

PLANTAS TRANSGENICAS: UNA REVISIÓN DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS BÁSICOS EN MÉXICO

TRANSGENIC PLANTS: REVIEW OF MAYOR BASIC CROPS IN MEXICO

Paulina Rodríguez R.¹, Orfil González R.¹

paulina_rguezrivera@hotmail.com / orfil.gonzalez@cucei.udg.mx

RESUMEN. Los cultivos básicos principales en México son el maíz, la soya, el algodón, de los cuales se han investigado y desarrollado muchas variedades genéticamente modificadas. La aplicación de la genética es un tema muy controvertido. De momento, un aspecto fundamental es la apertura a la información de todo lo relacionado con los cultivos transgénicos para los clientes y consumidores finales. En México, el organismo encargado de la bioseguridad es CIBIOGEM, cuya función primordial es verificar el cumplimiento de las leyes y reglamentaciones adoptadas en el país en relación a la importación, consumo y siembra (inclusive a nivel experimental) de cultivos transgénicos. Es importante enfatizar que las leyes nacionales están en concordancia con acuerdos internacionales como el Protocolo de Cartagena. Existen apartados en varias normas y leyes mexicanas en relación con los productos que contengan modificaciones genéticas, sin embargo a falta de una normatividad específica para la bioseguridad, en el 2005 se aprobó la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Para poder dictaminar un juicio en relación a los cultivos transgénicos, se debe tener claro conceptos fundamentales acerca de lo que implica que tenga una modificación genética, así como del proceso para su creación. Reconocer las principales modificaciones genéticas que pueden tener un cultivo tales como la resistencia a plaguicidas y a insectos, saber en qué consiste cada una de estas características y las herramientas estadísticas o metodologías existentes para poder determinar si un lote de un cultivo está mezclado con variedades genéticamente modificadas. El enfoque de esta revisión es presentar los conceptos relacionados con los cultivos genéticamente modificados en México tanto a importadores, procesadores industriales y para consumidores directos de granos básicos, así como para el público en general interesado.

Palabras clave: cultivo transgénico, modificación genética, agrobiotecnología, bioseguridad en México, técnicas OGM

ABSTRACT. Many investigations and development are made in varieties of plants genetically modified from the mayor basic crops in Mexico, such as corn, soybean and cotton seeds. Genetic applications are a controversy topic. All the information related about transgenic crops has to be available for clients and final consumers. CIBIOGEM is the Mexican organism ordered about biosecurity, its function is to verify fulfillment of the laws and regulations about the importations, consumption and sowing (even experimentally) of transgenic crops. National laws are with correspondence on international agreements such Cartagena Protocol. The mexican laws and regulations talk about genetic modification in products, nevertheless the lack of specific biosecurity norm was the origin for the approval of the GMO biosecurity law in 2005. To be able to make a judgment about GMO crops, you should have clear concepts related with genetic modifications in plants and how the process of creation is. Recognition of the main genetic modification in crops such plague or insect resistance, the characteristics in crops and their implications, statistical tools and seed purity testing for transgenic traits. This review point out aspects about genetically modified crops in Mexico to importers, producers, direct crop consumers and general public.

Keywords: transgenic crop, genetic modification, agrobiotechnology, Mexico biosecurity, OGM techniques.

Introducción

El ser humano, desde el comienzo de la agricultura y la aplicación de técnicas agrícolas, ha estado en la búsqueda de nuevas y mejores variaciones biológicas. Las técnicas agrícolas de hibridación se han usado para crear combinaciones que, de otra manera hubieran sido muy difíciles de obtener. Los genes se han distribuido geográficamente alrededor del mundo al plantar cultivos que no son nativos del lugar. Este mejoramiento ha llegado hasta la aplicación de la ingeniería genética, con el objetivo primordial de ayudar a resolver problemas tales como el fitomejoramiento para elevar el rendimiento de producción o aumentar el contenido de algún compuesto en específico, mejorar la resistencia a plagas, enfermedades y condiciones adversas como la sequía y el frío.

¹ Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Blv. Marcelino García Barragán # 1421, Guadalajara, C.P. 44430, Jalisco, México



De tal manera que hoy en día podemos tener cultivos que presentan más de alguna de estas condiciones [1, 2]. Este tipo de cultivos a los cuales se les han aplicado técnicas de ingeniería genética representan ejemplos de organismos genéticamente modificados o más específicamente cultivos o plantas transgénicas.

A nivel mundial, la manipulación y mejora genética ha traído una serie de debates acerca de su aplicación, aceptación, usos y efectos en la biodiversidad. En México, la situación de los cultivos genéticamente modificados (GM) está fuertemente influenciada por sus vecinos del norte (Estados Unidos y Canadá), quienes tienen grandes avances en materia de biotecnología vegetal. Para los principales cultivos agrícolas se tiene gran variedad de plantas transgénicas (PT), por lo que es fundamental para los consumidores y sobre todo para las industrias procesadoras de alimentos, conocer información relacionada con dichas modificaciones. El objetivo de este resumen es proporcionar información acerca de los conocimientos fundamentales con respecto a los cultivos genéticamente modificados, las compañías líderes productoras de esta tecnología, aspectos legales y finalmente algunas metodologías para la detección de estos cultivos.

Antecedentes

¿Qué son las plantas transgénicas?

Una planta transgénica (PT) es un organismo genéticamente modificado (OGM). Un OGM es cualquier organismo cuyo material genético ha sido modificado o alterado de manera artificial, para mejorar una o varias de sus características [3, 4]. Toda célula viva, ya sea de una bacteria, de un vegetal o de los mamíferos, contiene su información genética almacenada en el ADN, en unidades llamadas genes [5]. Las características fisiológicas de un organismo se encuentran determinadas por la información contenida en dichos genes. La modificación genética se realiza insertando uno o varios genes con las características de interés que se desea conferir mediante la aplicación de técnicas recombinantes de ADN [1]. Estas técnicas implican el reordenamiento de los genes con el uso de enzimas, que por su naturaleza, cortan las moléculas de ADN. Obteniendo fragmentos que pueden ser unidos mediante manipulaciones *in Vitro* [5]. Los genes insertados llamados transgenes (ya que se introduce de manera artificial), pueden proceder de especies no relacionadas [4, 6].

Para la creación de una PT, primero hay que identificar el transgen o transgenes que confieren la característica deseada, después hay que aislarlo, clonarlo y hacerle varias modificaciones antes de insertarlo en una célula de la planta [7]. El aislamiento del transgen implica: a) la extracción del ADN que lo contiene de la célula a la que pertenece; b) la separación de la fracción de ADN que contiene dicho transgen sin que resulte dañada la parte que interesa. Posteriormente para la clonación, es decir para la inserción y expresión de los transgenes, existen dos maneras. La primera, implica el uso de tecnologías *in vitro* que incluyen técnicas tales como la microinyección de ADN, introducción directa del ADN en el protoplasto con o sin la aplicación de estimulación eléctrica (electroporación) y/o bombardeo con microproyectiles. La segunda, implica tecnologías basadas en el uso de vectores que incluyen el uso de organismos virales, plásmidos y de bacterias como *Agrobacterium tumefaciens*, los cuales introducen su ADN dentro de la planta [4, 5, 8]. En la [Figura 1](#) se presenta un esquema general para la creación de un OGM.

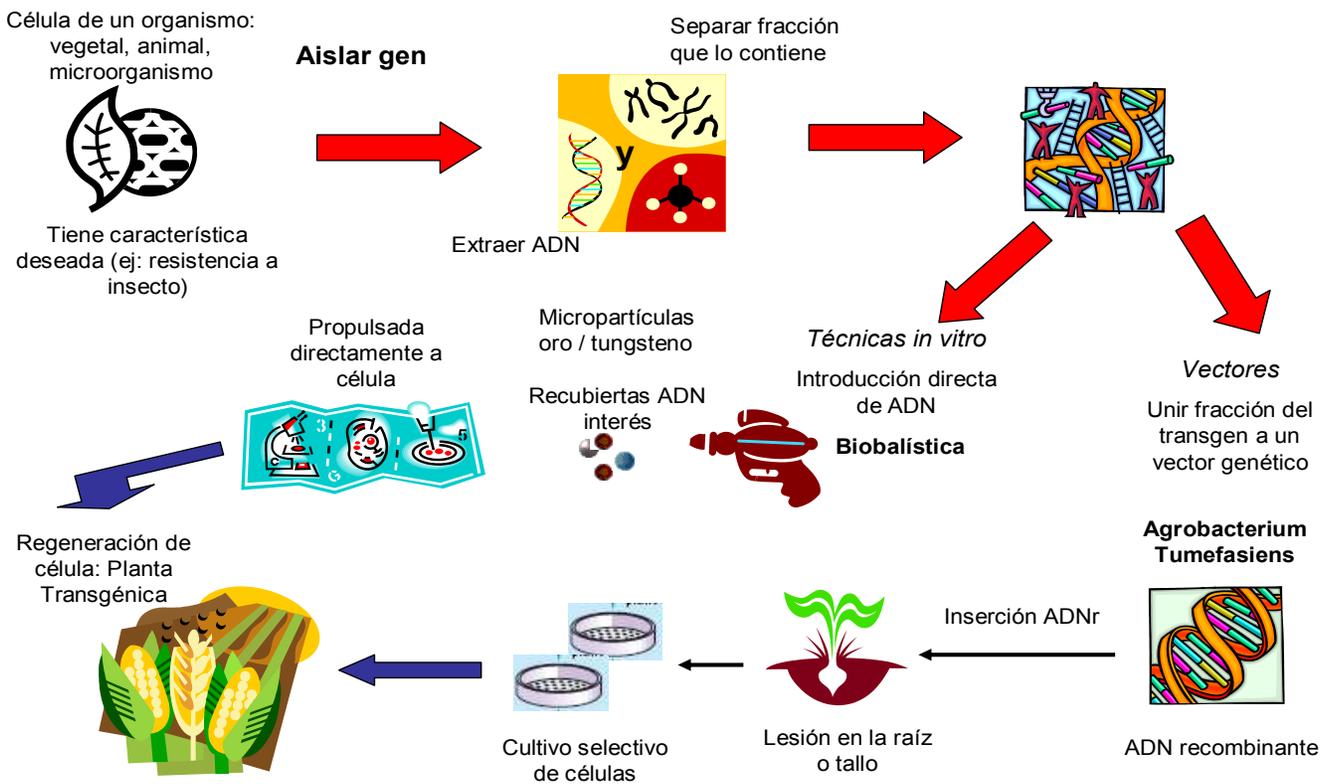


Figura 1. Pasos para la creación de una planta transgénica.

De las técnicas *in vitro* la más común es el uso de la biobalística (conocido también como pistola de genes o bombardeo con microproyectiles). Esta técnica ha sido especialmente útil en la transformación de especies monocotiledóneas como el maíz y el arroz [7]. En esta técnica, micropartículas de oro o tungsteno son cubiertas con el ADN de interés y son propulsadas directamente en las células de la planta, también se puede hacer utilizando descargas eléctricas o comprimiendo gas helio, simulando el efecto de una “pistola de genes”. Si la célula bombardeada se regenera, una nueva y completa planta transgénica puede ser producida [8]. Esta técnica requiere infraestructura, equipamiento y personal altamente entrenado para realizarla por lo que su costo es relativamente alto. La ventaja se tiene una vez que se hizo la inversión, ya que su aplicación implica rapidez en la etapa de inserción del transgen [9], además de que permite tener un gran número de copias de transgenes [8].

Las técnicas basadas en el uso de vectores implican la unión de la fracción del transgen previamente aislada a un vector genético (generalmente un virus o plásmido) con lo cual se obtiene lo que se conoce como ADN recombinante (ADNr). El vector permite la inserción del ADNr a una célula huésped (la que nos interesa que tenga esa nueva característica) en la cual se replica y expresa el ADN insertado una vez que esta se introduce a la célula [5]. El vector más comúnmente empleado es la bacteria *A. tumefaciens*, ya que por su naturaleza transfiere su propio ADN en la planta con una infección. Esta infección solo la puede hacer a través de las lesiones de la planta que generalmente ocurren en la raíz o en el tallo. Cuando esto sucede la planta emite ciertas señales químicas. En respuesta a esas señales los genes de *A. tumefaciens* se activan y dirigen una serie de acontecimientos necesarios para la transferencia del ADN desde el plásmido al cromosoma de la planta. El ADN entra entonces en la célula de la planta a través de la lesión. Para utilizar

A. tumefaciens como vector del transgen, los científicos han eliminado la sección de ADN inductora de tumores (característica de la infección) [7, 8]. Dichas células son cultivadas colocándose en un medio de cultivo selectivo, en el cual crecen raíces y tallos que generan una planta que contiene el gen insertado [2]. Debido a la simplicidad de la técnica, ha sido posible su aplicación para la infección y posterior transformación de otras plantas además de las que son por naturaleza plantas huésped de *A. tumefaciens*. A pesar de esto, es poco eficiente para varias especies de plantas además de que se obtiene un bajo número de copias de plantas con el transgen [8].

Las modificaciones genéticas en plantas están determinadas por el conocimiento de sus genes y de las técnicas de transformación aplicables. Un buen conocimiento de ambos nos permite obtener plantas transgénicas que expresen de una manera estable los genes de interés.

Principales modificaciones genéticas en cultivos

Las principales características que se introducen a los productos agrícolas están dominadas por las necesidades del productor y del consumidor. En un principio, las modificaciones genéticas estuvieron regidas por las necesidades en el campo, enfocado a una mayor productividad. Posteriormente, se comenzó con el mejoramiento de la composición determinada por las distintas necesidades de la industria y de los consumidores.

Las modificaciones genéticas se enmarcan en tres aspectos:

- Resistencia a plagas (insectos y virus)
- Tolerancia a herbicidas
- Mejora de características de interés (tales como aumento en el contenido de un compuesto nutricional).

A continuación se presentan en las [Tablas 1, 2 y 3](#) un resumen de cada uno de los aspectos de las modificaciones genéticas.

T A B L A 1. M O D I F I C A C I O N G E N E T I C A: Resistencia a plagas

Aspecto	Generalidades	Fundamento	Mecanismo de acción	Especificidad	Perspectivas
Resistencia a plagas de	Insectos	Conocidos como cultivos Bt.	En la ingestión de larva de insecto: los cristales se solubilizan en el ambiente alcalino del intestino donde las proteinasas liberan la toxina activa, la cual se une a unos receptores específicos de las células del intestino, lo que resulta en la formación de poros, causando lisis osmótica de la célula.	Determinada por interacción toxina-receptor, aunque también influye la solubilidad del cristal y la activación de la proteasa	Se han creado otras plantas que contienen inhibidores directos contra diversas proteinasas, inhibidores de amilasa, lecitina, oxidasa y quitinasa. Apenas están en etapas iniciales.
		Es la modificación más usada.		Bt al aislarse produce inclusiones cristalinas en la esporulación. Los cristales contienen un potente insecticida d-endotoxina, clasificada en: (Cry) Toxina cristal y (Cyt) Toxina citolítica. La toxina es sintetizada como protoxina.	
Resistencia a plagas de	Virales	Bt es una bacteria proveniente de suelos, gram-positiva y formadora de esporas	Basado en la expresión de genes del virus que codifican para proteínas de la cápside (CP), replicasas, proteínas defectivas de movimiento, proteasas o componentes auxiliares. La forma más común es la mediada por CP.	Recientes proteínas bt con amplio espectro	Expresión de proteínas ribosomal inactivadoras. Afectan a ribosomas tanto de células procariotas como eucariotas, inhibe síntesis de proteínas. Esto aplicado específicamente para hongos.
		Representan la aplicación del concepto de resistencia derivada del patógeno, en las cuales genes virales se introducen en el genoma de la planta		La expresión de las proteínas virales de CP en las plantas transgénicas, puede interferir ya sea en la transcripción o en la proteína con infección del virus. Interfiere en el genoma viral no CP, retrasando o previniendo el establecimiento del virus en la fase productiva de infección.	

Fuente: 6, 8, 10, 11

De la Tabla 1 se aprecia que la modificación genética con respecto a la resistencia de plagas se subdivide en dos aspectos, en plagas virales y en plagas de insectos. Cada una con mecanismos muy diferentes entre sí. Cabe destacar que en el caso de la resistencia a virus, el trabajo se ha enfocado a cultivos distintos de los cultivos básicos ya que estos últimos no son susceptibles al ataque de virus. La resistencia a virus es muy específica para cada tipo de planta por lo que esta determinada por el cultivo. Comparado con la resistencia a insectos la cual esta determinada por el tipo de plaga, lo que hace que sea más general y que se pueda aplicar esta modificación a distintos tipos de cultivos. Más adelante se va a mostrar datos acerca de la importancia que tiene la resistencia a plagas de insectos para los cultivos básicos.



T A B L A 2 . M O D I F I C A C I O N G E N E T I C A : R e s i s t e n c i a a h e r b i c i d a s

Aspecto	Generalidades	Fundamentos y producción	Mecanismo de acción y especificidad por tipos de herbicida	Perspectivas
Tolerancia herbicidas	La producción eficiente del cultivo es afectada por malas hierbas. Su control implica la aplicación oportuna de herbicidas, aprox. 10% de la producción se pierde a causa de su invasión. Muchos herbicidas afectan a procesos metabólicos comunes para las malas hierbas y especies cosechadas. Los métodos basados en ing. genética tratan de conseguir plantas tolerantes. Se basan en mayor conocimiento del mecanismo natural de actuación de los herbicidas en las plantas y, por otra parte, en procesos paralelos a los que el microorganismo obtiene resistencia a antibióticos.	La tolerancia se puede dar en 3 vías principales de actuación:	GLI:el GLI inhibe la enzima 5-enolpiruvilsiquimato-3-fosfato sintetasa (EPSPS), importante en síntesis aminoácidos (aas) fenilalanina, tirosina y triptofano. Dos posibilidades: 1.En planta se introduce gen de bacteria del suelo que produce la enzima EPSPS tolerante al GLI. 2. Sobreexpresión de enzima EPSPS mediante la transformación de la planta por A. tumefaciens.	<u>Herbicida fosfinotricina (PPT)</u> : aplicación de la vía de desintoxicación de planta, insertando un gen codifica la fosfinotricina acetil transferasa (convierte PPT en su forma no toxica). Ventaja: eficaz y sencillo. Desventaja: estudio de efectos del herbicida degradado en planta.
		1. Sobreproducción de enzima sensible al herbicida	GLU: planta modificada con gen de bacteria que, codifica enzima fosfinotricina acetiltransferasa (PAT), que le otorga la característica de transformar fosfinotricina (activo glufosinato) en sustancia no toxica	
		2. Alteración enzima para tener una forma menos sensible al herbicida	IMI:las IMI inhiben la enzima acetolactato sintetasa (ALS) que es clave en producción de aas valina, leucina e isoleucina. Tolerancia mediante transformación genética. También con mutagénesis química inducida a la enzima ALS, evitando así que IMI se ligue a dicha enzima	
		3. Inactivación metabólica o desintoxicación de herbicida en planta	Existen otros tipos de herbicidas con los cuales se ha trabajado para su tolerancia en plantas, que comercialmente se tienen todavía pocos cultivos transgénicos, pero que se ha observado buenos resultados, tal como:	
	Las 2 primeras son más comunes	Comercial	Químico	
	Con tecnología ADN recombinante ha sido posible desactivar o reemplazar la secuencia de susceptibilidad por otra que confiera resistencia y permita a la planta tolerar la aplicación de herbicidas, los más comunes:	Roundup®	gliofosfato (GLI)	Atrazaina:Actua sobre proteína Q _B (proteína de ligación quinona a membrana) e interrumpe el flujo de la fotosíntesis. Se han encontrado mutantes del gen que la codifica, que confieren cierta tolerancia a plantas transformadas con la inducción de dicho gen
		Liberty®	glufosinato (GLU)	
			Imidazolinonas	
		Imazapir®	(IMI)	

Fuente: 6, 8, 12, 13

De acuerdo a los datos de la Tabla 2, la tolerancia a herbicidas esta determinada en función del tipo de químico utilizado. Es interesante observar que este tipo de tolerancia puede ser la más rentable, debido a la manipulación por parte de las empresas productoras de la semilla tolerante a un determinado herbicida que ellos mismos producen y comercializan. A pesar de esto, existen herbicidas de determinadas marcas que son en los que más se ha trabajado y de los cuales más productos agrícolas tienen desarrollada su tolerancia.





T A B L A 3. M O D I F I C A C I O N G E N E T I C A: Mejora de características de interes

Aspecto	Generalidades	Fundamentos y productos	Mecanismo	Características	Aplicaciones	Perspectivas
Mejoramiento de aceite en oleaginosas	Más de 600 millones de libras de aceite de soya se producen en E. U. Se usa para la producción de materiales industriales, principalmente: ácidos grasos, jabón y en alimentación de ganado; los restos se usan en la manufactura de tintas, pinturas, resinas, barnices, plásticos. Los productos industrializados solo representan el 4% del consumo total de aceite de soya, ya que en su mayoría es utilizado para la industria de alimentos. El aceite de soya es una mezcla compleja de 5 ácidos grasos (ácidos palmítico, oléico, linoléico y linolénico) difieren en el punto de fusión, estabilidad oxidativa, y funciones químicas.	El mejoramiento del aceite de soya se tiene dos líneas:	Para cada uno de los productos:	Comparación con el aceite de soya convencional (ASC)	Se muestran las siguientes aplicaciones:	
		1.Enriquecimiento de un ácido graso en particular del contenido del aceite	Regulación de expresión de los genes <i>FAD2</i> , codifican enzima que convierte a. oléico en linoléico	ASC contiene 25% de a. oleico del total de aceite. Contiene bajos niveles de a. grasos poliinsaturados (AGP) linoleico y linolenico(3-5%). ASC tiene 60 - 65%, mayoría en forma de a. linolenico	Alimento funcional: Elevado contenido de a. oléico es más sano (omega-6)	El mejoramiento del aceite con la producción transgénica de novedosos ácidos grasos presenta grandes retos, como el obtener altos niveles de dicho ácido graso sin afectar negativamente las cualidades agronómicas de la semilla de soya. En el caso del ácido caléndico las cantidades que se obtienen 2 a 3 veces menos comparado con la planta origen. El aceite con mejoramiento de propiedades de interés industrial enfrenta un futuro incierto debido a los costos asociados a las regulaciones para su aprobación y a los aspectos para su preservación. La comercialización esta sujeta a características de alto valor agregado.
		a) Producción de semilla con 80% de ácido oléico del total de aceite.	85%: regulación <i>FAD2</i> junto con genes controlan producción de a. palmítico	ASC contiene 10% de ácido linoléico del total de aceite. Con la modificación genética se tiene nivel similar a linaza.	Lubricantes biodegradables: Alta estabilidad oxidativa. Debido al alto contenido de a. oleico, bajo de AGP y vit. E	
		Recientemente, se han obtenido por arriba del 85%	Incremento de expresión gen <i>FAD3</i> , codifica enzima que convierte a. linoléico en linolénico	Presenta características que no son propias de la semilla	Tintas, pinturas y barnices: Baja estabilidad oxidativa. Deseable para aceites de secado (cubiertas)	
		b) Producción de aceite de soya con altos niveles de ácido linoléico, hasta de un 50% del total de aceite.	Implica identificación del gen(es) asociados	Expresión gen resulta en la acumulación de á. caléndico, a. graso poliinsaturado conjugado. Cantidad: 20-25%	Tintas, pinturas y barnices: Aceite más inestable oxidación Propiedades superiores como aceite de secado y en aplicaciones para recubrimiento	
		2.Producción transgénica de un nuevo ácido graso en el aceite.	Transferencia gen codifica la enzima que introduce doble enlace conjugado en a. grasos poliinsaturados	La transferencia de la ruta metabólica resulta en la acumulación del ácido graso monoinsaturado de 20 carbonos		
		a) Producción de semilla con genes transferidos de otra especie <i>C. officinalis</i> con limitantes agrícolas para producir ácido caléndico	Transferencia de ruta metabólica para la producción del ácido graso monoinsaturado			
		b) Producción de semilla con ácido graso monoinsaturado de 20 carbonos de semillas de <i>Limnanthes alba</i>				



En el caso de mejora de características de interés solo se presenta el mejoramiento de aceite en oleaginosas por ser el más representativo a nivel comercial, aunque también hay extenso conocimiento y aplicación de casos muy específicos como la maduración lenta en jitomates, el aumento de niveles de vitamina A en el arroz. Debido a lo extenso de las características y mejoramiento genético aplicado a plantas, solo se enfocó este trabajo en las principales características relacionadas con los cultivos básicos.

Compañías productoras de cultivos transgénicos

La mayoría de las investigaciones en relación a las PT se llevan a cabo en países desarrollados de América del Norte y Europa Occidental. Los desarrollos que se realizan son principalmente relacionados con cultivos de gran importancia agrícola.

Estas investigaciones se realizan fundamentalmente por compañías privadas con el fin de producir y comercializar semillas GM, así como herbicidas, plaguicidas y otros productos enfocados a la industria agrícola. Existen principalmente 5 empresas transnacionales que dominan el sector agro-biotecnológico: Bayer en el subgrupo denominado Bayer CropScience, Dow Chemical con su sección para agricultura llamada Dow AgroSciences, Dupont Company con la subsidiaria Pioneer Hi-Bred Internacional, Monsanto y Syngenta. Estas empresas transnacionales surgieron en los últimos años debido a su expansión por las adquisiciones y fusiones con empresas locales de distintos países y las asociaciones hechas con compañías alrededor del mundo [16, 17, 18, 19].

Los Estados Unidos predominan en el sector agro-biotecnológico, ya que como se observa en la [Tabla 4](#), tres de las cinco principales empresas transnacionales provienen de este país. Monsanto ha sido desde la introducción de cultivos transgénicos en el comercio, la mayor empresa agro-biotecnológica en la venta de semillas transgénicas [19], en el 2001 dominó el 90% del área mundial de cultivos transgénicos [17]. Las transnacionales de EU extienden su patrón tecnológico por el planeta. Por ejemplo, la mayoría de estas transnacionales tienen semillas resistentes a la familia de herbicidas Roundup® perteneciente a Monsanto.

Todas estas empresas transnacionales tienen oficinas en México, comercializando principalmente productos para la agroindustria tales como herbicidas, fungicidas, plaguicidas, coadyuvantes en el cultivo y algunas semillas híbridas. Solo dos tipos de PT se han introducido en México para su cultivo en programa piloto [16], una de ellas es el algodón y el otro es la soya [20, 21, 22]. Ambos pertenecen a semillas desarrolladas por la empresa Monsanto [20]. Dichas compañías realizan actualmente a nivel nacional experimentos a nivel de pruebas piloto, sembrando en distintos estados una gran variedad de cultivos [16, 22]. Cabe mencionar que ya se realiza la importación de una gran variedad de cultivos transgénicos provenientes de Estados Unidos. Ya sea para sembrar o importar cultivos transgénicos hay que solicitar su respectiva aprobación por parte de las autoridades mexicanas correspondientes [16]. En temas posteriores se profundiza al respecto.

A continuación se presenta la [Tabla 4](#) con información relevante relacionada de cada una de estas empresas transnacionales:

TABLA 4. EMPRESAS TRANSNACIONALES QUE DOMINAN EL SECTOR AGRO-BIOTECNOLOGICO

Nombre empresa	País procedencia	Alianzas y/o adquisiciones	Generalidades	Productos: semillas transgénicas
Monsanto	Estados Unidos Oficinas centrales: St Louis Missouri	Calgene, Asgro y Dekalb, BASF, Emergent Genetics, Seminis, Jacob Hartz Seed, Chanel Bio Corp, NC + Hibryds, etc	Principal productor y comercializador de semillas transgénicas a nivel mundial. Fundada a principios siglo XIX	Maíz. Marcas: Yieldgard® Roundup Ready® Tiene 5 variedades protegiendo de distintas plagas, insectos, resistencia a herbicidas o la combinación de ambas características También semillas de Algodón y Canola con la marca de Roundup Ready® Presentan principalmente resistencia a herbicidas
Para más información: www.monsanto.com/monsanto/layout/about_us/timeline/default.asp y www.monsanto.com/monsanto/layout/products/seeds_genomics/default.asp				
Dow Agroscience	Estados Unidos Oficinas centrales: Indianapolis, Indiana	Mycogen Seeds, Brasil Seeds, Cargill hybrid Seeds, Agricultural Chemicals de Rohm and Hass	Subsidiaria propiedad de The Dow Chemical Co. Fundada en 1998.	Maíz grano. Marcas: Herculex® Roundup Ready® Liberty® Gran variedad para protección de varios tipos plagas, resistencia a amplia gama de herbicidas, fungicidas Maíz ganado Marcas: Silage specific® Superhede HE® Características nutricionales: Aumenta la producción de leche. Aumento contenido de aceite en semilla lo que mejora la carne. También se puede tener características anteriores (plagas, herbicidas, etc)
Para más información: www.dowagro.com/mycogen/index.htm y www.dowagro.com/about/who/indexspan.htm				
Pioneer Hi-Bred International	Estados Unidos Oficinas Centrales: Johnston, Iowa	Dupont, Green Leaf Genetics	Estableció en 1970 como depto internacional de semillas. En 1995 se unió con Dow Agroscience para descubrir Herculex® (resistencia insectos)	Alfalfa. Protección contra insectos Canola. Marcas: Pioneer® Roundup Ready® Productividad consistente, resistencia a herbicida Maíz. Marca: Pioneer® Alta productividad, resistencia contra insectos Soya. Marca: Pioneer® 60 variedades Productividad, resistencia a plagas, pesticidas, etc Inovación empaque: Probulk® Probox® Girasol. Marca: Pioneer® Trigo. Marca: Pioneer®
Información: www.pioneer.com/web/site/portal/menuitem.cc20eec90551c318bc0c0a03d10093a0/ y www.pioneer.com/web/site/portal/menuitem.9f6465878d8530d2ec5c93a4d10093a0/				
Bayer CropScience	Alemania Oficinas centrales: Moheim	AgrEvo, Aventis Crop Science, Rhône-Poulenc Agro, Crompton Corporation's	En 1924 se estableció formalmente Bayer CropScience pero hasta inicio con Bioscience que es el grupo encargado de biotecnología en semillas	Algodón. Marca: FiberMax® Variedades con alta calidad de fibra, incluyendo de tecnología para resistencia a insectos y herbicida Canola. Marca: InVigor® Variedades con características de alta productividad, crecimiento vigoroso, habilidad de soportar estrés del ambiente (fríos)
Para más información: www.bayercropscience.com/bayer/cropscience/cscms.nsf/id/FactsFigures y www.bayercropscience.com/bayer/cropscience/cscms.nsf/id/Bio-Science				
Syngenta	Suiza Oficinas centrales: Basel	ICI (Imperial Chemical Ind), Ciba, Novartis, AstraZeneca, Delta and Pine Land (D&PL), COMPO, Emergent Genetics	Comienza en 1758, Syngenta se crea hasta 2000 con la fusión de Novartis y AstraZeneca. Tercer lugar internacional ventas	Maíz. Marcas: NK® GARST® GOLDEN HARVEST® Variedades con alta productividad en distintas regiones, resistencia a insectos (maíz-Bt), tolerancia a herbicidas (a glifosfato) Soya. Marcas: NK® GARST® GOLDEN HARVEST® Variedades con alta productividad en distintas regiones, tolerancia a herbicidas (a glifosfato)
Las marcas GOLDEN HARVEST® y GARST® tienen semillas para alfalfa y sorgo, con características tolerancia a herbicidas e insectos Remolacha Marca: Hilleshög® Semillas de cereales. Marcas: AgriPro Coker® C.C. Benoist® New Farm Crops®				
ISSN: 1665-5745 - 10/22 - http://www.e-gnosis.udg.mx/vol5/art9				
Para más información: www.syngenta.com/country/ch/index_en.aspx y www.syngenta.com/en/about_syngenta/timeline.aspx				



Situación de los cultivos transgénicos

La producción y comercialización de cultivos transgénicos a nivel internacional se ha incrementado de manera constante desde que se introdujeron al comercio en 1994. Es importante destacar los cultivos que predominan el mercado, la modificación genética más empleada, los principales países productores, la situación de México en el contexto de los cultivos transgénicos con respecto a su comercialización y cultivo.

Producción

El primer cultivo aceptado a nivel internacional y nacional fue el jitomate FLAVR SAVR®, desarrollado por el grupo Calgene, que presenta la característica de maduración lenta [22, 23]. Desde entonces, la adopción de los cultivos GM ha incrementado continuamente a nivel mundial con una tasa de crecimiento de 13% (12 millones hectáreas) alcanzando los 102 millones de hectáreas, tal como se observa en la Figura 2 [4, 21].

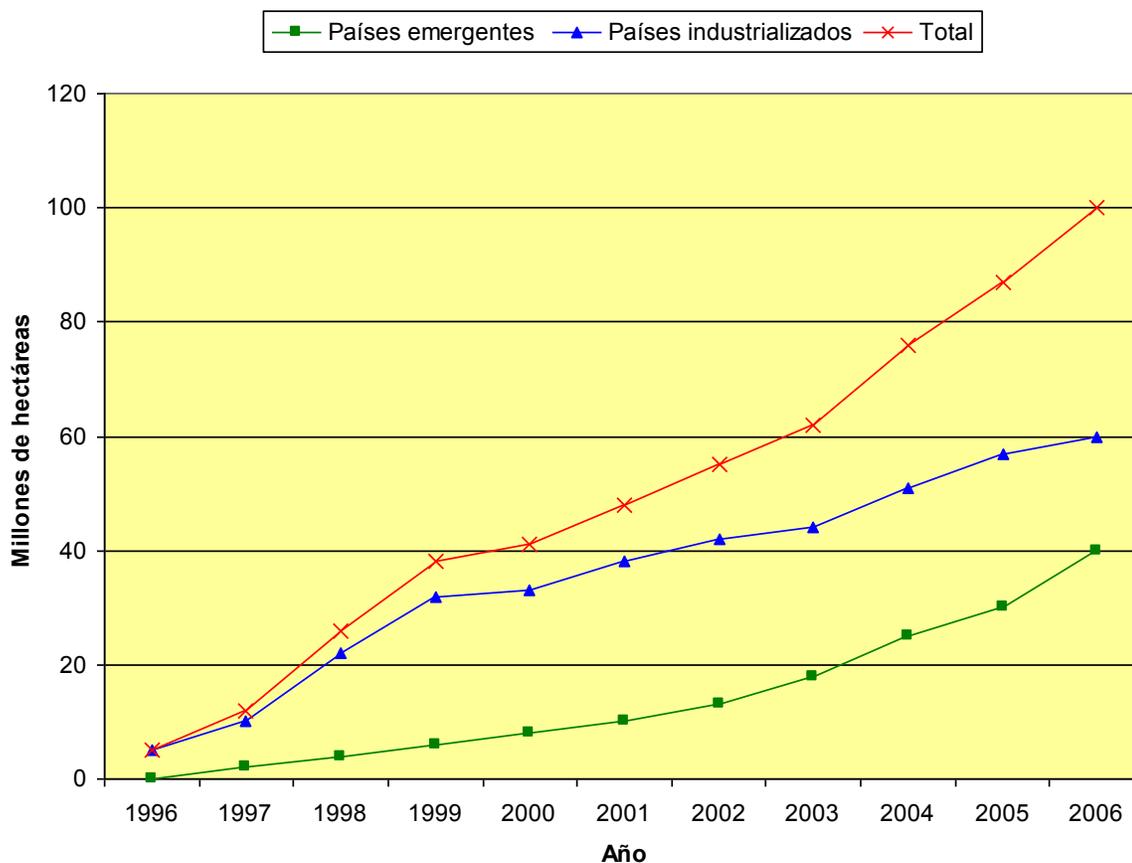


Figura 2. Superficie de cultivos biotecnológicos

Fuente: James, 2006

Actualmente, los países que siembran cultivos transgénicos son 22, de los cuales 11 son países industrializados y los otros 11 restantes son países en vías de desarrollo. Este año se agregó a la lista Eslovaquia como un miembro más de la Unión Europea. A continuación se presenta la Tabla 5 con los

países productores de transgénicos entre los cuales México siembra 0.1 millones de hectáreas de algodón y soya, por lo que es considerado “uno de los 14 países mega-productores de transgénicos” [21].

Tabla 5. Países productores de cultivos transgénicos

<i>Orden</i>	<i>País</i>	<i>Productos</i>	<i>Millones de hectáreas sembradas</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Acumulado</i>
		Soya, Maíz, Algodón, Canola, Calabaza, Papaya,			
1	Estados Unidos	Alfalfa	54.6	53.5	53.5
2	Argentina	Soya, Maíz, Algodón	18	17.6	71.2
3	Brasil	Soya, Maíz	11.5	11.3	82.5
4	Canadá	Canola, Maíz, Soya	6.1	6.0	88.4
5	India	Algodón	3.8	3.7	92.2
6	China	Algodón	3.5	3.4	95.6
7	Paraguay	Soya	2	2.0	97.5
8	Sudáfrica	Maíz, Soya, Algodón	1.4	1.4	98.9
9	Uruguay	Maíz, Soya	0.4	0.4	99.3
10	Filipinas	Maíz	0.2	0.2	99.5
11	Australia	Algodón	0.2	0.2	99.7
12	Rumania	Soya	0.1	0.1	99.8
13	México	Algodón, Soya	0.1	0.1	99.9
14	España	Maíz	0.1	0.1	100.0
15	Colombia	Algodón	<0.05	No reportado	No reportado
16	Francia	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado
17	Irán	Arroz	<0.05	No reportado	No reportado
18	Honduras	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado
19	República Checa	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado
20	Portugal	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado
21	Alemania	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado
22	Eslovaquia	Maíz	<0.05	No reportado	No reportado

Fuente: James, 2006

De acuerdo a los datos de la Tabla 5, se tiene que los primeros cinco países productores, Estados Unidos (EU), Argentina, Brasil, Canadá, India, suman en total más del 90% de la superficie total sembrada de cultivos transgénicos. Es importante resaltar que EU es el país con mayor superficie sembrada de cultivos transgénicos, teniendo más del 50% de la superficie total [21].

Productos y modificaciones genéticas

Los cultivos transgénicos más importantes son: el maíz, la soya, el algodón y la canola. De los cuales la soya tiene el 57% de la superficie de cultivos transgénicos a nivel mundial (58,6 millones de has.), seguido por el maíz con el 13% (2 millones de has.) y el algodón con 5% (13,4 millones de has) [21].

A continuación se presenta la Tabla 6 con los tipos de modificaciones genéticas que se tiene en la mayoría de los cultivos:



Tabla 6. Tipos de modificaciones genéticas y estadísticas relacionadas

<i>Tipo de modificación genética</i>	<i>Productos agrícolas</i>	<i>Millones has. sembradas (sup. cultivos trans.)</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Tasa de crecimiento</i>
Resistencia a herbicida	Soya, maíz, canola, algodón, alfalfa	69.9	68%	10%
Resistencia a insectos	Soya, maíz, canola, algodón, alfalfa	19	19%	17%
Resistencia a herbicida e insectos	Soya, maíz, canola, algodón, alfalfa	13.1	13%	30%

Fuente: James, 2006

Se puede ver en la Tabla 6, que la modificación genética más común es la resistencia a herbicida (69.9%). Los productos que presentan ambas características (resistencia a herbicida e insectos) son los que tuvieron con mayor tasa de crecimiento (30%) entre 2005 y 2006.

Existen 29 países que, a pesar de que no cultivan plantas transgénicas, han regularizado la importación de dichos cultivos para su uso en alimentos humanos y animales. La regulación de los transgénicos implica la aprobación de las autoridades del país con respecto a la modificación realizada en un cultivo en particular. De un total de 51 países (entre productores e importadores) que han aprobado cultivos transgénicos, los Estados Unidos es el país que más productos aprobados tiene, seguido por Japón, Canadá, Corea del Sur, Australia, las Filipinas, México, Nueva Zelanda, la Unión Europea (UE) y China [21].

En la siguiente **Tabla 7**, se presentan los cultivos que tienen la mayoría de modificaciones aprobados, así como el tipo de modificación.

Tabla 7. Modificaciones aprobadas

<i>Cultivo</i>	<i>Aprobaciones totales por cultivo</i>	<i>Modificación más común</i>	<i>Países que aprobaron modificación más común</i>
Maíz	35	Resistencia a insectos	18
		Resistencia a herbicida	18
Algodón	19	Resistente a insectos	16
Canola	14	No información	No información
Soya	7	Tolerancia a herbicida	21

Fuente: James, 2006

Se observa que el maíz es el que tiene mayor número de aprobaciones – modificaciones- con 35 países. Sin embargo, el producto que más países han aprobado es la soya con la modificación de tolerancia a herbicida, siendo 21.

Situación de cultivos transgénicos en México

La situación de México en relación a la siembra, importación y exportación de los cultivos transgénicos es muy variada. Desde 1988 se han realizado ensayos de PT con la primera solicitud para importar y cultivar en campo un jitomate resistente a insectos [16]. En 1996 se autorizó el cultivo en programa piloto de algodón en la Comarca Lagunera desde entonces, ya para el 2000 casi el 100% del algodón que se ha cultivado en esta zona ha sido transgénico [20]. Con respecto a nuestro principal producto agrícola, el maíz, su homólogo transgénico ha sido motivo de gran debate, ya que México es considerado el lugar de origen, domesticación y donde existe una gran diversificación y variedad de especies [17, 24]. La siembra de maíz transgénico antes de 1998 era escasa, existían muy pocas variedades transgénicas que fueron probadas a nivel campo en escala muy pequeña y controlada [25, 22].

Desde la apertura comercial por el TLCAN, la importación de cultivos básicos ha ido en aumento debido a la disminución en la producción nacional por factores como la falta de competitividad de los productores agrícolas, directamente relacionada con el elevado nivel de subempleo y pobreza que prevalece. En 1990, el promedio mexicano anual de importación de los cultivos básicos era de 8,7 millones de toneladas; en 2000 fue 18,5 millones [26]. EU ha sido nuestro principal proveedor cubriendo el 90% de este abasto. Específicamente, el maíz antes del TLCAN lo más que se importó fueron 2,5 millones de toneladas anuales. En el 2000 se importó más del doble: 5, 222,760 toneladas y en 2001 aumentó un 15% más, para llegar a 6.5 millones [26], para el 2002 bajo a 5.4 millones de toneladas [25], sin embargo siguen siendo cifras significativas y volúmenes muy altos. En volúmenes tan grandes de granos se pueden mezclar tanto variedades convencionales como híbridas, así como maíz genéticamente modificado y se sabe que los agricultores mexicanos han usado estas semillas en ciertos casos [25]. Esta forma de introducción de maíz transgénico y la consecuente mezcla con maíz local ha sido preocupación de diversas organizaciones nacionales por la falta de control y la contaminación de maíz de especies nativas. Un ejemplo es el caso de los años 2000-2001 con el descubrimiento de transgénicos en variedades nativas en zonas de Oaxaca y Puebla [24, 25]. La importación y consumo de maíz transgénico fue aprobado por la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) a partir del 2002 [16] (1), todas para el maíz especie *Zea mays L.* A continuación se muestra la **Tabla 8** con los productos de maíz aprobados.

Tabla 8. Maíz transgénico aprobado por COFEPRIS

<i>Año</i>	<i>Característica</i>	<i>Empresa desarrolladora</i>
2002	Marca Roundup Ready ® tolerante al herbicida glifosfato	Monsanto
	Marca Yieldgard ® resistente a insectos lepidópteros	Monsanto
2003	Resistente a insectos y lepidópteros y tolerante al herbicida glufosinato de amonio	Híbridos Pioneer
	Resistente a insectos, a coleópteros y a Kanamicina	Monsanto
2004	Resistente a insectos lepidópteros, solución faena, tolerante al herbicida glifosato	Monsanto
	Resistente a Diabrotica virgifera, Diabrotica berberis y Diabrotica virgifera zea	Híbridos Pioneer
	Resistente al gusano de la raíz (Diabrotica spp) y tolerante al herbicida glifosato	Monsanto
	Resistente a insectos y lepidópteros y tolerante al herbicida glufosinato de amonio y glifosato	Híbridos Pioneer

Fuente: COFEPRIS y CONABIO



Para la siembra de alguna planta o cultivo transgénico, se debe contar con un certificado de liberación al ambiente por parte de la SAGARPA. Para poder emitir este certificado se debe evaluar todo lo relacionado al cultivo GM, por lo que se debe proporcionar toda su información. Los requisitos de dicha información se encuentran fundamentados en la Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995. Establece los requisitos fitosanitarios, la determinación del objeto de estudio y las medidas de bioseguridad para minimizar los riesgos al ambiente [16, 27]. La SAGARPA reporta que entre 1998 y el 2005 se han aprobado el ensayo de aproximadamente 340 cultivos genéticamente modificados, principalmente para cultivos como el algodón, soya, maíz, jitomate. Estos ensayos han sido solicitados en su mayoría por instituciones privadas, sobretodo de Monsanto e Híbridos Pioneer [28]. La misma institución refiere que en el país se realizan pruebas con cultivos principalmente: resistentes a herbicidas (para el algodón, soya, maíz y frijol), a insectos (algodón, soya, maíz y jitomate), a virus (melón, papaya, papa, calabaza, tabaco y jitomate) [16, 28]. Más adelante se detalla todo lo relacionado en materia de reglamentación en nuestro país.

5. Leyes, reglamentación e instituciones para la bioseguridad

Debido al gran auge de los OGM y de la gran controversia que existe en relación con ellos, resulta de suma importancia el conocimiento en materia de bioseguridad tanto a nivel internacional como nacional. La bioseguridad implica las políticas y procedimientos adoptados para garantizar la segura aplicación de la biotecnología en salud y ambiente relacionados a los OGM's. Esto a través de la evaluación de posibles riesgos asociados a ellos [16].

Bioseguridad internacional

A nivel internacional se tiene establecido el Protocolo de Cartagena cuyo objetivo es garantizar que la transferencia, manipulación y uso de OGM entre naciones se haga de manera segura, es decir, observando los posibles efectos en el ambiente y en la salud humana. Así estableció el "Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología" (BCH por sus siglas en inglés), el cual cuenta con un "Directorio de Expertos en Bioseguridad" que se encargan de orientar a la población en general así como de las evaluaciones y decisiones relacionadas con los OGM's. De esta manera garantiza que se tenga la información necesaria para la evaluación del OGM. Este protocolo surgió a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio ambiente y desarrollo de 1992 aunque no fue sino hasta 1995 que se aprobó. Cabe destacar que el protocolo no abarca los productos farmacéuticos ni los derivados de OGM (como alimentos procesados) [16, 29].

Aunado al protocolo de Cartagena, existen organizaciones involucradas con varios aspectos relacionados con los OGM. Por mencionar, La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC) que evalúa los riesgos de las plagas vegetales, La Organización Norteamericana de Protección de Plantas (NAPPO) que desarrolla normas sobre los requisitos para autorizar plantas GM en países miembros, La Comisión del Codex Alimentarius para la seguridad alimentaria y la salud del consumidor, entre otras [16].

Bioseguridad nacional

El convenio adoptado a nivel internacional por México esta asentado en el Decreto Promulgatorio del Protocolo de Cartagena, el cual se creó en el 2003. En este decreto se declara la aceptación de dicho protocolo con la firma del presidente de la republica en ese entonces (Vicente Fox) e incluye la aceptación por parte del Senado. Su objetivo es implementar y acordar los puntos determinados en el Protocolo [16, 30]. Durante los años 2002 a 2005 se llevó a cabo el proyecto "México: Fortalecimiento de la capacidad nacional para la implementación del Protocolo de Cartagena sobre la Bioseguridad". Este proyecto fue



diseñado por el CIBIOGEM y apoyado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El objetivo del proyecto se enfocó en el fortalecimiento de la capacidad nacional en bioseguridad [31].

CIBIOGEM (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados) es el organismo responsable de la bioseguridad en México desde 1999 [16, 29, 32]. La comisión fue formalmente establecida en el 2000 [33].

Institución CIBIOGEM

El objetivo de esta institución es “*coordinar las políticas de la Administración Pública Federal relativas a la bioseguridad y a la producción, importación, exportación, movilización, propagación, liberación, consumo y en general, uso y aprovechamiento de organismos genéticamente modificados, sus productos y subproductos*” [16, 34].

Esta Comisión está integrada por los Titulares de varias secretarías (ver Figura 3). Cuenta con el apoyo de:

1. Consejo Consultivo de Bioseguridad, el cual se encarga de emitir su opinión en aspectos técnicos y científicos así como los estudios correspondientes a las consultas de los OGM's
2. Secretaría Ejecutiva, encargada del enlace de la Comisión con el comité técnico, además de comunicar, difundir y supervisar los acuerdos a los que se llegue
3. Comité Técnico, el cual da seguimiento a los acuerdos de la Comisión
4. Subcomités Especializados, en los cuales están involucrados autoridades nacionales competentes para dar atención a asuntos específicos [16, 35].

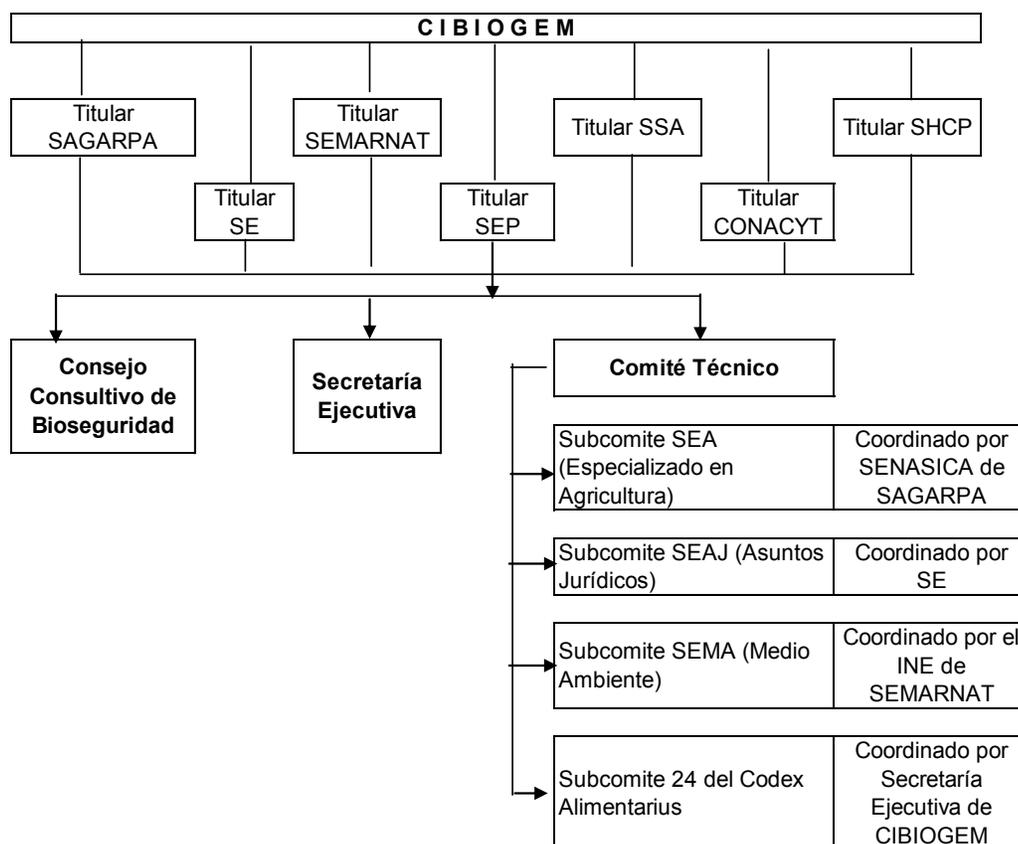


Figura 3. Esquema de CIBIOGEM

Leyes y normatividad nacional

Como elemento central para la bioseguridad esta la aplicación de medidas en materia de protección al ambiente y a la salud, en esta última ya sea humana, animal y vegetal. Las normas relativas a la salud humana están contempladas en la Ley General de Salud. Con respecto a la salud animal y vegetal se tiene la Ley Federal de Sanidad Vegetal, la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, la NOM-056-FITO-1995. Para la protección al ambiente se tiene la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente [36, 37]. Finalmente, con el objeto de englobar en una ley el aspecto de bioseguridad, en 2005 se aprobó la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, la cual es específica para el tema de bioseguridad en relación con los OGM, contemplando todos los aspectos citados (salud humana, vegetal, animal y protección al ambiente) [16, 37].

La primera norma para regular los OGM's fue la Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995 por la que se establecieron los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética [33, 37]. Esta norma fue creada en 1995 por el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) (actualmente SEA). Surgió a partir de la necesidad de apoyar al sector oficial en la toma de decisiones relacionadas con OGM [16].

Cabe destacar de la Ley General de Salud, el Título duodécimo que trata del Control sanitario de productos y servicios de su importación y exportación, específicamente en el capítulo XII Bis en el cual trata el tema de Productos Biotecnológicos [38], la cual los define como *“aquellos alimentos, ingredientes, aditivos y materias primas, en cuyo proceso intervienen organismos vivos o parte de ellos, y que han sido modificados por ingeniería genética”* [39]. Esta Ley en su artículo 282 bis-1 establece como una obligación *“notificar a la Secretaría de Salud, de todos aquellos productos biotecnológicos o derivados de estos que se destinen al uso o consumo humano”* [40], a fin de que antes de introducirlos al mercado nacional, la Secretaría de Salud los evalúe con la finalidad de prevenir riesgos a la salud de los mexicanos.

La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados tiene como objeto: *“regular las actividades de utilización confinada, liberación experimental, liberación en programa piloto, liberación comercial, comercialización, importación y exportación de organismos genéticamente modificados, con el fin de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que estas actividades pudieran ocasionar a la salud humana o al medio ambiente y a la diversidad biológica o a la sanidad animal, vegetal y acuícola”*. Es interesante recalcar que prevé en el Artículo 60 una evaluación de riesgo mediante un análisis *“caso por caso, con base en estudios fundamentados científica y técnicamente de los posibles riesgos o efectos que la liberación al ambiente de OGMs pueden causar al ambiente y a la diversidad biológica, así como a la sanidad animal, vegetal y acuícola”*. De acuerdo al Artículo 62, las etapas de la evaluación del riesgo son: *“I. Identificación de características nuevas asociadas con el OGM que pudieran tener posibles riesgos en la diversidad biológica; II. Evaluación de que estos posibles riesgos ocurran realmente, teniendo en cuenta el nivel y el tipo de exposición del OGM; III. Evaluación de las consecuencias si posibles riesgos ocurrieran realmente; IV. Estimación del posible riesgo global que represente el OGM; V. Recomendación sobre si los posibles riesgos son aceptables o manejables, o no lo son, incluyendo la determinación de estrategias para el manejo de esos posibles riesgos”* [16, 41]. Esta ley se apoya con la normatividad anteriormente citada, de esta manera la Ley Federal de Sanidad Vegetal incluye dentro de su insumo fitosanitario al material transgénico, señalando en su artículo 43 que su aplicación, uso o manejo está sujeto al certificado fitosanitario correspondiente, pero sólo en el área de programas experimentales y combate a plagas [37].

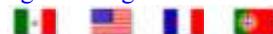
Dependiendo del rubro y aspecto relacionado al OGM se tienen apartados en distintas leyes contemplando aspectos de uso, comercialización, importación, exportación, siembra, etc. En México se tienen regulaciones y normatividad aplicables a la biotecnología, pese a la percepción generalizada de que no existen normas aplicables [24]. Últimamente se ha dado una mayor importancia e impulso en materia de normatividad específica con la creación de la CIBIOGEM y la aprobación de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.

Metodologías para la detección de modificaciones genéticas

Debido a los avances en biotecnología y la gran variedad de cultivos con características peculiares, es importante tener un buen sistema para determinar la pureza de un lote de semillas comerciales, saber si esta formado por mezclas con cultivos que tengan modificaciones genéticas. Para la detección de un cultivo GM paso clave es un adecuado diseño de muestreo que sea representativo así como la utilización de técnicas de detección.

Las pruebas más ampliamente utilizadas para determinar la presencia o ausencia de una característica genética en específico son: la técnica ELISA, inmunoensayos de flujo lateral y PCR. Los dos primeros detectan las proteínas que confieren la característica transgénica (ej: resistencia a insecticidas). La sensibilidad de estas técnicas esta limitada a la cantidad de proteína en la muestra, la calidad de la proteína extraída y la especificidad de los anticuerpos requeridos para realizar esta prueba. Estas pruebas tienen resultados semi-cuantitativos, es decir, no se puede conocer exactamente la cantidad de proteína ya que solo se obtiene por comparación contra un estándar lo que limita mucho la exactitud. PCR es un método con base en el ADN y puede detectar ya sea un producto en específico (Yielgard®), genes específicos que confieren la característica (gen que confiere la resistencia a insecticida) o los elementos genéticos que están presentes en la planta. Esta técnica provee buenos resultados cuantitativos y cualitativos, al ser una técnica extremadamente sensible puede haber falsos-positivos como por ejemplo si la muestra esta contaminada. A pesar del alto nivel de sensibilidad, se debe de tener un tamaño y cantidad de muestra suficiente [42]. De aquí que la selección en el plan de muestreo es clave para la obtención de óptimos resultados y apegados a la realidad.

Debido a que resulta fundamental una óptima aplicación de métodos matemáticos, existen herramientas estadísticas para el muestreo de semillas que facilitan su adecuada aplicación. Se conocen principalmente dos organismos como AOSA (en inglés Association of Official Seed Analysts) e ISTA (en inglés Internacional Seed Testin Association), dichas asociaciones se han encargado de descubrir, adoptar y publicar procedimientos y estándares para el muestreo y métodos de prueba para semillas, así como la creación de tablas de tolerancia que permiten comparar los niveles de pureza obtenidos con los requeridos [42, 43,44]. En la página de Internet de ISTA tiene una sección de métodos analíticos, en el cual está un apartado específico de OGM con una base de datos que permite el acceso a información publicada en diarios, revistas o reportes científicos. Esta base fue elaborada por el centro de investigación “Joint Research Centre” de la comisión de la Unión Europea y se publicó en el 2003. Contiene información general y técnica muy especializada en relación con la metodología de análisis, proporciona información para facilitar la selección de los apropiados métodos para la detección en una muestra o de un OGM en particular, también permite identificar métodos que se ajustan a las legislaciones de distintos países [45, 46]. Es interesante otra sección que facilita herramientas estadísticas para la prueba de semillas, incluye programas que se pueden descargar sin costo extra. Se presenta en paquetes con formato zip que incluye el programa, presentaciones y ejemplos que contribuyen a un mejor entendimiento y aplicación del programa. Dependiendo de las necesidades y enfoque del muestreo, se tienen distintos programas: (a) pruebas de laboratorio usando ISO 5725, (b) pruebas estadísticas para mezclas de semillas, (c) revisión de



homogeneidad cuando se unifican lotes, entre otros [47]. Existe, además gran variedad de paquetes de software que pueden ayudar a planear las pruebas a realizar, como por ejemplo el paquete SeedQuest® tiene el siguiente sitio web: <http://www.seedquest.com/best/spreadsheet>, el cual permite bajar una hoja del programa Microsoft Excel® que tiene programadas fórmulas las cuales permiten introducir errores conocidos para poder evaluar el impacto o riesgo en un determinado plan de prueba. Otro programa similar lo proporciona GIPSA (Grain Inspection, Packers and Stockyard Administración) que forma parte de la división de USDA, tiene la aplicación llamada “planeador de muestreo” (Simple Planner, en inglés) en el sitio web: <http://www.usda.gov/gipsa/biotech/biotech.htm> [42].

Cabe señalar que no existe el camino correcto o adecuado para el plan de muestreo y la o las metodologías de detección de las modificaciones genéticas. Depende en gran medida de la situación en la que se encuentre. Lo importante es poder identificar los aspectos a tomar en cuenta y de las situaciones que podemos controlar para poder tener un resultado real.

Conclusiones

Un cultivo transgénico o genéticamente modificado es aquella planta cuya información genética ha sido modificada o alterada con el objeto de cambiar sus características. Este cambio está enfocado en mejorar alguna característica inherente a la planta, tal es el caso del aumento y/o mejoramiento del tipo de aceite en cultivos de semillas oleaginosas como la soya. También para conferirle propiedades diferentes y ajenas a la planta, como en el caso de la resistencia a determinados tipos de plagas. Los cambios se han suscitado por las necesidades propias en el campo, fundamentalmente a las bajas productividades debido a factores externos durante el cultivo, como las condiciones del ambiente (sequías, temperaturas extremas, etc.) o susceptibilidades a plagas o a los sistemas de ataque de dichas plagas (plaguicidas, herbicidas, etc.).

Debido al contexto actual de la globalización, principalmente existen a nivel mundial 5 empresas transnacionales agro-biotecnológicas que están dedicadas a la creación, producción y comercialización de semillas para cultivos genéticamente modificados, así como también herbicidas, fungicidas, plaguicidas, coadyuvantes en el cultivo y otros productos enfocados a la industria agrícola. Los cultivos transgénicos se adoptaron a nivel comercial desde 1994 y desde entonces la variedad de cultivos, de modificaciones genéticas para su mejora, la superficie sembrada y los países en los que se ha aprobado su cultivo han aumentado continuamente. Aún mayor es el número de países que a pesar de que no cultivan transgénicos si aceptan su comercialización y consumo. Los principales cultivos que en mayor medida se le han aplicado distintas modificaciones genéticas han sido el maíz, el algodón, la canola y la soya. Las modificaciones más ampliamente aceptadas y difundidas son la resistencia a herbicidas, seguido de la resistencia a insectos o plagas.

En México, la situación de los cultivos transgénicos es muy variada. Con respecto a la siembra de plantas transgénicas, aunque no se ha aprobado ningún cultivo, las cantidades que actualmente se siembran de algodón y soya son representativas a nivel mundial (aprox. 1 millón de hectáreas). Estas siembras están aprobadas por las autoridades nacionales y todavía están en fase experimental a nivel de prueba piloto. La importación de cultivos transgénicos ha sido más rápidamente adoptada para una gran variedad de especies. Debido fundamentalmente a la gran influencia que se tiene de los países vecinos del norte (EU y Canadá) los cuales tienen grandes avances en investigaciones en agro-biotecnología así como en siembra y cultivo de gran variedad de especies transgénicas. Para la importación, siembra y el consumo de OGM, se tiene contemplada su vigilancia en varias leyes, normas y organismos gubernamentales. Así a pesar que desde 1988 se han estado solicitando permisos relacionados con la siembra y experimentación de OGM, no es sino hasta el 2000 cuando formalmente se tiene una institución responsable de la bioseguridad CIBIOGEM, y



para finales del 2005 una ley con el mismo enfoque. Un aspecto fundamental en la importación de cultivos, es la identificación de la modificación genética (comprobar la ausencia o presencia de alguna modificación y/o determinar si es el tipo de modificación deseada) y verificar la pureza de un determinado lote. Debido a esto, hay que tomar en consideración el uso y aplicación de técnicas y metodologías estadísticas para un óptimo muestreo, una buena determinación de la modificación genética y por supuesto determinar adecuadamente la aceptación o rechazo de un lote de semillas con la mínima posibilidad de equivocarse.

Referencias

- [1] Raney T, Cohen J, Falck-Zepeda J, Hoban T, Komen J, Naseem A, Pigali P (2004), El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *Colección FAO Agricultura* [online], Vol. 35, <<http://www.fao.org/docrep/006/y5160s/y5160s00.htm>>, ISSN 0251 – 1371. Consultado: 26 febrero 2007
- [2] Jones L. (27 febrero 1999), Science, medicine, and the future: Genetically modified foods, *BMJ British Medical Journal* [online], Vol. 318, <<http://bmj.com/cgi/content/full/318/7183/581>> , ISSN 581-584. Consultado: 5 marzo 2007
- [3] Concil for Biotechnology Information (2007) México: Glosario [online]. <<http://whybiotech.com/mexico.asp?id=2713>>. Consultado: 28 marzo 2007.
- [4] Feldmann M., Morris M., Hoisington D. (7 febrero 2000) ¿Porqué suscitan tanta polémica los organismos genéticamente modificados? Respuesta a preguntas frecuentes acerca de los OGM. [online]. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)*. <<http://www.cimmyt.cgiar.org/ABC/10-FAQaboutGMOs/htm/10-FAQaboutGMOs-Spanish.htm>>. Consultado: 5 marzo 2007
- [5] Pellon J. (1986). *La ingeniería genética y sus aplicaciones*. Primer edición, PP 229, Editorial Acribia, España.
- [6] Silva C. (Octubre 2005) Maíz genéticamente modificado, *Agro-Bio* [online]. Primera edición, Colombia. <http://www.biw.kuleuven.be/aee/clo/euwab_files/Silva2005a.pdf> Consultado: 19 febrero 2007.
- [7] Fenwick A. ¿Cómo se hacen las plantas transgénicas? [online] *Department of Soil and Crop Science at Colorado State University*. <http://cls.casa.colostate.edu/CultivosTransgenicos/sp_how.html> Consultado: 1 abril 2007.
- [8] Americal Medical Association: AMA. (10 agosto 2005) Genetically modified crops and foods. [online] Report 10 at the 2000 AMA Interim Meeting December 2000. <<http://www.ama-assn.org/ama/pub/category/13595.html>>. Consultado: 25 febrero 2007.
- [9] Castro F., Portelles Y. (1997). Transfección de ADN a células de mamíferos. *Biotechnología Aplicada* [online]. Vol. 14, Art. #3. <<http://www.bioline.org.br/request?ba97037>>, ISSN: 0684- 4551. Consultado: 25 marzo 2007.
- [10] Reimann- Philipp U. (1998) Mechanisms of resistance. Expression of coat protein. *Methods in molecular biology* [online]. Vol. 81. PP 521-532.
- [11] Baulcome D. (1996) Mechanisms of Pathogen-derived resistance to viruses in transgenic plants. *The plant cell. American Society of Plant Physiologists*. Vol. 8. PP 1833-1844
- [12] Cheung A. (1988) Relocating a Gene for Herbicide Tolerance: A Chloroplast Gene is Converted into a Nuclear Gene. *PNAS Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 85 PP 391-395
- [13] Vicente M., Martínez J. (1994) *Avances en Ingeniería Genética*. CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Primer edición. España.
- [14] Cahoon E. (2003) Genetic Enhancement of Soybean Oil for Industrial Uses: Prospects and Challenges. *AgBioForum*. Vol. 6 (1&2) PP. 11-13



- [15] Raymer P. (2003) Challenges in Comparing Transgenic and Nontransgenic Soybean Cultivars. *Crop Science Society of America*. Vol 43. PP. 1584-1589.
- [16] CONABIO. [Online]. Preguntas comunes sobre los organismos genéticamente modificados (OGMs) ó Transgénicos (14 septiembre 2005) México, D.F.: SEMARNAT / INE / CONABIO. <<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/preguntas.html>> Consultado: 15 marzo 2007
- [17] Juárez L. (Junio 2003). La dependencia alimentaria de México: en manos de las grandes empresas transnacionales. *Trabajadores en línea* [online]. Vol. 7 Art. # 36. <<http://www.uom.edu.mx/trabajadores/36laura.htm>>. Consultado: 5 abril 2007
- [18] RAFI: Rural Advancement Foundation International. (7 enero 2000). Los jumbo gigantes de la agrobiotecnología: Solo cinco sobreviven el torbellino de fusiones. [Online] ETCGroup. <<http://www.laneta.apc.org/biodiversidad/documentos/gigantes%20biotech.htm>>. Consultado: 5 abril 2007
- [19] Shand H. Transgénicos: ¿dónde estamos y dónde vamos? [online] *La Jornada ecológica* (29 mayo de 2001) <<http://www.jornada.unam.mx/2001/05/29/eco-b.html>> Consultado: 5 abril 2007
- [20] MONSANTO [online]. Conversations about plant biotechnology: México (2005-07). <<http://www.monsanto.com/biotech-gmo/asp/country.asp?cname=Mexico>>. Consultado: 10 abril 2007.
- [21] James C, (2006). Situación global de los cultivos transgénicos / GM comercializados: 2006. [online] ISAAA International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application: Resumen ejecutivo. Brief No. 35. <<http://www.isaaa.org/Resources/Publications/briefs/35/executivesummary/pdf/Brief%2035%20-%20Executive%20Summary%20-%20Spanish.pdf>> Consultado: 25 febrero 2007.
- [22] SENASICA [online] Ensayos de productos genéticamente modificados autorizados en México de 1988 al 11 de octubre de 2005 <http://web2.senasica.sagarpa.gob.mx/xportal/inocd/trser/Doc2060/ensayos_OGM_1988_2005.pdf>. Consultado: 9 abril 07.
- [23] Kok E., Kuiper H. (10 octubre 2003). Comparative safety assessment for biotech crops. *Trends in Biotechnology*. Vol. 21 (10) 439-444.
- [24] Rodríguez A. (2001) Cuando el hombre quiere ser Dios. *Rompan filas. Familia. Escuela. Sociedad*. [online] Vol. 12 Art. #60. <<http://www.unam.mx/rompan/60/rf60art3.html>>. ISSN 0188-8320. Consultado: 19 febrero 2007
- [25] González G. (25 enero 2007) Los maíces transgénicos en México *Revista Opción* [online] <<http://www.revistaopcion.com.mx/web/2007/01/25/los-maices-transgenicos-en-mexico/>> Consultado: 19 febrero 2007
- [26] Kenneth J. Impactos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en la producción de cultivos básicos en México (1994-2003) *Revista futuros* . [online]. No. 10, Año 2005, Vol. 3. <http://www.revistafuturos.info/futuros_10/tlc_mex_3.htm> Consultado: 19 marzo 2007
- [27] NORMA Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos fitosanitarios para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética. [online] <http://senasicaw.senasica.sagarpa.gob.mx/portal/html/senasica_principal/normalizacion/normas_sanidad_vegetal/NOM-056-FITO-1995.pdf>
- [28] COFEPRIS [online] <<http://www.cofepris.gob.mx/pyp/biotec/OMG.pdf>> Consultado : 15 de marzo de 2007
- [29] Agro-Bio [online] Legislación: Protocolo de Cartagena (2005) <http://www.agrobio.org/legislacion_1_detalle.php?sec_id=0&id=1>. Consultado: 1 abril 2007.
- [30] Decreto Promulgatorio del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado en Montreal, el veintinueve de enero de dos mil. [online]
- [31] CONABIO. Proyecto de bioseguridad GEF – CIBIOGEM (02 diciembre 2005) [en línea]. México, D.F.: GEF – CIBIOGEM / CONABIO <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/proy_bio.html> Consultado: 28 febrero 2007



- [32] Agro-Bio [online] Legislación: Marco normativo en México (2005) <http://www.agrobio.org/legislacion_4_detalle.php?sec_id=0&id=1> Consultado: 1 abril 2007.
- [33] SENASICA [online] Regulación de organismos genéticamente modificados. México, D.F. 2004. <<http://web2.senasica.sagarpa.gob.mx/xportal/inocd/trser/Doc403/>> Consultado: 5 abril 2007
- [34] CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [online] ¿Qué es la CIBIOGEM? (Diciembre 2006) <<http://www.cibiogem.gob.mx/>>. Consultado 28 febrero 2007
- [35] CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [online] ¿Qué es la CIBIOGEM?- ¿Qué actividades desempeñan? (Diciembre 2006) <<http://www.cibiogem.gob.mx/>>. Consultado 28 febrero 2007
- [36] CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados [online] Normatividad (Diciembre 2006) <<http://www.cibiogem.gob.mx/>>. Consultado 28 febrero 2007
- [37] Ibarra S., México: Normatividad relacionada con bioseguridad y organismos genéticamente modificados. [online] Council For Biotechnology Information (2000-2007). <<http://whybiotech.com/mexico.asp?id=2706>>. Consultado: 20 marzo 2007
- [38] Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM. Información Jurídica: Legislación Federal. Ley General de Salud [online] <<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/162/default.htm?s=>>> Consultado: 20 febrero 2007
- [39] Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM. Información Jurídica: Legislación Federal. Ley General de Salud [online] <<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/162/338.htm?s=>>> Consultado: 20 febrero 2007
- [40] Instituto de Investigaciones Jurídicas UNAM. Información Jurídica: Legislación Federal. Ley General de Salud [online] <<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/162/339.htm?s=>>> Consultado: 20 febrero 2007
- [41] Ley de Bioseguridad de organismos genéticamente modificados (18 marzo 2005) [online] <<http://www.ciiemad.ipn.mx/opinion/pdf/leydebioseguridad.pdf>> Consultado: 25 febrero 2007.
- [42] Remund K, Dixon D, Wright D, Holden L. (2001) Statistical considerations in seed purity testing for transgenic traits. Seed Science Research. Vol. 11 pp 101-119.
- [43] ISTA Online [online] <<http://www.seedtest.org/en/content---1--1011.html>> Consultado: 27 de abril de 2007
- [44] AOSA Association of Official Seed Analysts, Inc. [online] <<http://www.aosaseed.com>> Consultado: 27 de abril de 2007
- [45] Biotechnology & GMO. European Commission: Joint Research Centre. GMO Methods Database [online] <<http://biotech.jrc.it/home/ict/methodsdatabase.htm>> Consultado: 27 abril de 2007
- [46] ISTA Online. Analytical Methods [online] <<http://www.seedtest.org/en/content---1--1197.html>> Consultado: 27 abril 2007
- [47] ISTA Online. Statistical Tools for Seed Testing [online] <<http://www.seedtest.org/en/content---1--1143.html>> Consultado: 27 abril 2007

