

MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO



Contenido

1. El maíz **3**
2. Maíz genéticamente modificado **7**
3. Maíz resistente a insectos (Bt) **9**
4. Maíz tolerante a herbicidas **13**
5. Legislación **16**
6. Aspectos de seguridad **21**
7. Evaluación de seguridad del maíz GM **21**
8. Organizaciones internacionales frente a los OGM **21**
9. Evaluación de seguridad del maíz resistente a insectos en Colombia **21**
10. Evaluación de seguridad del maíz tolerante a herbicidas en Colombia **21**
11. Casos controvertidos **37**
12. El futuro **39**
13. Glosario **43**
14. Referencias **43**

Maíz Genéticamente Modificado

PUBLICACIÓN DE AGRO-BIO

DIRECTORA EJECUTIVA

Osiris Ocando

-

AUTOR

Carlos Arturo Silva Castro

Ingeniero Agrónomo

MSc. en Producción de Cultivos

Universidad Nacional de Colombia

Ph.D. en Fitotecnia

Universidad Federal de Viçosa, Brasil

-

Derechos Reservados

© Copyright AGRO-BIO

-

DISEÑO Y PRODUCCIÓN

Servicios Creativos

-

ISBN 0000000000000000

-

Primera edición Octubre 2005

Bogotá D.C., Colombia

AGRO-BIO

Calle 90 No. 11A - 34 Oficina: 409

Teléfono: 610 1029 • Fax: 610 1247

Bogotá D.C., Colombia

E-mail: agrobio@agrobio.org

Web: www.agrobio.org





1

El maíz



Origen

El origen del maíz (*Zea mays* subsp. *mays* L.) ha sido objeto de numerosos trabajos, con base en los cuales se han sugerido varios sitios de origen que van desde Paraguay en Sur América hasta Guatemala y México en Mesoamérica.

El lugar de origen que sugiere la evidencia científica como más razonable identifica a México como el lugar más probable de origen o a Guatemala como segunda opción (Galinat, 1995; Wilkes, 1989). Otras revisiones coinciden en afirmar que el maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos más desarrollados emigraron hacia otros sitios de América. Por otro lado, la evidencia más antigua sobre la domesticación del maíz proviene de sitios arqueológicos de México, donde pequeñas tucas con edad estimada de 7.000 años han sido excavadas. Este estimativo coincide con el dato generalmente aceptado para el origen de la agricultura, tanto en el viejo como en el nuevo mundo entre 8.000 y 10.000 años, (Dowswell, *et al.*, 1996).

El maíz pertenece a la tribu Maydeae, familia Gramineae (Poaceae). Esta tribu incluye tres géneros de origen americano: *Zea*, *Euchlaena* o teocintle y *Tripsacum*. Tanto el teocintle como el *Tripsacum* han sido considerados como parientes cercanos del maíz.

El teocintle se encuentra en México y Guatemala y se da en dos formas: anual de utilidad como forraje y perenne, menos extendida, res-

tringida a algunas zonas de México. El *Tripsacum*, se encuentra en toda la América Central, extendiéndose por el norte a algunas regiones de los Estados Unidos y por el sur hasta Brasil. En estado natural se dan dos formas diploide y tetraploide, siendo su único aprovechamiento como planta forrajera.

Entre las diferentes hipótesis e interpretaciones que explican la filogénesis del maíz y sus parientes cercanos se destacan las siguientes:

1. La hipótesis de la descendencia del teocintle. Es la más antigua, fue planteada por Ascherson en 1895 y propone que el maíz fue domesticado por selección humana a partir del teocintle. Es la hipótesis más ampliamente aceptada en el presente (OECD, 2003; Beadle, 1986; de West & Harlan, 1972; Doebley, 1990; Galinat, 1977; Iltis and Doebley, 1980; Goodman, 1988; Kato & López, 1990; Timothy *et al.*, 1979). El problema principal de esta hipótesis ha consistido en explicar la transformación del fruto del teocintle al del maíz, dadas las grandes diferencias que existen en el fruto de ambas especies. Sin embargo, Doebley *et al.*, 1990 encontró cinco genes que controlan características claves que distinguen al maíz del teocintle, y más recientemente Wang *et al.*, 1999 ha discutido sobre un gen que controla el carácter de la inflorescencia tanto en maíz como en teocintle

2. La hipótesis tripartita. Asume que existió un maíz silvestre en el pasado, el cual se ha extinguido en el presente. Este maíz silvestre dio origen a los teocintles anuales por cruzamiento con *Tripsacum*. Posteriores cruzamientos de teocintle con maíz silvestre dieron origen a las razas modernas de maíz (Mangelsdorf y Reeves, 1939; Mangelsdorf, 1974). Más tarde Mangelsdorf y colaboradores 1986, basados en observación de las progenies del cruzamiento de *Z. diploperennis* con la raza de maíz Palomero Toluqueño, propusieron que los teocintles anuales son el producto de tal cruzamiento. El hecho de que hasta ahora no se hayan encontrado evidencias de la existencia de un maíz silvestre, esta hipótesis con el tiempo ha perdido credibilidad.

3. La hipótesis del origen común. Propone que el maíz, el teocintle y el *Tripsacum* se originaron por una “evolución divergente” de un ancestro común, y que el *Tripsacum* probablemente divergió en primer

lugar. Esta hipótesis concibe que existió una planta de maíz silvestre que posteriormente fue transformada en una planta cultivada por la selección cuidadosa del hombre (Weatherwax, 1955; Randolph, 1959). El postulado de que el maíz silvestre existió en el pasado no hace aceptable esta hipótesis, como en el caso de la hipótesis tripartita.

- 4. La hipótesis de la mutación sexual catastrófica.** Esta hipótesis es brillantemente imaginativa al proponer que la mazorca del maíz evolucionó desde la inflorescencia masculina del teocintle por una repentina transformación sexual epigenética, que implicó una sucesión de fenómenos, incluyendo la selección humana de una anomalía, quizás provocada ambientalmente (Iltis, 1983). El hallazgo de los cinco genes mutantes que controlan caracteres claves que separan al maíz del teocintle (Doebly et al., 1990) hacen indefendible esta hipótesis.
- 5. Doebly (1990) investigó las relaciones filogenéticas de las especies del género *Zea*,** a través de estudios isoenzimáticos y moleculares que corroboran la teoría del teocintle como ancestro del maíz, siendo el más cercano el teocintle anual (*Zea mays ssp parviglumis*). Otras hipótesis en cuanto a la genealogía y evolución del maíz indican al teocintle, como el ancestro del maíz (Bejarano *et al.*, 2000; Ascherson, 1875; Harsberger, 1893; Collins, 1912; Galinat, 1970; Iltis, 1983; Doebly, 1983; Wilkes, 1989).

La mayoría de las hipótesis anteriormente descritas consideran un origen común para *Tripsacum*, teocintle y maíz, también que el *Tripsacum* divergió en primer lugar y que el teocintle y el maíz lo hicieron posteriormente. Si el maíz divergió del teocintle o este del maíz, bajo la influencia o no del hombre, no está totalmente elucidado, en realidad botánicos, taxónomos y genetistas, no han llegado a ponerse de acuerdo sobre cuál es el origen filogenético del maíz.

Desde el punto de vista de las evidencias arqueológicas y botánicas y de las investigaciones en genética y mejoramiento del maíz, tanto este como el teocintle, han continuado evolucionando desde tiempos ancestrales. Independientemente de la validez de cualquiera de las hipótesis hasta hoy planteadas es evidente que el origen y diferenciación del maíz y del teocintle anual mexicano, involucran múltiples eventos y tuvieron lugar en una época anterior a la domesticación del cultivo.

Evolución del maíz: hibridación entre razas

El maíz y el teocintle tienen cromosomas homólogos (funcionalmente idénticos) e hibridan fácilmente. El teocintle es considerado por algunos autores como la especie que ha tenido la mayor influencia en el incremento de la variabilidad y en la generación de las principales razas tradicionales en México (García *et al.*, 1998).

El cruzamiento entre razas ha sido uno de los factores más importantes en la evolución del maíz no solo en México y mesoamérica, reconocidos como centro de origen del cultivo, sino en muchas otras partes del continente.

Desde el punto de vista de la descendencia lineal, se describen seis razas principales de maíz: Palomero Toluqueño, de la cual se derivan todas las razas de maíz reventón; Complejo Chapalote Nal-Tel, antecesor de numerosas razas de México, América Central y Colombia; raza Pira de la cual se derivan todos los maíces duros tropicales de endospermo amarillo; raza Confite Morocho, de donde derivan los maíces de ocho hileras; raza Chullpi, originaria de los maíces dulces y amiláceos, y raza Kculli, de la cual se derivan todos los maíces con coloración de aleurona y pericarpio (Bejarano *et al.* 2000).

Domesticación del maíz

Dentro de todas las plantas cultivadas, el maíz tiene el más elevado nivel de domesticación, logrado a través de la selección que resultó en una especie totalmente dependiente del hombre, pues la transformación eliminó por completo las características ancestrales de supervivencia en la naturaleza. Este proceso generó una gran variedad de maíces, más de 300 razas y miles de variedades adaptadas a los más diversos ambientes ecológicos y las preferencias de sus cultivadores. Todo esto se debió a una selección masal conducida por miles de generaciones y sin interrupción por las antiguas poblaciones americanas (Paterniani, 2000).

El maíz, una de las pocas especies cultivadas originaria del Nuevo Mundo, era la principal planta alimenticia de los indígenas cuando Colón descubrió América.

Colón vio por primera vez el maíz en la isla de Cuba en 1492, y fue quien lo introdujo a Europa, luego de su regreso de América, en el primer viaje realizado en 1493. A África y Asia fue llevado a comienzos de 1500 por comerciantes portugueses. Fue durante el siglo XIX cuando las primeras variedades de maíz totalmente distintas de las cultivadas por los indios fueron desarrolladas por los pioneros americanos, usando una selección masal simple, con lo que se inició el desarrollo de variedades de polinización abierta. En el siglo XX, la intensificación de la investigación en mejoramiento genético, condujo a un incremento espectacular del potencial de rendimiento con la creación de híbridos con alta productividad, que revolucionaron la producción de este cereal, primero en Norte América y más tarde en otros países del mundo (Dowswell, *et al.*, 1996).

Biología

El maíz (*Zea mays ssp mays*), es una especie monoica, que se caracteriza por tener la inflorescencia femenina (mazorca) y la masculina (espiga) separadas pero en la misma planta. El maíz es una especie de polinización abierta (alógama), la polinización ocurre con la transferencia del polen, por el viento, desde la espiga a los estigmas (cabellos) de la mazorca. Cerca del 95% de los óvulos son fecundados con polen de otra planta y un 5% con el mismo polen, aunque las plantas son completamente autocompatibles (Poehlman, 1959).

El maíz ha sido clasificado en varios grupos de acuerdo con la estructura y composición del endospermo **Tabla 1**. Las variaciones en los tipos de endospermo confieren al maíz diferentes maneras de preparación culinaria y definición del uso.



Tabla 1. Clasificación del maíz de acuerdo con la estructura y composición del endospermo

Grupo	Nombre común	Descripción
<i>Z. mays indentata</i>	Maíz dentado	Grano de textura dentada. Constituye, 75% de la producción mundial, principalmente en países desarrollados
<i>Z. mays indurada</i>	Maíz duro	Endospermo extremadamente duro, que no forma depresión dentada a la madurez. Constituye, 15% de la producción mundial y es usado principalmente para la producción de harinas
<i>Z. mays amylaces</i>	Maíz harinoso	Grano grande blando apto para procesamiento. Muy común en países en desarrollo, molido manualmente y consumido como alimento. Representa entre 10 a 12% de la producción mundial
<i>Z. mays ceritina</i>	Maíz ceroso	El endospermo contiene solo amilopectina dándole una consistencia cerosa. De importancia limitada
<i>Z. mays everata</i>	Maíz reventón (pop corn)	Semillas de cubierta gruesa, con endospermo reventón que al calentarlas revientan de dentro hacia afuera. Se siembra en países desarrollados con propósito industrial. Ocupa menos del 1% del área mundial
<i>Z. mays saccharata</i>	Maíz dulce	El endospermo es totalmente dulce, por la carencia de la enzima que convierte el azúcar en almidón. Importancia menor, ocupa menos de 1% del área mundial
<i>Z. mays tunicata</i>	Maíz tunicado	Los granos están encerrados dentro de vainas. No tiene aplicación agrícola pero es importante dentro de los progenitores ancestrales del maíz

Fuente. Mink & Dorosh, 1987

Importancia

El maíz es el cereal más ampliamente distribuido a nivel mundial y ocupa la tercera posición en cuanto a producción total, detrás del arroz y del trigo. Su cultivo se realiza desde el ecuador hasta los 50º de latitud norte o latitud sur y desde el nivel del mar hasta más de 3000 metros de altitud, en climas cálidos y fríos y con ciclos vegetativos con rangos entre 3 y 13 meses Ningún otro cereal tiene un uso tan variado; casi todas las partes de la planta de maíz tienen valor económico. En la **Tabla 2** se aprecia la importancia del maíz en todos los continentes y la gran variación de los rendimientos promedio, desde 1.6 Ton/ha en África a 8.8 en países de la Unión Europea. Tres regiones Norte América (Estados Unidos 40%), Sur América (Brasil 7%) y Asia (China 18%) producen las tres cuartas partes del maíz a nivel mundial.

Tabla 2. Importancia de la siembra de maíz en el mundo promedios, 1998-2003

Región/país	Área (Millones ha)	%	Rendimiento (Ton/ha)	Producción (Millones Ton)	%
África	26.0	18.7	1.6	42.6	7.0
Asia	43.1	31.0	3.8	163.8	26.8
Canadá	1.2	0.9	7.3	8.7	1.4
Unión Europea	4.3	3.1	8.8	38.1	6.2
Sur América	17.2	12.4	3.4	59.0	9.6
Estados Unidos	28.7	20.6	8.5	244.4	40.0
Otros	18.6	13.4	3.0	55.2	9.0
Global	139.0	100.0	4.4	611.7	100.0

Fuente: Demont & Tollens, 2004



El maíz es esencial para la alimentación humana y animal y fuente de materias primas para la industria. Es usado para producir forraje así como base para la fabricación de una gran cantidad de alimentos y de productos farmacéuticos e industriales, entre ellos, concentrado animal, papel, refrescos, caramelos, tintas, pegamentos, plástico biodegradable, productos de panificación, productos lácteos, salsas, sopas, pinturas, helados, alcohol, aceite comestible, cosméticos, sabores, y una lista casi interminable de productos. El almidón extraído del maíz es de gran pureza, cerca del 25% se comercializa como tal y más del 75% se convierte en edulcorantes y productos de fermentación como el jarabe de maíz con alto contenido de fructosa y etanol. A partir del germen se elabora el aceite de maíz que ocupa el 9% de la producción mundial de aceite vegetal. Aunque es una fuente importante de energía la población mundial consume poco maíz en grano o maíz procesado directamente, si se compara con el consumo de ingredientes alimenticios que tiene como base el maíz. El consumo animal, en los países desarrollados, es el principal uso del maíz, destinándose a la producción de piensos para vacunos, porcinos y avicultura. Por su alto contenido de almidón y baja presencia de fibra el maíz es de fácil consumo por el ganado, constituyéndose en una de las fuentes de energía más concentradas, con alto contenido de nutrientes digestibles totales en relación con otros piensos de grano (Monsanto Agricultura España, 2002).

Utilizaciones del maíz

Alimentación animal	78.0%
Edulcorante	10.1%
Alcohol	6.4%
Almidón	3.1%
Productos Alimenticios	2.4%

Novartis seed, 1997

Alimentos en los que aparece el maíz

Aceite	Almidón	Edulcorantes	Alcohol	Seco molido
Aceite de mesa	Productos de panificación y pastelería	Productos de panificación y pastelería	Bebidas alcohólicas	Harina
Margarina	Chicle	Bebidas		Comidas a base de maíz
Mayonesa	Bebidas de chocolate	Cereales		
Aderezo para ensaladas	Bombones	Bebidas de frutas		
Salsas	Baños de azúcar	Helados		
Sopas	Salsas de asados			
	Relleno de pasteles			

Situación nacional del cultivo del maíz

En Colombia se cultiva maíz en todo el territorio, excepto en las regiones selváticas de las tierras bajas, deshabilitadas o escasamente pobladas por indígenas ajenos a las labores agrícolas. Crece desde el nivel del mar, en las costas del norte y del occidente hasta en alturas de más de 3000 metros. Su cultivo se realiza en condiciones extremas de precipitación, como en la Guajira que tiene un régimen de lluvias muy pobre, o como en el departamento del Chocó que tiene uno de los índices de pluviosidad más elevados del planeta.

El análisis de algunas cifras sobre la evolución del maíz en el país (Tabla 3), indica que hasta comienzo de la década del 90 el área de siembra se mantuvo alrededor de las 800.000 has en promedio, registrándose una drástica caída a partir del 1991, llegando en 1997 a 430.035



has, produciéndose a partir de 2001 una ligera recuperación. La mayor reducción del área se presentó en el sector tradicional donde se dejaron de sembrar entre 1989 y 2003, 278.360 has. Situación inversa se presentó en el cultivo tecnificado con un crecimiento del área en el mismo período de 87.630 has. El porcentaje del área ocupada por el cultivo tradicional que en 1999 representó el 78% descendió en 2003 a 64%.

De otra parte, el comportamiento de la producción (**Tabla 3**), presentó una tendencia decreciente desde 1991 cuando se obtuvieron 1.273.600 ton a 1997 en que cayó a 766.043 ton, iniciando a partir de este año una sensible recuperación, situándose en 2003 en 1.332.582 ton, en gran parte atribuido al incremento de la producción en el cultivo tecnificado que entre 1989 y 2003 fue de 502.064 ton. Este sector contribuyó en 2003 con el 58% de la producción nacional de maíz. El déficit de producción ocasionado por la reducción del cultivo, se suple con importaciones, las cuales se incrementaron de 14.000 tons en 1990 a 1.898.000 tons, cifra record registrada en 1998.

Los rendimientos en el sector tradicional (**Tabla 3**), se han mantenido más o menos constantes en torno a 1.6 ton/ha, mientras que el sector tecnificado, que usa variedades e híbridos mejorados y practicas agronómicas adecuadas, ha registrado incrementos significativos en los últimos años, bordeando las 4.0 ton/ha. El rendimiento promedio nacional registró incrementos, particularmente, en los últimos cinco años entre 2.3 y 2.5 ton/ha. No obstante, la diferencia con el rendimiento promedio global (4.4 ton/ha) y con el de Estados Unidos y la Unión Europea (8.5 y 8.8 ton/ha respectivamente) y aún con Suramérica (3.4 ton/ha), es aún muy grande.

Los principales problemas del cultivo del maíz están asociados con la baja productividad por hectárea, los altos costos de producción y la competencia ejercida por el maíz subsidiado proveniente de Estados Unidos. La drástica reducción del cultivo fue motivada en gran parte por la política de apertura económica adoptada por el país al comienzo de la década del noventa, que afectó principalmente a los cultivos semestrales conformados especialmente por cereales y otros como el frijol, la soya y el algodón, al adoptar, medidas como el desmonte de los precios de sustentación, la reducción de aranceles, la reevaluación del peso y la apertura de las fronteras a la libre competencia.

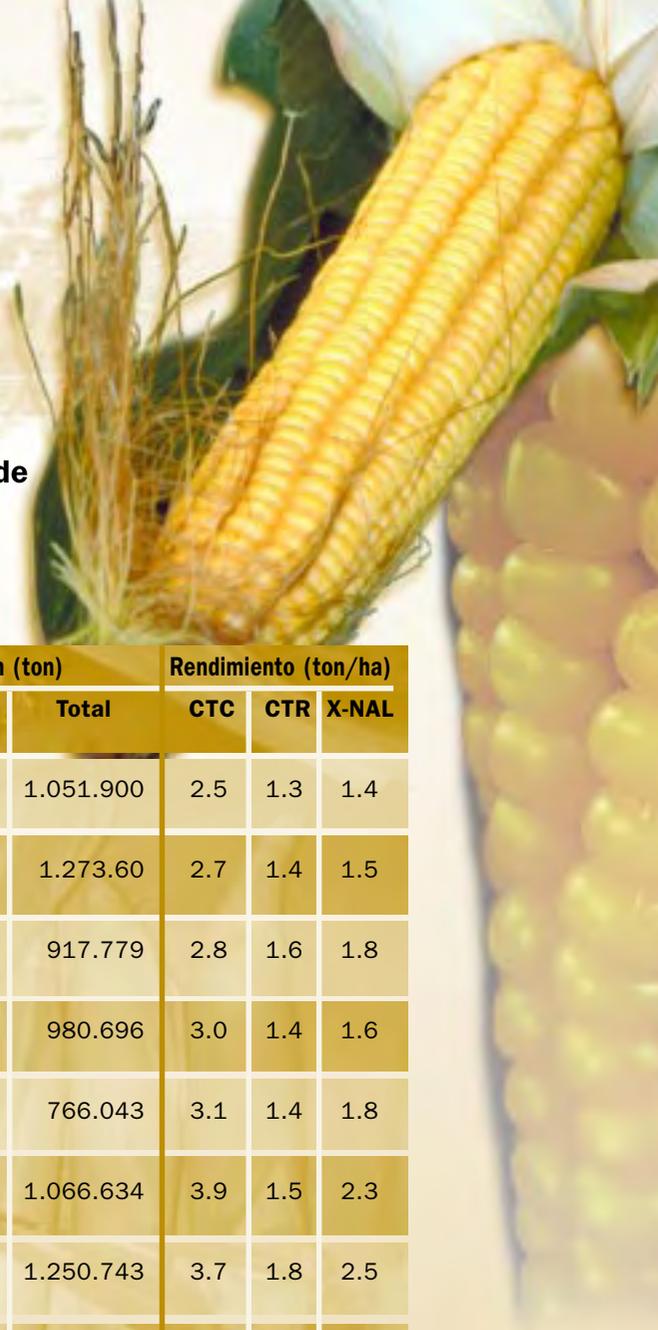


Tabla 3. Superficie, producción y rendimiento de maíz, sistemas de cultivo tecnificado y tradicional, en Colombia. Serie bianual 1989-2003

Año	Superficie (has)			Producción (ton)			Rendimiento (ton/ha)		
	CTC	CTR	Total	CTC	CTR	Total	CTC	CTR	X-NAL
1989	111.270	630.530	741.800	278.175	773.725	1.051.900	2.5	1.3	1.4
1991	110.500	711.300	821.800	299.800	973.800	1.273.60	2.7	1.4	1.5
1993	109.481	398.878	508.359	305.886	611.893	917.779	2.8	1.6	1.8
1995	101.610	490.873	592.483	308.800	671.896	980.696	3.0	1.4	1.6
1997	86.535	343.500	430.035	270.370	495.673	766.043	3.1	1.4	1.8
1999	110.497	345.726	456.223	546.007	520.627	1.066.634	3.9	1.5	2.3
2001	171.448	329.140	500.588	639.235	611.508	1.250.743	3.7	1.8	2.5
2003	198.900	352.170	551.070	780.239	552.343	1.332.582	3.9	1.6	2.4

CTC = Cultivo tecnificado, CTR = Cultivo tradicional; X - NAL = Promedio nacional

Fuente: Minagricultura, 2001 (1989-1991); Bolsa Nacional Agropecuaria, 2005 (1993-2003)

Adicionalmente, los rendimientos y la producción del maíz se ven afectados por la incidencia de plagas y enfermedades. Se han reportado 36 diferentes tipos de plagas y 41 enfermedades con potencial de daño económico al cultivo a nivel mundial (De León, 1978). ●





2

Maíz genéticamente modificado

El desarrollo de las técnicas de ingeniería genética a partir de los años setenta y su incorporación al fitomejoramiento posibilitó la obtención de cultivos genéticamente modificados. El maíz genéticamente modificado es aquel al cual se le han realizado cambios genéticos, insertando uno o varios genes con características de interés, mediante el uso de tecnología de genes o de ADN recombinante. Los genes introducidos en los maíces genéticamente modificados pueden proceder de especies no relacionadas con el maíz, es decir, a través de la tecnología de ADN recombinante es posible introducir genes de bacterias, plantas y animales en plantas de interés. Esto se debe a que todos los organismos vivos están constituidos por ADN, están definidos por la misma molécula de la vida.

Situación Mundial

El cultivo de maíz genéticamente modificado se ha incrementado sustancialmente desde su introducción en el comercio. Los maíces modificados genéticamente que se encuentran actualmente en el mercado responden a dos características agronómicas: resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas. La primera variedad de maíz modificado genéticamente comercializada fue el maíz resistente a insectos, introducida en el año 1996 en los Estados Unidos, James, 2004.

Durante el año 2004, a nivel global se cultivaron 19.3 millones de hectáreas de maíz modificado genéticamente, es decir el 23% del área global de cultivos genéticamente modificados y el 14% de las 140 millones de hectáreas de maíz cultivadas a nivel global (Tabla 4).



Tabla 4. Superficie global cultivada con maíz GM en 2004

Rasgo de la modificación Genética	Superficie (Millones has.)	(%)
Maíz resistente insectos (Bt)	11.2	(14)
Maíz tolerante herbicida (TH)	4.3	(5)
Maíz Bt/TH	3.8	(4)
Total Maíz GM	19.3	(23)
Total cultivos GM	81.0	(100)

Fuente: James, 2004

Desde la introducción por primera vez del maíz modificado genéticamente, su adopción se ha ampliado considerablemente, pasando de 0.3 millones de hectáreas en 1996 a 19.3 en 2004. El área sembrada con maíz MG continuó en ascenso en 2004, compartiendo la tasa de crecimiento más alta con el algodón (25%). Se proyecta que el maíz GM tenga la tasa de crecimiento porcentual más alta, en el corto plazo, a medida que aumente su demanda y en cuanto otros rasgos más benéficos para la industria y el consumidor estén disponibles y sean aprobados.

Los países que siembran maíz genéticamente modificado son Estados Unidos, Canadá, Argentina, Sudáfrica, España, Alemania, Bulgaria, Filipinas, Uruguay y Honduras. En 2004, el mayor crecimiento en este cultivo se presentó en Estados Unidos (James, 2004).

Durante los nueve años del periodo de uso de maíces genéticamente modificados, 1996-2004, la resistencia a insectos (Bt) ha sido la característica dominante, seguida por la tolerancia a herbicida. Sin embargo, el avance en el conocimiento del funcionamiento de los organismos vivos, así como la secuenciación de los genomas vegetales permitirá en un futuro cercano desarrollar plantas con características tan diversas como la tolerancia a la sequía y el aumento en el contenido nutricional, entre otras aplicaciones. ●



3

Maíz resistente a insectos (Bt)

El maíz Bt es una planta modificada genéticamente mediante biotecnología moderna para defenderse a sí misma del ataque de insectos lepidópteros.

Utilizando la tecnología de ADN recombinante se modificó el maíz, insertando un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, Bt, de tal modo, que sus hojas, tallo y polen expresaran la proteína Bt de la bacteria. El maíz Bt constituye una importante y nueva herramienta para el control de los daños y pérdidas causadas por plagas de insectos.

Bacillus thuringiensis

Es una bacteria del suelo que en condiciones naturales produce la proteína cristalina Bt. Esta proteína es el ingrediente activo que ha sido utilizado por los agricultores y jardineros durante 40 años en la agricultura tradicional y orgánica. Las diferentes subespecies de Bt producen diferentes proteínas llamadas proteínas "Cry", existiendo más de 200 tipos que son clasificadas según su estructura y los insectos que controlan (Metz, 2003).

Las proteínas Bt tipo Cry, controlan algunas de las plagas del maíz, entre ellas, el barrenador del tallo o taladro, nombre común con que se designa en Europa a *Ostrinia nubilalis*, uno de los insectos más destructivos y por consiguiente una de las plagas con mayor impacto económico en la producción de maíz. Se ha establecido adicionalmente la capacidad de controlar otros





insectos lepidópteros plaga tales como: el gusano barrenador del Suroeste (*Diatraea grandiosella*), el gusano cortador negro (*Agrotis ipsilon*) y gusano cogollero (*Spodoptera sp*), así como al cucarrón de las raíces, coleóptero del género *Diabrotica* (*Chrysomelidae*), (AGBIOS, 2002). El mecanismo de acción de las proteínas Cry es tan específico que a pesar de ser muy efectivo contra algunas de estas plagas del maíz, no genera efecto sobre otros insectos no objetivo y es seguro tanto para el hombre como para los animales (pájaros, peces, ganado, entre otros). En el caso de los mamíferos no existen receptores para la toxina Bt en la superficie de las células intestinales de mamíferos, por lo cual, los humanos y el ganado, entre otros, no son susceptibles a estas proteínas (Metz, 2003).

Modo de acción

Para que la proteína Bt produzca su efecto insecticida, debe ser ingerida por los insectos susceptibles. La proteína Bt no es tóxica por sí misma, sino que es necesario que ocurran una serie de procesos que solo se dan en un determinado tipo de insectos:

1. El insecto debe tener una digestión alcalina para que los cristales de la proteína Bt se solubilicen. Los mamíferos tienen digestión ácida.
2. Una vez solubles los cristales, estos se deben someter a la acción de unas enzimas específicas que solo existen en determinados insectos y que son necesarias para liberar la parte activa de la proteína.
3. La parte activa debe encontrar unos receptores específicos en el conducto digestivo para que al unirse a ellos se produzca la acción insecticida.



De este modo, la forma de acción de estas proteínas es muy específica, completamente inocua para humanos y animales, respeta a los insectos útiles y al ser una proteína natural biodegradable no produce ningún tipo de contaminación ni en el suelo ni en el agua, Metz, 2003.

Beneficios

Diversos estudios demuestran que existe un beneficio económico significativo al cultivar el maíz Bt, asegurándose un rendimiento cuando hay brotes de taladro. Así mismo, existen evidencias de que además, el maíz Bt proporciona protección a los maíces no Bt al hacer que disminuya la población general del taladro.

Los beneficios en la reducción de la población del taladro no se limitan únicamente a la disminución del daño directo causado por las larvas. Los túneles que las larvas producen en las cañas son punto de entrada de otros patógenos, principalmente hongos, los cuales afectan la calidad del grano y producen una disminución de los rendimientos. En particular, el Fusarium, produce unas sustancias que son tóxicas para los animales (micotoxinas), lo cual significa que el maíz Bt, al controlar el ataque del barrenador, permite una reducción significativa del ataque de hongos contribuyendo así al mantenimiento de la calidad y seguridad de los granos del maíz (Mackenzie - Donald, 2002).

Investigaciones realizadas en Brasil por el Laboratorio de Investigaciones Micológicas (Lapemi) de la Universidad de Santa María, concluyeron que el maíz Bt presenta un índice más bajo de contaminación con hongos cuando se compara con el convencional. Esta misma institución estableció que la vulnerabilidad de estas variedades es 109 veces menor que la de especies no Bt. Al haber menos incidencia de hongos, habrá menos micotoxinas y consecuentemente menor impacto en la producción, de este modo los alimentos producidos con maíz Bt serán más saludables para el consumo.

Por otro lado, el uso de maíz Bt, ha sido relacionado con la reducción en la incidencia en bebés con defectos en el tubo neural (NTDs), debido al menor contenido de micotoxinas. Esta enfermedad afectó durante el año 1990 a 184 madres y bebés Mexicano - americanas. El desarrollo de la enfermedad ha sido asociado al consumo de maíz no procesado y específicamente a la presencia de micotoxinas en este (Chassy, 2004).

Entre los beneficios de sembrar maíz Bt, protegido contra el ataque de algunas plagas de lepidópteros (Monsanto Agricultura España, 2001), se destacan los siguientes:

- Efectividad en la protección del cultivo contra las plagas objetivo
- Preservación de los agentes de control natural y biológico de plagas del cultivo
- Reducción del uso de agro tóxicos evitando la exposición de los trabajadores de la finca y la contaminación del medio ambiente
- Útil y adecuada herramienta dentro del manejo integrado de plagas, acorde con el enfoque de sistemas agrícolas sostenibles.
- Reducción de los niveles de micotoxinas y fumosinas en los granos de maíz
- Reducción del empleo de maquinaria agrícola o jornales en labores de aplicación de agroquímicos para control de las plagas, propiciando economía de tiempo y disminución de los costos de producción del cultivo

Situación mundial del maíz Bt

El maíz Bt ocupó, en 2004, 11.2 millones de has (23% más que en 2003), equivalentes a 14% del área plantada con cultivos GM en el mundo. Los países que cultivaron maíz Bt fueron: Estados Unidos, Argentina, Canadá, Sudáfrica, España, Honduras, Alemania, Filipinas y Uruguay. El mayor crecimiento del área en maíz Bt correspondió a Estados Unidos, aunque los demás países registraron igualmente aumentos en algunos casos significativos.

Sudáfrica registro 155.000 has de maíz blanco Bt para alimento, lo que corresponde a un incremento de 25 veces del área inicialmente plantada en 2001. De la misma manera, el maíz Bt/tolerante a herbicida aumento sustancialmente conservando la tendencia de aceptación que año a año los genes acumulados vienen teniendo (James, 2004). ●



4

Maíz tolerante a herbicida



Son diversos los factores que afecta la producción eficiente de maíz, entre ellos, que el cultivo pueda crecer libre de la competencia de malezas. El control de plantas no deseadas o malezas en la gran mayoría de los casos, se logra con la aplicación oportuna de herbicidas autorizados.

Los herbicidas son sustancias químicas empleadas para el control de las malezas, práctica esencial para todo tipo de agricultura. Sin embargo, la aplicación de herbicidas para el control de malezas puede afectar el cultivo si el producto no es bien tolerado por la planta.

Con el objeto de superar estos inconvenientes, en la década de los 90 se desarrollaron plantas capaces de tolerar la aplicación de herbicidas no selectivos, mediante la utilización de las modernas técnicas de biotecnología.

El maíz tolerante a herbicidas es un maíz que ha sido mejorado mediante el uso de tecnología de ADN recombinante para tolerar la aplicación de cierto tipo de herbicidas. Con el empleo de estas tecnologías ha sido posible desactivar o reemplazar la secuencia de susceptibilidad por otra que confiera resistencia y que permita a la planta de cultivo tolerar la aplicación del herbicida.



Modo de acción

En el caso del maíz se han desarrollado líneas tolerantes a tres herbicidas, glifosato, glufosinato de amonio e imidazolinonas. Los genes de tolerancia empleados para generar la resistencia a estos herbicidas, en los dos primeros eventos, provienen de bacterias que naturalmente presentan esta característica.

El glifosato funciona inhibiendo la enzima 5 - enolpiruvilsikimato - 3 - fosfato sintasa (EPSPS), la cual juega un papel esencial en la síntesis de aminoácidos como la fenilalanina, la tirosina y el triptófano. En los maíces modificados genéticamente se ha introducido un gen de una bacteria del suelo que produce la enzima EPSPS tolerante al glifosato. La introducción de esta característica le permite a la planta tolerar las aspersiones con glifosato, de este modo la planta de cultivo no será afectada y por el contrario las malezas sí.

En el caso de la tolerancia al glufosinato, la planta de maíz ha sido modificada con un gen de una bacteria, que codifica la enzima fosfinotricina acetiltransferasa (PAT), que le otorga la característica de transformar la fosfinotricina, compuesto activo del glufosinato, en una sustancia no tóxica (Halford, 2003).

Los herbicidas del grupo de las imidazolinonas, actúan inhibiendo la enzima acetolactato sintetasa (ALS), la cual es clave en la producción de aminoácidos como valina, leucina e isoleucina. Líneas de maíz con tolerancia a herbicidas de este grupo han sido desarrolladas mediante transformación genética (Kleter et al, 2000). También empleando mutagénesis química se han obtenido variedades de maíz tolerantes a algunos grupos de estos herbicidas; la tolerancia al herbicida en este último caso, resultó de una mutación inducida a la enzima ALS, evitando de esta manera que las imidazolinonas se ligan a la enzima (AGBIOS, 2002).

Situación mundial

En 2004, la tolerancia a herbicida en maíz ocupó el 5% o 4.3 millones de has, de los 81.0 millones de has globales de cultivos GM. En relación con el 2003, el área se incrementó en 34% o 1.1 millones has. Los genes acumulados para la tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos, distribuidos tanto en algodón como en maíz, continuaron creciendo y ocuparon el 9% o 6.8 millones de hectáreas, subiendo de 5.8 millones de hectáreas en 2003 (James, 2004).

El maíz tolerante a glifosato se comercializó por primera vez en Estados Unidos en 1998 y en Canadá y Bulgaria en 1999, habiendo sido también aprobado para su producción en Japón y Sudáfrica. Además, tienen aprobación para consumo en Australia, China, Korea, México, Filipinas, Rusia y Taiwán. En 2003, el maíz tolerante a glifosato (Roundup Ready NK603) recibió dictamen positivo para aprobar la importación por parte del Comité Científico Europeo (Monsanto Agricultura España, 2002; Monsanto, s.f.).

Beneficios

El maíz tolerante a herbicidas ofrece a los agricultores una herramienta adicional para el control de las malezas. Sus beneficios incluyen:

- Control de un amplio espectro de malezas
- Seguridad para el cultivo
- Facilidad de rotación de cultivos
- Mínimo impacto al ambiente
- Flexibilidad para controlar las malezas
- Compatibilidad con las prácticas de control integrado de plagas y con las técnicas de conservación del suelo. ●



5

Legislación



En varios países se han establecido legislaciones específicas para la introducción, producción y utilización de cultivos y alimentos genéticamente modificados con la finalidad de aplicar mecanismos y sistemas que permitan evaluar la seguridad e inocuidad de tales productos. La evaluación científica del riesgo es la piedra angular de los sistemas regulatorios de bioseguridad y de las decisiones de política pública relacionada con la seguridad y aceptabilidad de los organismos genéticamente modificados (OGM).

La evaluación de riesgo en relación con la liberación y utilización de un OGM, es llevada a cabo bajo el procedimiento de análisis comúnmente conocido como “caso por caso” y “etapa por etapa”, empleando como principal recurso el conocimiento científico, la familiaridad que se tenga con un organismo dado, la aplicación o uso propuesto y el ambiente receptor potencial.

En el ámbito internacional y en razón a que existe un movimiento entre países de organismos genéticamente modificados (tanto por el comercio internacional como por su migración), que requiere reglas de bioseguridad específicas, se estableció el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, instrumento internacional jurídicamente vinculante, adoptado en enero de 2000, en el marco del Convenio sobre Diversidad Biológica, aprobado en Colombia por Ley 740 de mayo de 2002 y en vigor, desde septiembre de 2003. Tal instrumento, trata la transferencia



segura, el manejo y uso de los organismos vivos modificados (OVM), producto de la biotecnología moderna, que pueden tener efectos adversos en la biodiversidad, teniendo en cuenta el riesgo para la salud humana, y está centrado específicamente, en movimientos transfronterizos.

Un aspecto importante que se debe destacar, es que las reglamentaciones en bioseguridad no son estáticas sino que son ajustadas paralelamente con el desarrollo y avance de la ciencia y conforme con las experiencias adquiridas.

Instituciones regulatorias

En los Estados Unidos, son tres las instituciones gubernamentales involucradas en los procesos de aprobación:

- La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA por su sigla en inglés)
- El Servicio de Inspección de Sanidad Animal y de Plantas del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA - APHIS, por sus siglas en inglés), y
- La Administración de Alimentos y Drogas (FDA por su sigla en inglés)).

En los EE.UU. la legislación establece que los productos desarrollados a través de la biotecnología no difieren de los productos convencionales y que el marco existente es adecuado para regular productos derivados de la moderna biotecnología (Gupta, 2003)

En la Unión Europea (UE) el escenario jurídico-normativo esta dado por varias normas (Directivas) supranacionales referentes a la introducción de nuevos organismos al medio ambiente. La regulación abarca los organismos genéticamente modificados que generen productos que no tengan un amplio historial de utilización segura o que ya sean utilizados convencionalmente en gran número de aplicaciones en la sociedad, o sea solo comprende los microorganismos con algún potencial significativo de daño a los bienes jurídicamente tutelados.



La legislación europea requiere que se controle el riesgo humano y animal, así como ambiental, por lo que gran parte de la información es también relevante para la evaluación de la seguridad alimentaria. Cada país de la UE tiene la labor de implementar estas directivas a través de la legislación nacional. Las disposiciones sobre evaluación de riesgos, son en la mayoría de las veces, analizadas paso a paso y caso por caso, siendo esta la tendencia ya adoptada en la mayoría de los países miembros (Varella *et al*, 1999; Robinson, 2001; ABE, 2004).

En Colombia, la entidad encargada de evaluar la seguridad para el medio ambiente de la introducción, transporte, uso, manejo, producción, liberación y comercialización de organismos genéticamente modificados de uso agrícola es el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), basado en la resolución ICA N° 3492/98. Para la toma de decisiones el ICA recibe asesoramiento y apoyo del Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Agrícola (CTN), creado mediante Acuerdo 0013/98, modificado por el Acuerdo 0002/02, e integrado por representantes de los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Protección Social, así como por el ICA, la Asociación Nacional de Usuarios Campesinos, la Universidad Nacional de Colombia, la Asociación Nacional de Industriales, la Sociedad de Agricultores de Colombia y la Asociación Colombiana de Productores de Semillas.

En nuestro país, la variedad o híbrido de un cultivo, obtenido por ingeniería genética es analizado caso por caso independientemente de la modificación genética que se ha realizado y de la característica o nuevo rasgo incorporados.



En relación con los alimentos obtenidos por biotecnología moderna, el Ministerio de la Protección Social establece en el decreto 3075 de 1997 en su artículo 54, que este tipo de productos deben ser sometidos a registro sanitario, previo estudio y concepto favorable de la Comisión Revisora del Invima. El estudio lo lleva a cabo la sala especializada de alimentos y bebidas alcohólicas del Invima, quien efectúa la evaluación de riesgo de las solicitudes de productos que proceden de una planta genéticamente modificada o los que contienen materias primas obtenidas a partir de estas.

La seguridad de los alimentos destinados a consumo animal es responsabilidad del ICA, cuya evaluación se estableció mediante la Resolución 2935/01, por la cual se regula y controla la introducción, transporte, uso, manejo, producción, liberación, comercialización, investigación, desarrollo biológico y control de calidad de Organismos Modificados Genéticamente de interés en salud y producción pecuaria, sus derivados y productos que los contengan. Las decisiones del ICA, al respecto, son asesoradas por el Consejo Técnico de Bioseguridad Pecuaria, creado por el Acuerdo 004/02 del Consejo Directivo del ICA. ●



6

Aspectos de seguridad



Históricamente, un alimento preparado y utilizado de manera tradicional es considerado seguro teniendo en cuenta la experiencia adquirida a lo largo del tiempo. Se presume, en principio, que es seguro a menos que un peligro significativo haya sido identificado. Adicionalmente, se reconoce que los alimentos pueden naturalmente contener varios elementos antinutricionales y toxinas que en determinados niveles de consumo, pueden producir efectos deletéreos en seres humanos y animales, es decir, algunos alimentos tradicionales considerados seguros pueden no serlo en determinadas circunstancias, (OECD, 1993).

En la práctica, pocos alimentos convencionales (no producidos por biotecnología moderna) han sido sometidos a pruebas toxicológicas. Sin embargo, estos alimentos son considerados seguros teniendo en cuenta su historia de uso seguro.

En cuanto a los organismos genéticamente modificados la seguridad de las personas, animales y el medio ambiente, es uno de los criterios fundamentales que se tienen en cuenta para su aprobación y comercialización.

Los fitomejoradores y las autoridades legislativas coinciden al reconocer que las plantas genéticamente modificadas representan cultivos que deben ser evaluados con detenimiento y su seguridad debe ser demostrada antes de su aprobación para cultivo y posterior consumo.



Los procesos de modificación genética están siendo utilizados por la industria farmacéutica desde hace 25 años, sin que se hayan documentado casos de peligros atribuidos al proceso como tal. Trescientos millones de consumidores norteamericanos han consumido diversos alimentos genéticamente modificados cultivados en más de 40 millones de hectáreas desde 1994, sin que se haya detectado efectos adversos para la salud debido a su consumo (IFT 2000b).

Evaluación de seguridad

El cultivo GM o el alimento derivado de este, previamente a su comercialización es sometido a una evaluación rigurosa, caso por caso, con base en una comparación con su contraparte convencional.

Las evaluaciones de seguridad se centran de una parte, en la característica introducida y de otra, en el cultivo o alimento como un todo. De esta manera, se caracterizan el gen o genes insertados en el cultivo GM y se evalúa la seguridad de la proteína o proteínas resultantes (toxicidad y alergenicidad) Metcalfe, 1996. Igualmente, se analiza la expresión fenotípica, los caracteres agronómicos, el impacto sobre el medio ambiente y la equivalencia composicional para confirmar la aptitud alimentaria e inocuidad del cultivo o producto derivado de este (Monsanto, s.f.)

Evaluación nutricional de alimento

La evaluación se basa en la comparación con una contraparte conocida, generalmente su homólogo convencional que tenga un historial de utilización segura. Este concepto se conoce como enfoque comparativo o “equivalencia sustancial” y permite identificar las similitudes y posibles diferencias entre el alimento convencional y el nuevo producto. En este proceso, el alimento derivado de un organismo genéticamente modificado es comparado con su contraparte convencional, permitiendo determinar si existen diferencias entre uno y otro y establecer los análisis y demás investigaciones necesarias para poder establecer la seguridad del alimento (Kuiper, 2001). ●

7

Evaluación de seguridad del maíz GM



La seguridad de los maíces genéticamente modificados que se encuentran en el mercado ha sido demostrada mediante diferentes estudios entre los que se incluyen:

- Estudios de digestibilidad
- Estudios de toxicidad
- Estudios de alergenicidad

La valoración de la alergenicidad y la toxicidad de estos productos se determinan, esencialmente, de acuerdo con los lineamientos mundialmente validados y establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Adicionalmente, se llevan a cabo estudios relacionados con la composición nutricional del maíz mediante el análisis de los nutrientes claves, entre ellos:

- Grasas
- Aminoácidos
- Proteínas

- Ácidos grasos
- Carbohidratos
- Minerales
- Contenido de humedad

A través de estos estudios y los análisis ya mencionados, los comités nacionales determinan la seguridad de los productos genéticamente modificados

Las autoridades americanas, canadienses, argentinas, japonesas y europeas, quienes han autorizado el uso comercial de maíz Bt y resistente a herbicidas, afirman que estas líneas son tan seguras como sus contrapartes convencionales y son sustancialmente equivalentes a otros maíces en relación con la nutrición, composición, seguridad y su desempeño en productos alimenticios y forraje.

En relación con el maíz Bt y resistente a herbicidas es importante resaltar que estos se diferencian del convencional solo en la medida en que el primero produce una proteína del tipo Cry y el segundo enzimas que confieren la tolerancia al herbicida. Por otro lado, las bacterias involucradas en los procesos de modificación son pobladores naturales de diferentes productos alimenticios como hortalizas, lo que indica que las personas y animales ya han estado en contacto con estas proteínas.

En general, las proteínas Cry presentes en las plantas Bt, son rápidamente degradadas en el estómago, son sensibles al calor y no muestran por lo demás ningún parecido con los alérgenos conocidos.

Las evaluaciones para determinar la seguridad de la proteína Cry abarcan:

1. Caracterización de la proteína
2. Digestión en fluidos gástricos e intestinales simulados,
3. Toxicidad aguda y crónica en ratón,

4. Comparación de la secuencia de aminoácidos con toxinas y alérgenos conocidos
5. Efectos sobre especies no objetivo.

En cuanto a la tolerancia a herbicidas, la evaluación incluye:

1. Caracterización de la proteína
2. Historia de uso seguro de proteínas similares,
3. Digestibilidad y la ausencia de toxicidad oral aguda de las proteínas en ratones.

Para los productos en el mercado con estas características se concluyó que no hay similitud entre las secuencias de las proteínas involucradas y la de sustancias tóxicas o alergénicas conocidas.

La seguridad de maíces genéticamente modificados para su uso en la alimentación ha sido, adicionalmente, confirmada mediante ensayos con animales. La Industria biotecnológica ha completado o esta en proceso de finalizar 19 estudios de alimentación animal empleando estos maíces.

Por otra parte, comparaciones sobre la composición nutricional y el estado de salud de animales alimentados con maíces Bt y convencionales han sido realizadas a través de numerosos ensayos. Estos estudios, realizados en aves de corral, pollos, ovejas y cerdos, entre otros, han consistentemente demostrado que no existen diferencias significativas en la composición nutricional o en el desempeño de los animales debido al consumo de maíz genéticamente modificado (**Tabla 5**).

Tabla 5. Resumen de los estudios sobre aptitud alimentaria e inocuidad del maíz Bt y tolerante a herbicida utilizando el grano o el forraje en alimentación animal

Animal	Cultivo GM	Estudio	Referencia
Aves de corral	Maíz resistente a los insectos	Estudio de 5 días con gallinas ponedoras – ninguna diferencia en composición de nutrientes, peso corporal, materia orgánica digestible, proteína o energía metabolizable.	Aulrich <i>et al.</i> (1998)
		Estudio de 38 días en pollos tiernos – sin diferencias en mortalidad, peso corporal, toma de comida. Ligeramente mejor en conversión de alimento y resultado de carne de pechuga.	Brake y Vlachos, (1998)
		Estudio de 35 días en pollos tiernos- ninguna diferencia en ganancia de peso corporal, toma de alimentos, conversión de alimentos o digestibilidad de proteínas. Dos estudios para comparar la composición y disponibilidad de nutrientes en pollos tiernos- ninguna diferencia en ganancia de peso y composición de alimento.	Halle <i>et al.</i> (1998) Mireles <i>et al.</i> (2000)
	Maíz tolerante a herbicida	Estudio de rendimiento con pollos para comparar valor nutritivo de maíz tolerante a herbicida con maíz convencional, no mostraron diferencias entre las aves alimentadas con maíz tolerante a herbicida en crecimiento, la eficacia del alimento, la eficacia del alimento ajustada y el peso de la capa de grasa.	Monsanto Agricultura España (2002)
		Estudio con una dieta para pollos con base en granos enteros o molidos de maíz crudo, tanto tolerante a herbicida como convencional, durante 42 días, confirmaron la aptitud nutricional y la inocuidad del maíz tolerante a herbicida cuando se comparó con dietas de maíces convencionales.	Taylor <i>et al.</i> , citado Monsanto (s.f.)
Vacas Lecheras	Maíz resistente a los insectos	Prueba de 14 días con maíz tierno -ninguna diferencia en toma de alimento, producido de leche, composición de leche o salud de las ubres.	Faust y Miller (1997)
		Ninguna diferencia en características de fermentación de rumen, producción de leche o composición de leche.	Folmer <i>et al.</i> (2000b)
	No hubo diferencias en digestibilidad de ensilaje de maíz Bt o convencional consumido.	Daenike <i>et al.</i> , citado Monsanto Agricultura España (2001)	
Maíz tolerante a herbicidas	Ensilaje de maíz tolerante al glifosato – ninguna diferencia en toma de materia seca, producción de leche, proteína de leche, producido de lactosa o grasa de la leche, ninguna diferencia en composición de la leche (% grasa, proteína, lactosa, no grasos sólidos) conteo de células somáticas o nitrógeno de urea.	Donkin <i>et al.</i> (2000)	
Ganado de Carne	Maíz resistente a los insectos	Estudio de dos años sobre desempeño de animales pastando residuo de maíz Bt o no-Bt – ninguna diferencia en cualquiera de los años del estudio.	Russell and Peterson (1999); Russell <i>et al.</i> (2000)
		Dos pruebas para evaluar la utilización de ensilaje de maíz por novillos – ninguna diferencia en toma de grano, toma de pastura, ni preferencia de pastar entre ensilaje de maíz Bt y no-Bt. El ensilaje del maíz Bt funcionó igual o ligeramente mejor que aquel del maíz no-Bt con respecto a ganancia de peso y eficiencia en conversión de alimento.	Folmer <i>et al.</i> (2000a)
		Estudio realizado durante dos años para examinar los efectos de pastar residuos de cultivos de híbridos de maíz en el desempeño de vacas de engorde preñadas.	Russell <i>et al.</i> (2001)
	Maíz tolerante a herbicidas	Estudio de 85 días con 56 novillos Angus y Simmental alimentados con ensilaje de plantas completas y granos secos desmenuzados de maíz convencional y tolerante al glifosato – ninguna diferencia en ganancia de peso diario promedio, toma de materia seca o eficiencia en conversión de alimento.	Petty <i>et al.</i> (2001)
Cerdos	Maíz resistente a los insectos	Comparó el desempeño de cultivador-acabador y las características del cadáver – ninguna diferencia en ganancia de peso diario promedio, toma de alimento o eficiencia de alimento, ningún efecto adverso en el desempeño del crecimiento o características del cadáver.	Weber <i>et al.</i> (2000)

Fuente: Mackenzie-Donald, 2002

Seguridad ambiental

La información acerca de la biología y las propiedades agronómicas del maíz convencional son empleadas como referencia para establecer si en la planta modificada se han producido cambios significativos. Los estudios de nutrición y toxicidad, así como la información relativa al fenotipo conferido por la proteína introducida, proporcionan información importante para poder evaluar el potencial efecto medioambiental de la mejora.

Los maíces Bt que se encuentran en el mercado han sido sometidos a extensas pruebas de seguridad en laboratorio, invernadero y en campo que permiten garantizar la seguridad para el medio ambiente de este tipo de cultivos.

Los aspectos que se evalúan cuando se considera la seguridad de los cultivos genéticamente modificados son:

1. La introducción de características de maleza en el cultivo que antes no poseía este comportamiento
2. Estabilidad genotípica de los organismos transformados
3. Cambios adaptativos que afecten la invasividad potencial
4. Flujo de genes
5. La posibilidad de afectar organismos no objetivo
6. Generación de resistencia en los insectos objetivo
7. Efectos alelopáticos y sinergismo

Las evaluaciones para comprobar la seguridad medioambiental muestran que el maíz Bt carece de efecto sobre insectos benéficos desde el punto de vista agronómico, incluyendo abejas y otros insectos depredadores y arañas.



Adicionalmente, como mecanismo para prevenir el desarrollo de resistencia a las proteínas tóxicas se emplea en los campos de cultivo el sistema de refugios. Los refugios son áreas de cultivo convencional, es decir no genéticamente modificados, sembrados en las proximidades de los cultivos genéticamente modificados, para mantener una población sensible de insectos que al cruzarse con individuos resistentes generados en el maíz GM, diluyan la resistencia en la próxima generación.

En cuanto a la seguridad ambiental de los maíces tolerantes a herbicidas, se han analizado aspectos tales como:

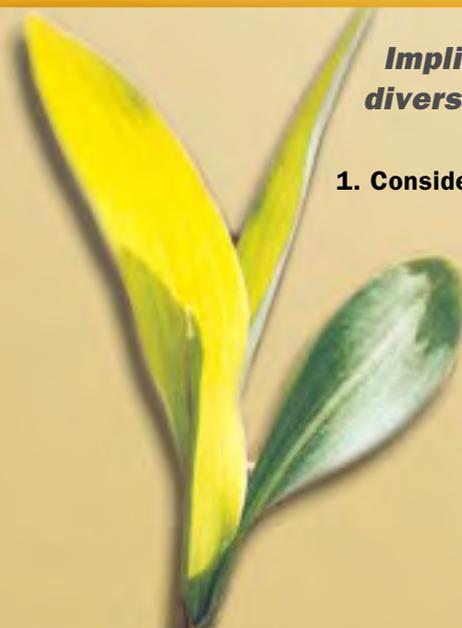
1. Comportamiento agronómico
2. Capacidad para convertirse en maleza
3. Transferencia horizontal de genes
4. Impactos sobre organismos no objetivo
5. Resistencia al herbicida al cual el maíz es tolerante
6. Cruzamiento con maíces convencionales y parientes silvestres del cultivo

Flujo de genes entre variedades de maíz

Implicaciones del maíz GM en los maíces criollos y en la diversidad genética de la especie.

1. Consideraciones pertinentes

El tema del impacto del maíz GM en los “maíces criollos”, variedades locales también conocidas como “landraces” ha adquirido gran relevancia por la aducida hibridación e introgresión de genes foráneos dentro de tales materiales, como consecuencia del flujo de genes



portados por el polen, y las repercusiones que tendría dicho fenómeno en la diversidad genética del maíz, principalmente en el centro de origen y los centros de diversidad de la especie.

La respuesta a algunos de los interrogantes planteados, en relación con el flujo de genes, abarca diversos aspectos entre ellos, la genética poblacional, las prácticas agronómicas que aplican los productores, la presión selectiva del medio ambiente, e incluso consideraciones regulatorias. Algunos de los puntos claves de esta temática se examinan a continuación.

El flujo de genes en maíz ocurre por ser una planta de polinización cruzada; es sabido que el maíz no tiene intercambio genético con otros organismos excepto con sus parientes más cercanos (teocintle y *Tripsacum*) y con otros maíces comunes. Tal intercambio de genes en el maíz se evidencia fácilmente por el efecto Xenia en el que el color amarillo del grano es genéticamente dominante sobre el color blanco del grano.

La capacidad del maíz de intercambiar genes con otras plantas cercanas, ha sido aprovechada, desde tiempos ancestrales, por las comunidades rurales locales e indígenas para adaptar el maíz según sus preferencias y la ecología del lugar, haciendo que la diversidad genética presente en el campo no sea estática sino que se mantenga en evolución constante como consecuencia de la introducción de genes nuevos y de la selección practicada por el hombre. Es decir las variedades se modifican en forma constante, aunque sin perder las características preferidas por los agricultores.

Estudios realizados en México sobre flujo de genes señalan la importancia en el proceso dinámico bajo el cual se manejan los recursos genéticos del maíz en las “milpas” (in situ). Los campesinos a menudo intercambian semillas, siembran mezclas de semillas de distintas fuentes, incluidas ocasionalmente híbridos modernos y con frecuencia permiten y procuran la polinización cruzada entre diferentes variedades cuando estas se cultivan en cercanía. A pesar del flujo de genes, los campesinos tienen la capacidad de seleccionar y perpetuar las diversas variedades criollas que utilizan (CCA, 2004).



Teniendo en cuenta el flujo natural de polen entre variedades de maíz, en el caso de maíces GM, el flujo de genes debe ser analizado a través de investigaciones a pequeña escala en campo, buscando prevenir o controlar el cruzamiento con variedades convencionales o locales. Este tema ha motivado la realización de algunos experimentos en diferentes regiones, donde las variedades criollas son de gran importancia socioeconómica y donde potencialmente pueden llegar a utilizarse los maíces GM. Uno de tales estudios sobre polinización cruzada entre variedades modernas de maíz, variedades locales y teocintle, realizado en México, concluyó que el polen perdió viabilidad dentro de 1-2 horas luego de la dehiscencia y no se detectó polinización cruzada más allá de 300 m de la fuente de polen. Se reportó, adicionalmente, que podría controlarse la dispersión del polen del maíz proveniente de ensayos a pequeña escala en campo, usando distancias de aislamiento, hileras borde y métodos de desespigamiento. (Luna *et. al.*, 2001)

2. Potencial de transmisión e intercambio de genes del maíz GM con maíces criollos.

Se prevé que, una vez presentes los maíces GM en una determinada región, los transgenes se incorporarán en las variedades locales. Si con el tiempo, las nuevas características (transgénicos o no) se incrementan o disminuyen su frecuencia, dependerá de varios factores. En efecto, la introgresión transgénica, entendida como la propagación y persistencia de transgenes, en variedades criollas o nativas de maíz podrá darse por flujo genético siempre que las nuevas características (alelos introducidos) puedan persistir o no en las poblaciones receptoras, dependiendo de:

- 
1. si el flujo de genes es un evento único o recurrente;
 2. la tasa de flujo de genes, y
 3. el tamaño de la población receptora y si el nuevo alelo resulta localmente perjudicial, benéfico o neutral. Estos principios se aplican lo mismo a los genes convencionales que a los transgenes (CCA, 2004).

3. Efectos esperados de los transgenes en la diversidad genética de los maíces criollos.

No hay razón para prever que un transgén, habría de tener efectos mayores o menores en la diversidad genética de razas nativas que otros genes de cultivares modernos empleados de forma similar (Bellon, *et. al.*, 2004). Puesto que el maíz es una planta de fertilización cruzada con una elevada frecuencia de recombinación genética, resulta poco probable que los transgenes lleguen a desplazar, si acaso ello ocurre, más que a una población sumamente pequeña de la reserva genética nativa. En cambio los transgenes se agregarían a la mezcla dinámica de genes presentes en las variedades locales, entre los que se incluyen los genes convencionales de los maíces modernos. Así, la introgresión de unos cuantos transgenes individuales difícilmente tendrán algún efecto biológico significativo en la diversidad genética de las variedades criollas de maíz (Snow, 2004)

En concordancia con los planteamientos antes referidos y con base en los conocimientos y la teoría actuales de la genética del maíz así como el trabajo con agricultores y la diversidad genética del maíz en México se preve que la introducción en una variedad de maíz establecida de una característica controlada por un solo gen, como la resistencia a insectos conferida por el gen Bt o la resistencia a los herbicidas conferida por otro transgén, no tendría un efecto significativo en la diversidad genética del cultivo. La mayoría de los genes del maíz son independientes, no permanecen ligados a otros genes. Por otra parte, así el gen haya sido introducido en el campo, la diversidad no disminuye, incluso se podría aumentar (CIMMYT, 2002)

Otro aporte significativo al tema del efecto del flujo de genes en la diversidad genética del maíz, lo constituye el hecho de que cerca de un tercio de las variedades locales mexicanas de maíz pueden tener ya genes en introgresión provenientes de variedades mejoradas no locales existiendo consecuentemente, una serie de rasgos morfológicos y características genéticas en las principales variedades locales. A pesar del amplio flujo de genes de variedades no locales a variedades localmente adaptadas y a cultivares seleccionados, las variedades sobreviven intactas como entidades reconocibles (ICA, 2003).

Una conclusión central al tema de flujo de genes vía polen en maíz, es que el intercambio de genes siempre ha existido, hace parte de la formación y el mantenimiento de la diversidad del maíz, y es dinámico guiado por el hombre en sus grupos culturales. Ahora bien, un aspecto positivo de este debate sobre el maíz GM, es el renovado interés y apoyo a la investigación sobre flujo de genes tanto, dentro de la misma especie como entre los parientes cercanos y el maíz, particularmente con el teocintle. Al respecto el CIMMYT, considera muy útil llevar a cabo investigaciones y actividades científicas, entre otros, sobre los siguientes temas: prácticas de los agricultores, bases de datos sobre maíces criollos, opciones para controlar o revertir la difusión de polen, interacciones a largo plazo entre el teocintle, variedades criollas de maíz y variedades GM. ●



8

Organizaciones internacionales frente a los OGM



Con respecto a la seguridad de los productos genéticamente modificados que se encuentran en el mercado, organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud; la Food and Drug Administration, FDA; las Academias de Ciencias de China, Londres, India, México, Brasil, Estados Unidos, las del tercer mundo; la Asociación Americana de Medicina, entre otras, se han referido al respecto asegurando que son tan seguros como sus contrapartes tradicionales.

La Asociación de Médicos Británicos, BMA, sostiene que no hay evidencia de que los organismos genéticamente modificados sean inseguros. Considera que los organismos genéticamente modificados tienen un enorme potencial para beneficiar en el largo plazo a países en desarrollo y desarrollados

La Asociación Americana de Toxicología afirma que no hay razones para suponer que el proceso de producción de alimentos a través de la biotecnología conducirá a riesgos de naturaleza diferente a los que ya son familiares para los toxicólogos y de que estos no puedan ser igualmente generados mediante el uso de métodos convencionales de mejoramiento. ●



El maíz genéticamente modificado que se encuentra en el mercado es equivalente al maíz convencional

Proteína	Positivo
Grasa	Positivo
Cenizas	Positivo
Fibra	Positivo
Carbohidratos	Positivo
Calcio	Positivo
Fósforo	Positivo
Composición de aminoácidos	Positivo
Composición de ácidos grasos	Positivo

El maíz genéticamente modificado que se encuentra en el mercado ha sido valorado sobre su seguridad

Composición Nutricional	Positivo
Desempeño como alimento animal	Positivo
Procesamiento	Positivo
Seguridad para especies silvestres	Positivo
Susceptibilidad a enfermedades	Positivo
Potencial alergénico	Positivo
Composición de aminoácidos	Positivo
Composición de ácidos grasos	Positivo



9

Evaluación de seguridad del maíz resistente a insectos Bt en Colombia

Evaluación ambiental

Con base en la información suministrada por el solicitante en cuanto a la biología y las características del OGM y sus interacciones con la planta receptora, el conocimiento de las condiciones locales, ecológicas, agrícolas y la información técnica sobre el tema, en 2003 el ICA inicio la evaluación de riesgos potenciales con miras a la introducción a Colombia del maíz Bt (Yieldgard) resistente al ataque de insectos lepidópteros (ICA, 2003). Surtida esta fase y atendiendo recomendaciones del Consejo Técnico de Bioseguridad (CTN), el ICA comenzó las primeras investigaciones de bioseguridad, para generar conocimiento en las condiciones de nuestros agroecosistemas maiceros, mediante la realización de los siguientes proyectos:

- “Evaluación del flujo genético de la tecnología Bt (Yieldgard) en el cultivo del maíz” con el objetivo de establecer el transporte de polen del maíz GM a diferentes distancias de la fuente de polen y determinar el efecto de la proteína Cry sobre materiales comerciales y variedades criollas (ICA, 200a).
- “Evaluación del efecto de la tecnología Yieldgard sobre poblaciones de artrópodos en el cultivo del maíz”, para conocer los efectos de la proteína Cry sobre los artrópodos no objetivo y las plagas como Spodoptera, Heliothis y Diatraea (2000b).



Los estudios anteriormente citados ya fueron concluidos por el ICA y deberán ser presentados al CTN para su análisis y recomendaciones, lo cual orientará sobre los pasos a seguir en el proceso científico de evaluación y gestión de riesgos de esta tecnología.

Otro evento actualmente en estudio, es el maíz genéticamente modificado (TC1507) con la tecnología Bt Gerculex I para protección contra ciertos insectos lepidópteros. El ICA, con base en un análisis detallado de la información técnico-científica presentada por el solicitante, elaboró un estudio de la evaluación de los riesgos potenciales para realizar actividades con dicha tecnología, el cual se encuentra en evaluación por el CNT (ICA, 2004d).

Evaluación en salud y como alimento

La evaluación de riesgos en salud para el maíz Bt (Yieldgard), la efectuó el Ministerio de Salud (hoy de Protección Social), a través del Grupo de Protección de la Salud, con base en el estudio de la información toxicológica presentada por el solicitante, habiendo concluido: “La DL50 oral es elevada lo que hace que la semilla sea prácticamente no tóxica por vía oral. La proteína se degrada fácilmente en el sistema digestivo mamífero, no posee estructura similar a las proteínas conocidas como alérgenos y en estudios subcrónicos no se evidenció efecto tóxico sobre mamíferos”. Por lo anterior el Ministerio de Salud emitió el concepto técnico favorable para realizar las pruebas experimentales del maíz Yieldgard. Por su parte, el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), Sala especializada de Alimentos y Bebidas Alcohólicas (SEABA), conceptúo que pueden utilizarse semillas de maíz con la tecnología Yieldgard en la producción de alimentos, para lo cual los productos elaborados deberán cumplir con las normas sanitarias o reglamentos técnicos establecidos para cada uno de ellos. ●



10

Evaluación de seguridad del maíz tolerante a herbicida en Colombia



Evaluación ambiental

Luego de un análisis detallado de la información técnico-científica presentada por el solicitante, el ICA en 2004 elaboró un estudio de la evaluación de los riesgos potenciales para introducir semillas de maíz tolerante al glifosato (Tecnología Roundup Ready), el cual fue presentado al CTN para que éste lo analice y emita las recomendaciones sobre las acciones, pruebas o evaluaciones a que haya lugar (ICA, 2004c).

Evaluación en salud y como alimento

El concepto técnico para la evaluación experimental del maíz tolerante a herbicida fue expedido por el Grupo de toxicología de la Dirección General de Salud Pública del Ministerio de Protección Social, luego de analizar información relevante de orden técnico y científico, concluyendo que la DL50, oral para la proteína CP4 EPSPS, en ratones es de 572 mg/kg, lo que significa que es prácticamente no tóxica por vía oral y que la proteína CP4 EPSPS es equivalente toxicológicamente a las variedades no transgénicas, no posee estructura similar a las proteínas alérgicas, los niveles de micotoxinas estuvieron dentro de los límites aceptables, es homóloga a proteínas EPSPS presentes en otros organismos y se degrada y disipa rápidamente en el tracto digestivo de los mamíferos. Con base en los resultados anteriores el Ministerio de Protección Social otorgó el permiso para adelantar los ensayos experimentales respectivos. ●





11

Casos controvertidos



A. Mariposa Monarca y Maíz Bt

Las mariposas monarcas migran cada año del sur de Ontario, Canadá y del norte de Estados Unidos rumbo al sur del continente para pasar el invierno en los bosques de pino de las montañas volcánicas de Michoacán y del estado de México. En su ruta migratoria hacia México, las mariposas monarcas pasan por el llamado “cinturón del maíz” de Nebraska, Iowa, Illinois y Minnesota, es decir, por la región donde hoy en día se produce la mayoría de los maíces Bt en los Estados Unidos. Esto generó un gran interés en relación con los posibles efectos de los maíces Bt sobre las poblaciones de las mariposas monarca.

Las larvas monarca se alimentan únicamente de las hojas del algodoncillo, planta que comúnmente se encuentra en hábitats naturales y campos cultivados. Como su alimentación no incluye plantas de maíz, las monarcas no son organismos objetivo de los sistemas de control de las plagas de insectos en un campo de maíz. Sin embargo, como miembros del orden de los lepidópteros (así como el barrenador del tallo), son sensibles a las sustancias que afectan a esos insectos, incluidos los productos Bt. (Colorado State University, 2004).





Resultados de Laboratorio

En 1999, un estudio realizado por la Universidad de Cornell, encontró que las larvas de la mariposa monarca que fueron forzadas, bajo condiciones de laboratorio, a comer grandes cantidades de polen de maíz Bt espolvoreado sobre hojas de algodoncillo, sufrieron altos niveles de mortalidad en comparación con las larvas que no fueron alimentadas con este. El estudio fue publicado en la revista Nature y causó una gran controversia internacional y la reacción de los grupos ambientalistas fue inmediata argumentando que el informe era una prueba de que el maíz Bt destruiría el ambiente.

La comunidad científica internacional catalogó estos resultados como no extrapolables y resaltó la necesidad de ampliar los estudios para determinar, a nivel de campo, los efectos reales de estos cultivos sobre las mariposas monarcas.

Ensayos de campo

Mientras un solo estudio de laboratorio fue suficiente para concluir inicialmente que el polen de maíz Bt afectaba las larvas de monarcas, posteriores investigaciones realizadas por instituciones estadounidenses y canadienses y publicadas en las actas de la Academia Nacional de Ciencias en el 2001, proporcionaron evidencias adicionales que permiten señalar que el maíz Bt presenta un riesgo mínimo para la mariposa monarca y reafirma las conclusiones a las que llegó el análisis de riesgo original realizado por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA). Las investigaciones realizadas también proporcionaron evidencias de que cualquier análisis de riesgo ambiental a futuro deberá estar basado en métodos científicos apropiados y de que cuando se generen preguntas a partir de estudios de laboratorio, los datos de campo serán importantes para la estimación del riesgo real.





Conclusiones

Las principales conclusiones de las investigaciones fueron:

- Las larvas de monarca comen algodoncillo (*Asclepias spp.*), no polen de maíz (en el experimento el polen fue dispuesto sobre las hojas de algodoncillo, de tal forma que las larvas no tenían otra alternativa que consumirlo).
- El polen de maíz Bt presenta efectos insignificantes para las mariposas monarca en el laboratorio y no tendrá efectos agudos en larvas de monarca bajo condiciones de campo.
- El polen de maíz tiende a acumularse en las hojas de la parte media de la planta de algodoncillo. Las larvas de monarca tienden a alimentarse de las hojas superiores.
- La baja densidad de polen en las hojas superiores del algodoncillo no representa un riesgo de toxicidad para las larvas. (Colorado State University, 2004)

B. Maíz StarLink

Es uno de varios tipos de maíz Bt que han sido modificados genéticamente para producir un insecticida dentro de la misma planta, de tal modo que se puedan reducir las aplicaciones externas de plaguicidas. El maíz StarLink es un producto genéticamente desarrollado por Aventis CropScience (Colorado State University, 2004).

Evaluación de seguridad

Mientras que otros maíces Bt que estaban en el mercado entre 1999 y 2000 producían una toxina Bt llamada Cry 1A(b), StarLink produce Cry 9C, una versión ligeramente distinta de la proteína. En las pruebas, de digestión artificial, exigidas por el gobierno para aprobar la producción del cultivo, esta proteína Cry 9C tardó más que la Cry 1A(b) en descomponerse, despertando las reservas de los inspecto-





res de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en relación con su posible potencial alergénico. A pesar que los resultados no eran concluyentes, la EPA decidió otorgar el permiso para utilizar las semillas para uso animal y no para humanos (registro dividido). De esta manera, la EPA buscaba tomar las medidas para evitar cualquier riesgo para la salud humana. Sin embargo, como la mayor parte de la cosecha de maíz en los Estados Unidos se destina a la alimentación de animales y la producción de alcohol combustible, los agricultores simplemente tenían que asegurarse de que la cosecha de este material no se dirigía a canales que condujeran a su inclusión entre los alimentos de consumo humano.

La decisión de aprobar el llamado registro “dividido” ha sido objeto de muchas críticas. Si bien Aventis, la empresa de biotecnología agrícola propietaria de StarLink, prometió hacer que los agricultores firmaran acuerdos de que su maíz no terminaría como alimento humano, en la práctica esto era difícil de garantizar. Algunas variedades de maíz, como el maíz blanco destinado al consumo humano, se mantienen separadas durante el proceso de manejo, pero la mayor parte del maíz del país -el tipo que termina en los tacos, los alimentos para animales y los tanques de los automóviles- se almacena y se distribuye a granel. Los comerciantes de cereales no tienen silos separados para el maíz de consumo humano y el maíz usado como alimento para los animales.

StarLink en productos alimenticios:



En septiembre de 2000, el maíz StarLink fue encontrado en productos alimenticios de Kraft y tortillas Taco Bell. Un laboratorio independiente confirmó que las muestras de tortillas de tacos presentadas para las pruebas por un grupo independiente, habían dado resultados positivos en cuanto a la presencia de ADN de StarLink. Como consecuencia, los supermercados retiraron los productos de maíz de sus estanterías. Aventis interrumpió las ventas de semilla de StarLink para la siembra de primavera de 2001 y anunció que adquiriría todo el producto cosechado en 2000, para impedir cualquier uso ulterior del maíz en productos alimentarios consumidos por el hombre.



Ensayos de alergenicidad

Los Centros para el Control de Enfermedades (CDC) investigaron las reclamaciones de 51 personas que habían sufrido reacciones alérgicas poco después de comer productos de maíz y quienes argumentaban que la alergia era resultado del consumo de maíz StarLink. El panel de expertos encargado del tema, luego de exhaustivos análisis, llegó a la conclusión de que ninguno de los síntomas informados podía ser atribuido a la proteína Bt del StarLink.

Finalmente, la empresa Aventis, a pesar de no haberse comprobado la alergenicidad del maíz StarLink, canceló definitivamente toda comercialización de estas semillas. (Colorado State University, 2004) ●





12 El futuro



El avance de la agrobiotecnología no se detiene y cada vez las compañías de semillas, la academia en cabeza de las universidades, y las instituciones de investigación a nivel mundial trabajan para ofrecer nuevas soluciones con el compromiso de producir cosechas de mayor rendimiento y alimentos de mejor calidad e inocuidad, en el marco de una agricultura sostenible.

En relación con las aplicaciones en torno al maíz, una variante de proteína Cry, específica para atacar gusanos de tierra (larvas de coleópteros), esta siendo empleada en maíces para que expresen la proteína insecticida en las raíces, defendiéndose de los daños causados por esta plaga. Esta tecnología ha sido aprobada recientemente en los Estados Unidos donde los daños causados al cultivo por estos insectos se estiman en US \$1.000 millones. (Monsanto Europa - África, 2004)

El uso de la ingeniería metabólica para convertir azúcares de seis átomos en poly hidroxyalkanoatos, PHA (plásticos biodegradables), a través de fermentación, permitirán producir plásticos directamente en plantas de maíz vía fotosíntesis. Los PHA pueden ser depolimerizados para ser usados como bloques químicos y materia prima para innumerables compuestos químicos que pueden ser utilizados como sustitutos de los derivados de petróleo (Grobman, 2003).





Trabajos adicionales en maíz, también incluyen la obtención de variedades que sean fáciles de digerir tanto por cerdos como por pollos, incrementando el valor nutritivo del alimento a la vez que se reduciría la polución del fosfato proveniente de sus desperdicios. Otro tipo de maíz esta siendo desarrollado para que produzca su propia amilasa, enzima requerida para la conversión del almidón a azúcar, lo cual reduciría los altos costos que conlleva el procesamiento del maíz en los estados iniciales de producción del etanol, importante combustible sustituto en carros (Syngenta Seeds, 2003).

Otras modificaciones genéticas en maíz están dirigidas a mejorar las características nutricionales para proveer beneficios a la salud de los consumidores o de los animales domésticos, tal es el caso del maíz con incremento en el contenido de vitamina C, o metionina, o fumonisina, o proteínas con mejor perfil de aminoácidos (ILSI, 2004)

Es grande el auge tomado por las investigaciones, particularmente, en los Estados Unidos para desarrollar plantas genéticamente modificadas que produzcan proteínas con fines terapéuticos en humanos y animales como es el caso de anticuerpos monoclonales producidos sobre plantas de maíz y de soya (Grobman, 2003). ●





13

Glosario



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

Alelo: Cualquiera de las dos o más formas alternativas de un gen que ocupan la misma posición (locus) en un cromosoma y que controlan las diferentes expresiones del gen

Alergia: Reacción exacerbada del sistema de autodefensa del organismo provocada por la producción de anticuerpos contra sustancias específicas

Alimentos genéticamente modificados: Alimentos derivados total o parcialmente de cultivos genéticamente modificados, de plantas cultivadas que han sido modificadas mediante ingeniería genética

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

Bacillus thuringiensis: (Abr. Bt). Bacteria que produce una toxina contra ciertos insectos, en particular especies de coleópteros y lepidópteros;



constituye el principal medio de lucha contra insectos en el contexto de la agricultura orgánica. Algunos de los genes de la toxina se consideran de mucha importancia en el enfoque transgénico de la protección de cultivos

Bioseguridad: Políticas y procedimientos adoptados para garantizar la aplicación segura de la biotecnología moderna en la salud y en el ambiente

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

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

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

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

Flujo de genes (flujo génico): Propagación de genes de una población a otra relacionada (generalmente) por migración, lo que determina cambios en la frecuencia alélica

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

Gestión del riesgo: Valora opciones alternativas, consultando a todas las partes interesadas y teniendo en cuenta la evaluación del riesgo y

otros factores relevantes. En caso necesario, selecciona las opciones de control y prevención más apropiadas

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

Hibridación: Proceso de formación de un híbrido por polinización cruzada de plantas

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

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

Introgresión: Introducción en una población de nuevos alelos o genes (normalmente de otra especie), por cruzamientos repetidos o continuos.

Mutación: Cualquier modificación heredable en el ADN

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

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

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

Relaciones filogenéticas: Relaciones de filiación y rasgos parentales y de cruzamiento de las distintas especies

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



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

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

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

Xenia: Efecto inmediato del polen en las expresiones fenotípicas del embrión y del endospermo ●





14 Referencias



ABE. 2004. Agricultural Biotechnology in Europe. www.abeurope.info

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

Bejarano, A; Segovia, V. 2000. Origen del maíz. *In*: Fontana, N, H. ; González, N. C. (eds). 2000. El maíz en Venezuela. Fundación Polar. Caracas. 530 pp.

Bellon, M. R.; Berthaud, J. 2004. Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico: the importance of farmers behavior. *Plant Physiology* 134:883-888.

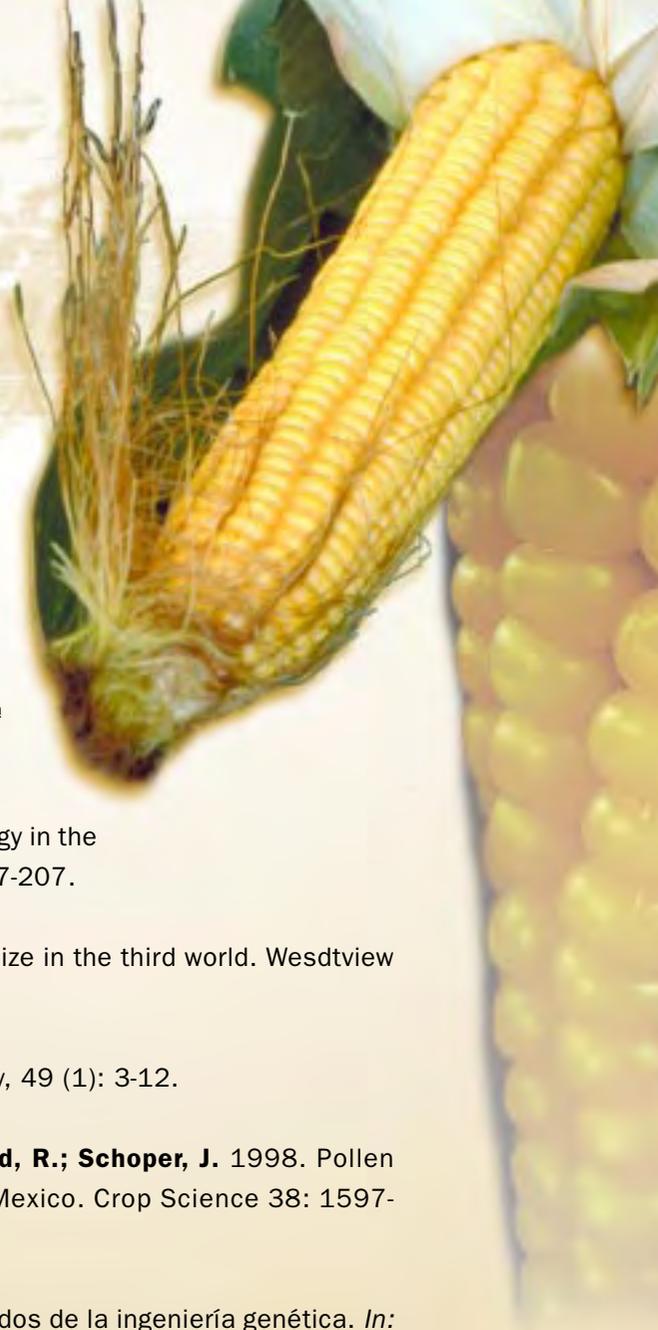
BNA. 2005. Evaluación y pronóstico de cosechas. Bolsa Nacional Agropecuaria. <http://www.bna.com.co>

CCA. 2004. Maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México. Comisión para la Cooperación Ambiental. México. 45 pp.

CIMMYT. 2002. El maíz transgénico en México: hechos actuales e investigaciones por hacer en el futuro. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo, CIMMYT. <http://www.cimmyt.org>

Chassy Bruce. 2004. Bt Corn reduce serious birth defects. *Checkbiotech Newsletter* 29.10.2004.





Colorado State University, 2004. Cultivos Transgénicos: Una introducción y Guía a Recursos.
<http://www.colostate.edu/programs/lifesciences/CultivosTransgenicos/>

De León, C. 1978. Maize diseases a guide for field identification. CIMMYT. Information bulletin N° 11, 2ª Edition. 92 p.

Demont, M.; Tollens, E. 2004. First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. *Ann. Appl. Biol.* 145: 197-207.

Dowswell, C. R.; Paliwal, R. C.; Cantrell, R. P. 1996. Maize in the third world. Westview Press. Colorado. 268 pp.

Galinat, W. C. 1995, The origin of corn. *Economic Botany*, 49 (1): 3-12.

Garcia, C. M.; Figueroa, M. J.; Gómez, L. R.; Townsend, R.; Schoper, J. 1998. Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. *Crop Science* 38: 1597-1602.

Grobman, A. 2003. Productos agrobiotecnológicos derivados de la ingeniería genética. *In:* Gil H., L; Martínez Z., V. 2003. Bioseguridad y comercio internacional de alimentos transgénicos en las Américas: decisiones y desafíos. OEA. Santiago, Chile. 35-51 p.

Gupta, S. C. 2003. Marco regulatorio para productos de la biotecnología Agrícola en estados Unidos. *In:* Gil, H. L.; Martínez, Z. V. 2003. Bioseguridad y comercio internacional de alimentos transgénicos en las Américas: decisiones y desafíos. OEA. Santiago de Chile. pp. 135-145.

Halford N. 2003. *Genetically Modified Crops.* Imperial Collage Press.

ICA. 2003. Evaluación de los riesgos potenciales para introducir y comercializar semillas de maíz con la tecnología Yieldgard. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 27 p.





ICA. 2004a. Evaluación del flujo genético de la tecnología Yieldgard en el cultivo del maíz. Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 7 p.

ICA. 2004b. Evaluación del efecto de la tecnología Yieldgard sobre poblaciones de artrópodos en el cultivo del maíz. Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 9 p.

ICA. 2004c. Evaluación de los riesgos potenciales para introducir y comercializar semillas de maíz con la tecnología Roundup Ready. Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 22 p.

ICA. 2004d. Evaluación de los riesgos potenciales para realizar actividades con maíz híbrido marca Pioneer genéticamente modificado (TC1507) con la tecnología Bt Herculez I (Cry1F) para protección contra insectos lepidópteros. Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá. 14 p.

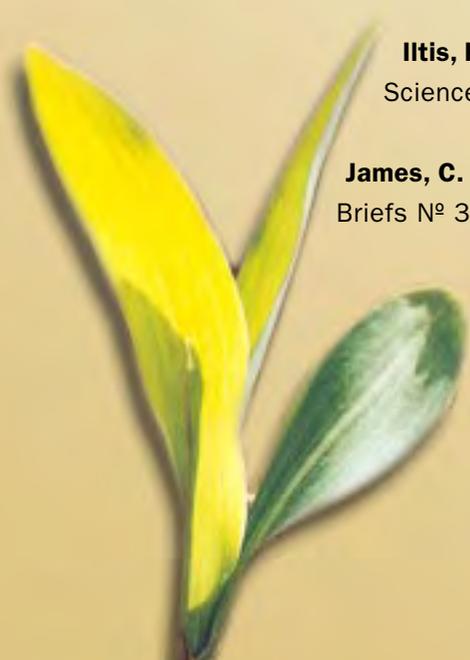
IFT Expert Panel. (2000b). IFT expert report on biotechnology and foods: Benefits and concerns associated with recombinant DNA biotechnology-derived foods. Food Technology, 54(10), 61-80.

ILSI. 2004. Nutritional and Safety Assessments of Foods and Feeds Nutritionally Improved through Biotechnology. International Life Sciences Institute. Washington, D.C. Comprehensive Reviews in Food Sciences and Food Safety, Vol. 3. 70 p.

Illis, H. H. 1983. From teosinte to maize. The catastrophic sexual transmutation. Science 222: 886- 894.

James, C. 2004. Preview. Global status of commercialized biotech/GM: 2004. ISAAA Briefs N° 32. ISAAA: Ithaca, NY.

Kleter, G. A.; Noordam, M. Y.; Kok, E. J.; Kuiper, H. A. 2000. New developments in crop plant biotechnology and their possible implications for food product safety. State Institute for Quality Control of Agricultural products, RIKILT. Wageningen, Netherlands. 53 pp.





Kuiper, H., 2001. Assessment of food safety issues related to genetically modified foods. *Plant Journal* 27(6), 503-528.

Luna, V. S.; Figueroa, M. J.; Baltázar, M. B.; Gómez, L. R.; Townsend, R.; Schoper, J. B. 2001. Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Sci.* 41:1551-1557.

Mackenzie Donald. 2002. Who's afraid of GM feed. *Feed Mix.* Vol 10, Num 3.

Mangelsdorf, P. C. 1986. The origin of corn. *Sci. Am.* 25: 80-86.

Mangelsdorf, P. C. 1974. *Corn – Its Origin, evolution and improvement.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Metcalf, D. 1996. Evaluación del potencial alergénico de alimentos derivados de cultivos genéticamente modificados. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36 (S): S165-186.

Metz M. 2003. *Bacillus thuringiensis.* A corner stone of Modern Agriculture. Food Products Press.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2001. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2001. Bogotá. 209 p.

Mink, S. D.; Dorosh, P. A. 1987. An overview of corn production. *In: The corn economy of Indonesia.* Cornell University Press, London.

Monsanto Agricultura España. 2001. Seguridad del maíz MON 810 (YieldGard®) genéticamente protegido contra taladros. Cuaderno Técnico N° 2. Madrid. 38 p.

Monsanto Agricultura España. 2002. Seguridad del maíz Roundup Ready® GA21 genéticamente tolerante a glifosato. Cuaderno Técnico N° 3. Madrid. 35 p.





Monsanto Europa - Africa. 2004. Maíz MON 863 Yieldgard Rootworm protección contra el “gusano” de las raíces. 5 p.

Monsanto. S.f. Maíz Roundup Ready (NK603) tolerante a Roundup. Cuaderno Técnico. Buenos Aires. 62 p.

Novartis Seeds. 1997. El maíz sigue siendo maíz. Basilea. 6p.

OECD, 1993. Safety Evaluation of Foods Derived by Modern Biotechnology: Organization for Economic Cooperation and Development. http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/biotech/prod/modern.htm

OECD. 2003. Consensus document on the biology of *Zea mays* subsp. *mays* (Maize). Organization for Economic Co-operation and Development, OECD. Paris. 49 p.

Paterniani, E. 2000. Evolución del maíz. *In:* Fontana, N, H.; González, N. C. (eds). 2000. El maíz en Venezuela. Fundación Polar. Caracas. 530 pp.

Poehlman, J. M. 1959. Breeding Field Crops. Holt, New York, USA.

Randolph, L. F. 1959. The origin of maize. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 19: 1-12.

Robinson, C. 2001. Alimentos y tecnología de modificación genética. International Life Sciences Institute (ILSI). ILSI Europe, Bruselas. 45 p.

Snow, A. A. 2004. Genetic modification and gene flow: an overview. Yearbook of Science and Technology, University of Wisconsin Press. Madison, WI.

Syngenta seeds. 2003. Kernels of gold. The facts about Bt corn. Basel, Switzerland. 16 p.

Varella, M. D.; Fontes, E.; Da Rocha, F. G. 1999. Biossegurança & Biodiversidade; contexto científico regulamentar. Del Rey. Belo Horizonte. 304 p.

Wang, R. L, A. Stec, J. Hey, L. Lukens and J. Doebley. 1999. The limits of selection during maize domestication. *Nature* 398: 236-239.

Weatherwax, P. 1955. History and origin of corn. In: G. F. Sprague and J. W. Dudley (eds.). *Corn and Corn Improvement*. Academic Press, New Cork. pp. 1- 16.

Wilkes, G. 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. *In*: Harris, D. R.; Hillman, C. (eds.). *Foraging and Farming*. Unwin Hyman. London. pp. 441-455. ●





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