar alguna tecnología transgénica en una zona de cultivo en particular.

Finalmente, la tabla 10 resume lo encontrado para cada tecnología. El valor total del EIQ de campo para la tecnología convencional fue de 263.59, para el genotipo transgénico NUOPAL BG/RR fue de 263.59 y para el genotipo transgénico DP455 BG/RR fue de 324.79.

Esencialmente, los resultados muestran que para el cultivo del algodón, en el municipio del El Espinal y durante el primer semestre de 2009, la tecnología transgénica no ofreció ninguna ventaja ambiental respecto a su homologo convencional

Tabla 11. EIQ de campo calculado para insecticidas y herbicidas comparando las dos tecnologías agrícolas convencional vs transgénica del algodón y maíz (T: Transgénica).

VARIEDAD	TECNOLOGÍA	EIQ de campo		
		INSECTICIDA	HERBICIDA	EIQ TOTAL
ALGODÓN	Convencional	162,58	101,01	263,59
	Nuopal BG/RR (T)	270,87	64,87	335,75
	DP 455 BG/RR (T)	252,29	72,51	324,79

Los valores reportados en este trabajo, no son similares a los reportados para cultivos transgénicos en otras partes del mundo. Para algodón TH, por ejemplo, se reportan valores de EIQ de campo para China de 1,35, para México de 1,62, para Argentina y Sudáfrica de 27, 54 (Brookes y Barfoot, 2006). Esto probablemente se explique, por las características de la agricultura tropical con altísimas poblaciones de insectos plagas y malezas expresándose durante todo el cultivo, y por uso de variedades desarrolladas para condiciones de zonas templadas, que serían menos eficientes en ecosistemas tropicales. Ese asunto merece un programa de investigación completo.

Por otro lado, en la época se verificaron problemas legales entre las agremiaciones de productores de algodón y la empresa dueña de la tecnología transgénica. Esos problemas pudieron derivar en una crisis de confianza en la tecnología por parte de los agricultores, que posiblemente llevo a que los genotipos transgénicos fueran tratados como convencionales. En todo caso la Confederación Colombiana del Algodón (Conalgodón) entabló una demanda contra COACOL, empresa titular de los derechos sobre la tecnología

transgénica, basada en las pérdidas observadas en la temporada aldonera de 2008-2009. 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 (Portafolio, 2009). Posteriormente, mediante resolución 846 del 17 de febrero de 2011, el ICA revoca la sanción, debido a que considero que en el proceso que llevó a imponer la sanción, se omitió información y no se cumplió con las respectivas notificaciones a la multinacional (Portafolio, 2011).

Un estudio realizado por 10 años en Estados Unidos para algodón TH y algodón convencional, encontró valores de EIQ de campo de 51,8 y 46, 3 respectivamente (Brookes y Barfoot, 2009). En este estudio, los autores sugieren que no hay diferencias numéricas que puedan concluir un beneficio ambiental por parte de la tecnología transgénica en el cultivo de algodón, coincidente con lo que se está reportando en este trabajo.

CONCLUSIONES

- Con el uso del híbrido transgénico Herculex I® en maíz, se disminuyen a cero las aplicaciones de insecticidas y a solo a una (1) aplicación de herbicidas. Cuando en la tecnología convencional se hacen 5.8 aplicaciones de insecticidas y 5 aplicaciones de herbicidas. El resultado fue un EIQ de campo para la tecnología transgénica de 3,03 y de 42 para la tecnología convencional. Todo ello muestra beneficios ambientales en la aplicación de la tecnología transgénica en el cultivo del maíz, en el municipio de Valle de San Juan, en el segundo semestre de 2009.
- Para el cultivo de algodón de la zona de El Espinal, en el segundo semestre del 2009 la tecnología transgénica no brindó beneficios ambientales puesto que los EIQ de campo calculados para las dos tecnologías transgénicas en campo fueron superiores al encontrado para la tecnología convencional. Se aclara que para este resultado pudieron haber influido los problemas legales entre las agremiaciones de productores y la empresa propietaria de la tecnología transgénica.
- El índice EIQ de Kovach (1992) permitió establecer los efectos ambientales, mediante análisis cuantitativos, que permiten hacer comparaciones entre diferentes tecnologías aplicadas a la agricultura.
- Los resultados de este estudio, son aplicables solamente al análisis comparativo entre la tecnología transgénica y la tecnología convencional, usadas en el cultivo del maíz, en el municipio de Valle de San Juan, y en el cultivo de algodón, en el municipio de El Espinal, en el departamento del Tolima (Colombia), durante el primer semestre de 2009. Para llegar a conclusiones más generales, se necesita hacer el seguimiento a los cultivos y a las tecnologías, en diferentes agroecosistemas y por varios periodos productivos.
- Las diferencias numéricas encontrada en los valores del EIQ para distintos países y el mismo cultivo, muestran la importancia de realizar estudios caso por caso, y región por región. Para cada evento transgénico, genotipo convencional y región determinada, las condiciones a las que se somete el cultivo son diversas, por lo tanto la variedad de efectos ambientales son también diferentes y generan variaciones a nivel cuantitativo en el índice calculado.

BIBLIOGRAFÍA

Amman, K., Garden, B., 2004. The impact of agriculture biotechnology on biodiversity. A review University of Bern. 23 (8): 388-394

Brookes, G., Barfoot, P., 2006. Brief 36 GM Crops: The first ten years – Global socio – economic and environmental impacts. *ISAAA Briefs No. 36*. Ithaca, NY.

Brookes, G. 2008. El impacto del uso del maíz MG resistente a insectos en Europa desde 1998. *Int. J. Biotechnology*, 10 (2/3): 148-166

Brookes, G. 2011. GM crops: global socio-economic and environmental impact 1996-2009. PG Economics UK.

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. Focus on environmental impact. Biotech crops: evidence, outcomes and impacts 1996 – 2007. *Brief. AgBioForum*. 12(2): 184-208.

Carpenter, J. 2011. Impacts of GM crops on biodiversity. *GM crops 2*: 1-17.

Dale P., Clarke, B., Fontes E., 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature*. 20: 567-574

FAO. 2005. Genetically modified organisms in crops production and their effects on the environment: methodologies for monitoring and the way ahead. Expert consultation 18 – 20 January 2005. Report and selected papers. Ghosh, K. & Jepson, C. Edt. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/009/a0802e/a0802e00.HTM> consultado el 25 de marzo de 2011.

Herrera Estrella, L. R. 2000. Genetically modified crops and developing countries. *Plant Physiology*. Vol. 124: 923-925

James, C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. ISAAA. Brief No 42. Ithaca, NY.

Kleter. G., Bhula. R., Bodnaruk. K., Carazo. K., Felsot. A., Harris. C., Katayama. A., Kuiper. H., Racke. K., Rubin. B., Shevah. Y., Stephenson. G., Tanaka. K., Unsworth. J., Wauchope. R and Wong S. 2007. Altered pesticide use on transgenic crops and the associated general impact from an environmental perspective. *Pest Management Science*. (63):1107-1115.

Kleter, G., Kuiper, H. 2003. Assessing the environmental impact of changes in pesticide use on transgenic crops. En: *Proceeding of the Frontis Workshop on Environmental Cost and Benefits of Transgenic Crops*. Wageningen, 1 – 4 June 2003. Disponible en http://library.wur.nl/frontis/transgenic_crops consultada el 25 de marzo de 2011.

Kovach, J., Petzoldt, J., Degnil, J., and Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences Bulletin. Numerous 139.

Nap, J., Metz, P., Escaler, M., And Conner, A. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. The Plant Journal (33): 1-18

Portafolio, 2009. ICA sancionó a Monsanto por semillas OGM de algodón. Disponible en http://www.swissaid.org.co/kolumbien/global/pdf/ICA_sancion_a_Monsanto_por_semillas_OGM_de_algod_n.pdf consultada el 25 de marzo de 2011.

Pierre, F., Betancourt, P. 2007. Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quibor, Venezuela. Bioagro 19: 69 – 78.

Portafolio, 2011. ICA reversa una sanción a la multinacional Monsanto. Diponible en <http://www.portafolio.com.co/noticias/pais/ica-reversa-una-sancion-la-multinacional-monsanto> consultada el 25 de marzo de 2011.

Pradel, W., Forbes, G., Ortiz, O., Cole, D., Wanigaratne, S., Maldonado, L. 2009. Use of the environmental impact quotient to estimate impacts of pesticide usage in three perucvian potato production areas. Morking Paper 2009 – 2. CIP. Disponible en http://www.infoandina.org/sites/default/files/recursos/Use_of_the_environmental_impact.pdf Consultada el 25 de marzo de 2011.

Ramirez, M. , Jacobo, JL. 2002. Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de manzano del noroeste de Chihuahua, México. Revista Mexicana de Fitopatologia 20: 168 – 173.