

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**BIOSEGURIDAD EN EL CAMPO AGRÍCOLA MEXICANO. ANÁLISIS DE
ESTUDIOS DE CASO**

PRESENTA:

M.I. ANGÉLICA ROBAYO AVENDAÑO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

ASESORES:

DRA. LETICIA YÁÑEZ ESTRADA

DR. CRISTÓBAL ALDAMA AGUILERA

SEPTIEMBRE, 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA
PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
BIOSEGURIDAD EN EL CAMPO AGRÍCOLA MEXICANO. ANÁLISIS DE
ESTUDIOS DE CASO

PRESENTA:

M.I. ANGÉLICA ROBAYO AVENDAÑO

COMITÉ TUTELAR:

DIRECTORA: DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

ASESORA: DRA. LETICIA YÁÑEZ ESTRADA

ASESOR: DR. CRISTOBAL ALDAMA AGUILERA

SINODALES:

PRESIDENTE: DRA. MARÍA GUADALUPE GALINDO MENDOZA

SECRETARIA: DRA. LETICIA YÁÑEZ ESTRADA

VOCAL: DR. CRISTOBAL ALDAMA AGUILERA

VOCAL: DR. JOSÉ ARTURO DE NOVA VÁZQUEZ

VOCAL: DR. PABLO DELGADO SÁNCHEZ

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

**Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria
(LanGIF)**

CON FINANCIAMIENTO DE:

A TRAVÉS DEL PROYECTO DENOMINADO:

AGRADEZCO A CONACYT EL OTORGAMIENTO DE LA BECA-TESIS

Becario No. 259154

**EL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO A TRAVÉS
DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

*A Dios por regalarme salud y fortaleza durante
todo este proceso...*

*A mis padres: Mami Rosita gracias por tu amor, apoyo incondicional
por enseñarme que no hay nada imposible e impulsarme a
alcanzar mis sueños, Papi fan gracias por tu compañía
espiritual, por enseñarme a valorar cada momento y a
luchar por mis sueños....lo hicimos!*

*Dorian, gracias por ser mi apoyo, mi
cómplice y consejero en todo este proceso
y por enseñarme que la distancia no es
nada cuando amas tanto!*

*Tia Ta, Iovis, Tio mar, no hay mejores compañeros y
amigos de vida que ustedes... Palomix y Samy
gracias por esos abrazos y sonrisas que
hacen que mi mundo sea mejor!...*

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca para realizar estudios de Doctorado.

A la Dra. Guadalupe Galindo por su valiosa orientación y aportes en la dirección de mi tesis.

A la Dra. Leticia Yáñez y al Dr. Cristóbal Aldama, por su apoyo y asesoría durante el desarrollo de mi proyecto.

A los Doctores Arturo de Nova y Pablo Delgado por sus valiosas aportaciones para complementar mi estudio.

Al Dr. Luciano Castro Espinoza, por su apoyo durante las visitas a campo en las regiones Sonora y Sinaloa.

Al Dr. Paul Chavarriaga y su equipo de trabajo de la plataforma de transformación por compartirme su tiempo y conocimientos durante el desarrollo de mi estancia de investigación en el Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT en Colombia.

A la Dra. Perla Niño y el Dr. Sergio Zarazúa por su valioso apoyo en el proceso de validación del cuestionario tipo Likert.

A los Doctores Efraín Gaytán y Dario Gaytán por su incondicional apoyo durante todo el proceso de desarrollo del cuestionario tipo Likert.

A L.G. Enrique Ibarra, D. Marcos Casiano, L.G. Jesús Ramos y L.G. Guillermo Rodríguez por su apoyo y asesoría en el desarrollo de mapas.

Al Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria por permitirme usar sus instalaciones durante el desarrollo de mi tesis.

A los Académicos, Administrativos y Estudiantes de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por el apoyo que me brindaron durante la aplicación del cuestionario de percepción tipo Likert.

A los docentes del Posgrado en Ciencias Ambientales por el conocimiento adquirido en sus clases y al personal administrativo de agenda ambiental particularmente a Laura, Farah, Lorena y Maricela por su disposición y colaboración en el desarrollo de trámites.

A los técnicos, productores, representantes del sistema producto algodón y compañías por compartirme su tiempo y disposición

A mis amigos que se convirtieron en mi familia en México... Marthica, Marianilla, Pau, Mayte, Dorita, Zuki, tocapita Ángeles Gil, Angelitos Zermeño, Lina, Pris, Dul, Any, Gloria, Adri, Andreita, Abraham, Ricardo, Lalo, Marcos C, Efra, Javier Galicia, Dario, Miguel Ángel, JC, Luis Olvera, Ángel, Oscar, Edgar, Totoy, Joel gracias por su tantos días de risas, amistad, apoyo, consejos y por brindarme un abrazo cuando lo necesité!...

A México por darme tantos años de sonrisas, experiencias y aprendizaje... A Colombia por ser mi patria querida...

Contenido

Agradecimientos.....	5
Lista de Figuras	11
Lista de Tablas.....	13
Capítulo 1. Bioseguridad de OGM	14
1. Introducción.....	15
1.1. Bioseguridad	15
1.2. Organismos genéticamente modificados	15
1.2.1. Producción de organismos genéticamente modificados	15
1.2.2. Nuevas técnicas de cultivos en plantas	17
1.2.2.1 Plantas Cisgénicas e Intragénicas	17
1.2.3. Fabricantes de productos genéticamente modificados	18
1.2.3.1. MONSANTO	18
1.2.3.2. PIONEER HI-BRED.....	18
1.2.3.3. BASF	19
1.2.3.4. DOW AGROSCIENCES.....	19
1.2.3.5. SYNGENTA.....	19
1.2.3.6. BAYER CROPSCIENCE	19
1.2.4. Situación actual del mercado de organismos genéticamente modificados	19
1.2.5. Evolución de los organismos genéticamente modificados.....	20
1.2.5.1. Contexto histórico en el campo agrícola	22
1.2.6. Regulaciones internacionales relacionadas con los organismos genéticamente modificados	31
1.2.7. Aplicaciones de los organismos genéticamente modificados	33
1.2.8. Beneficios y riesgos potenciales de los organismos genéticamente modificados	35
1.2.9. Perspectivas de los Organismos Genéticamente Modificados.....	38
Capítulo 2. Objetivos	39
2.1. Objetivo General.....	40
2.2. Objetivos Específicos	40
2.3. Hipótesis	40
2.4. Alcances y Limitaciones	40
Capítulo 3. Metodología	43
3.1. Zonas de estudio.....	44
3.1.1. Sinaloa.....	45

3.1.2. Sonora	46
3.2. Selección de criterios, aplicación y análisis de impactos.....	48
3.2.1. Impacto en la seguridad alimentaria	48
3.2.2. Impacto al ambiente de maíz GM	50
3.2.3. Impacto económico algodón GM	52
3.4. Análisis y matriz FODA	53
Capítulo 4. Los Organismos Genéticamente Modificados: Situación en México	54
4.1. Situación OGM en México	55
4.1.1. Etapas de Liberación de OGM: Experimental, Piloto y Comercial	57
4.1.2. Maíz y Algodón GM	58
4.1.2.1. Maíz GM.....	58
4.1.2.2. Algodón genéticamente modificado	60
4.1.3. Marco Regulatorio OGM.....	63
4.1.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995.....	64
4.1.3.2. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y su reglamento	65
4.1.3.3. NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013	65
4.1.3.4. PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014.....	66
4.1.3.5. Procedimiento de evaluación de inocuidad de OGM destinados al uso o consumo humano, procesamiento de alimentos, biorremediación y salud pública.....	66
4.1.3.6. ACUERDOS	66
4.1.4. Entidades en materia de bioseguridad de OGM en México.....	67
4.1.4.1. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM).....	67
4.1.4.2. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) 67	
4.1.4.3. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	68
4.1.4.4. Secretaria de Salud	68
4.1.4.5. Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP).....	68
4.2. CONCLUSIONES CAPITULO 4.....	69
Capítulo 5. Evaluación del riesgo en Organismos Genéticamente Modificados (OGM)	70
5.1. Evaluación del riesgo en alimentos provenientes de OGM.....	72
5.1.1. Métodos de evaluación del riesgo en alimentos GM	73
5.1.2. Seguridad Alimentaria	74
5.1.3. Equivalencia sustancial	75
5.1.4. Principio Precautorio	76

5.1.5. Evaluación caso por caso y paso a paso	76
5.1.6. Percepción Pública: estudio de caso	77
5.1.6.1. INTRODUCCIÓN	77
5.1.6.2. MATERIALES Y MÉTODOS	77
5.1.6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
5.2. Medio Ambiente	88
5.2.1. Estudio de caso: Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT.....	89
5.2.1.1. MATERIALES Y MÉTODOS	92
5.2.1.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	94
5.3. Estudio económico: Análisis cultivo de Algodón convencional vs GM.....	100
5.3.1. Panorama Nacional.....	100
5.3.1.1. Producción Estatal de Algodón.....	102
5.3.1.1.1. Producción de Algodón - Sonora	103
5.3.2. Tipología de Productores.....	103
5.3.2.1. Productores de Subsistencia.....	105
5.3.2.2. Productores pequeños de algodón en Sonora	106
5.3.2.3. Productores medianos y grandes de algodón en Sonora.....	106
5.3.3. Producción Agrícola Algodón GM.....	108
5.3.3.1. Superficie real sembrada	108
5.3.3.2. Rendimientos.....	109
5.3.4. Situación económica y de bioseguridad en Sonora y Sinaloa: entrevistas semiestructuradas y trabajo de campo.....	112
5.3.4.2 .MATERIALES Y MÉTODOS	113
5.3.4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	116
5.4. CONCLUSIONES CAPITULO 5.....	119
Capítulo 6. Análisis Final y Matriz FODA.....	121
6.1. Análisis final: variables adicionales.....	122
6.1.1. Variables climáticas	125
6.1.1.1. Algodón.....	125
6.1.1.2. Maíz	126
6.1.2. Control de Plagas	128
6.1.2.1. Gusano Rosado (<i>Pectinophora gossypiola</i>) y Picudo del Algodonero (<i>Anthonomus grandis</i>).....	128
6.1.2.2. Gusano de la mazorca (<i>Helicoverpa Armigera</i>)	130
6.1.2.3. Gusano elotero (<i>Helicoverpa Zea</i>)	132

6.2. Matriz FODA (SWOT)	133
6.2.1. INTRODUCCIÓN	133
6.2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	134
6.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	134
6.2.3.1. Fortalezas.....	135
6.2.3.2. Oportunidades.....	135
6.2.3.3. Debilidades	136
6.2.3.4. Amenazas.....	137
6.2.3.5. Estrategias FO	137
6.2.3.6. Estrategias DO.....	138
6.2.3.7. Estrategias FA	138
6.2.3.8. Estrategias DA.....	139
6.2.4. CONCLUSIONES CAPÍTULO 6.....	142
CONCLUSIONES GENERALES.....	143
REFERENCIAS	145
Anexos	161
Anexo 1. Estancia de Investigación Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT y Marco Normativo Colombia	161
Anexo 2. Formato Plantilla Revisión por Jueces – Cuestionario tipo Likert	169
Anexo 3. Cuestionario tipo Likert	170
Productividad Académica del proyecto de Investigación.....	171

Lista de Figuras

<i>Figura 1.1 Proceso de transformación de Arroz GM en laboratorio y crecimiento en invernadero.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 1.2 Línea de tiempo y marco histórico de los OGM.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.1 Diagrama metodología de impactos en OGM</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.2 Distribución de municipios del estado de Sinaloa</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.3 Producción y Valor de la Producción Agrícola ciclos OI y PV, Sinaloa 2014..</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.4 Distribución municipal del estado de Sonora</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.5 Sonora en la producción Nacional de Algodón, 2014</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.6 Producción de Algodón en el estado de Sonora, 2014</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.1 Superficies de OGM sembradas en México, 2008-2013.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.2 Maíz convencional en grano (SIAP, 2013)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.3 Solicitudes y permisos de maíz GM en México, 2009-2014</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.4 Superficies de maíz GM (ha) en Sinaloa, 2009-2012,.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.5 Algodón hueso convencional (SIAP, 2013)</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4.6 Solicitudes y permisos de algodón GM en México, 2008-2014.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4.7 Superficies (ha) de algodón en Sonora, 2008-2014.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5.1 Actitud información relacionada con OGM y su porcentaje por áreas</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5.2 Actitud aplicación de OGM en la agricultura y su porcentaje por áreas</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5.3 Actitud impacto de OGM en el medio ambiente y su porcentaje por áreas .</i>	<i>86</i>
<i>Figura 5.4 Actitud uso de etiqueta y su porcentaje por áreas.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 5.5 Actitud consumo de productos con contenido GM y su porcentaje por áreas.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 5.6 Localización Maíz Genéticamente Modificado, Áreas Protegidas y condiciones de los vientos.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 5.7 Dispersiones probables de maíz genéticamente modificado para el 27 de Febrero de 2010 y su probabilidad de riesgo.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 5.8 Dispersiones probables de maíz genéticamente modificado para el 6 de Marzo de 2010 y su probabilidad de riesgo.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 2.9 Siembras de algodón 1990-2013 con base en información de SIAP, 2015 .</i>	<i>101</i>
<i>Figura 5.10 Rendimientos algodón 1990-2013 con base en información del SIAP</i>	<i>101</i>
<i>Figura 5.11 Producción de algodón por estados 2010- 2013, con base en cifras del SIAP.....</i>	<i>10</i>
<i>2</i>	
<i>Figura 5.12 Porcentaje de producción de Algodón por municipios para el estado de Sonora.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 5.13 Nivel de marginación tipo de productor de algodón en México</i>	<i>104</i>
<i>Figura 5.14 Productores de algodón de subsistencia en Sonora</i>	<i>105</i>
<i>Figura 5.15 Productores de algodón de Pequeños Sonora.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 5.16 Productores de algodón medianos en Sinaloa</i>	<i>107</i>
<i>Figura 5.17 Productores de algodón grandes en Sonora</i>	<i>108</i>
<i>Figura 5.18 Superficie real sembrada algodón GM.....</i>	<i>109</i>

<i>Figura 5.19 Costos versus rendimiento Algodón</i>	110
<i>Figura 5.20 Superficie de siembra autorizada Algodón GM Sonora</i>	111
<i>Figura 6.1 Mapa de localización Ranking Nacional de Ciencia y Tecnología y Centros de Investigación en actividades con OGM</i>	123
<i>Figura 6.2 Corredores Biológicos y Zonas Protegidas</i>	124
.....	125
<i>Figura 6.3 Heladas 2011-2014</i>	125
<i>Continuación Figura 6.3 Heladas 2011-2014</i>	126
<i>Figura 6.4 Área (%) afectada por condiciones de sequía en México</i>	127
<i>Figura 6.5 Situación Fitosanitaria del Picudo del Algodonero (Anthonomus grandis Boheman) 2011-2014</i>	129
<i>Figura 6.6 Situación Fitosanitaria del Gusano Rosado (Pectinophora gossypiella) 2011-2014</i>	130
<i>Figura 6.7 Situación Fitosanitaria del Gusano de la mazorca (helicoverpa armígera) durante 2014-2015</i>	131
<i>Figura 6.8 Área potencial en riesgo por hospedantes de Helicoverpa Armigera</i>	132
<i>Figura 6.9 Situación Fitosanitaria del Gusano elotero (Helicoverpa Zea) 2007-2008</i> ..	133

Lista de Tablas

<i>Tabla 1.1 Superficie sembrada por OGM durante 2013 y 2014.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4.1 Adopción de cultivos GM en el sector agrícola mexicano para el año 2014 ..</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5.1 Áreas y carreras utilizadas como muestra de estudio</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5.2. Dimensiones y estructuración de variables</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 5.3 Puntuación por reactivo según estructura positiva (+) o negativa (-).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5.4 Puntuaciones por dimensión para medir actitud</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5.5 Viabilidad probable en relación a condiciones óptimas de Temperatura y HR.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 5.6 Distribución de categorías y subcategorías según temática</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 6.1A. MATRIZ FODA: Estrategias FO y DO</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 6.1B. MATRIZ FODA: Estrategias FA y DA.....</i>	<i>141</i>

Capítulo 1. Bioseguridad de OGM

1. Introducción

1.1. Bioseguridad

La bioseguridad hace referencia a todas aquellas acciones y medidas de evaluación, monitoreo y prevención que, se llevan a cabo cuando se realizan actividades con organismos genéticamente modificados (OGM). Dichas acciones se desarrollan para prevenir, evitar o reducir posibles riesgos a la salud humana, al medio ambiente y a la diversidad biológica (DOF, 2005).

1.2. Organismos genéticamente modificados

Un OGM es un organismo vivo con una combinación genética novedosa, otorgada a través del uso de técnicas de la biotecnología moderna. Dichas técnicas permiten modificar el ADN mediante la inyección directa de material genético a la célula y/o orgánulos para lograr una fusión celular más allá de una familia taxonómica. Lo anterior permite superar las barreras fisiológicas naturales sin el uso de la reproducción y selección tradicional (Protocolo de Cartagena, 2000; DOF, 2005).

1.2.1. Producción de organismos genéticamente modificados

Para el desarrollo de OGM en primer lugar se aísla el gen que se va a usar para su construcción, el cual pasa a denominarse transgén. Una vez se obtiene el transgén, este se introduce a la célula receptora atravesando su membrana nuclear, en donde será reconocido por la maquinaria celular para ser incorporado como parte de su material genético (Figura 1.1). A este proceso se le conoce como recombinación genética entre el transgén y el ADN de un cromosoma de la célula receptora. Las técnicas más usadas en la incorporación del transgén son la transformación mediada por *Agrobacterium*

tumefaciens (*A. tumefaciens*), la balística y la electroporación (Zaid *et al.*, 2004; Valderrama- Fonseca *et al.*, 2005; Renneberg, 2008).

Agrobacterium tumefaciens tiene la característica de ser patógena para algunas especies de plantas, transfiriendo parte de su material genético a la planta hospedante, mediante la inducción de tumores. Considerando el potencial de transferencia de dicha bacteria, diversos grupos de investigación modificaron los plásmidos Ti (inductores de tumores) y Ri (inductores de raíces) conservando las secuencias necesarias para la transmisión de DNA y removieron los genes bacterianos causantes de la formación de tumores (Bolívar Zapata, 2007). De tal forma que *Agrobacterium* se usa como portadora de genes de interés, facilitando la inserción de estos a la célula vegetal a infectar que puede ser hoja, tallo o cotiledón, donde se integrará a su material genético (Valderrama- Fonseca *et al.*, 2005; Bolívar Zapata, 2007). Posteriormente, el tejido vegetal se cultiva in vitro en un medio con un agente de selección (antibiótico o herbicida), en el que únicamente sobreviven aquellas células que recibieron el gen de interés (ARGENBIO, 2015). Las células seleccionadas crecen en un medio de cultivo con condiciones adecuadas (nutrientes y hormonas vegetales) para la formación de la planta (ARGENBIO, 2015).

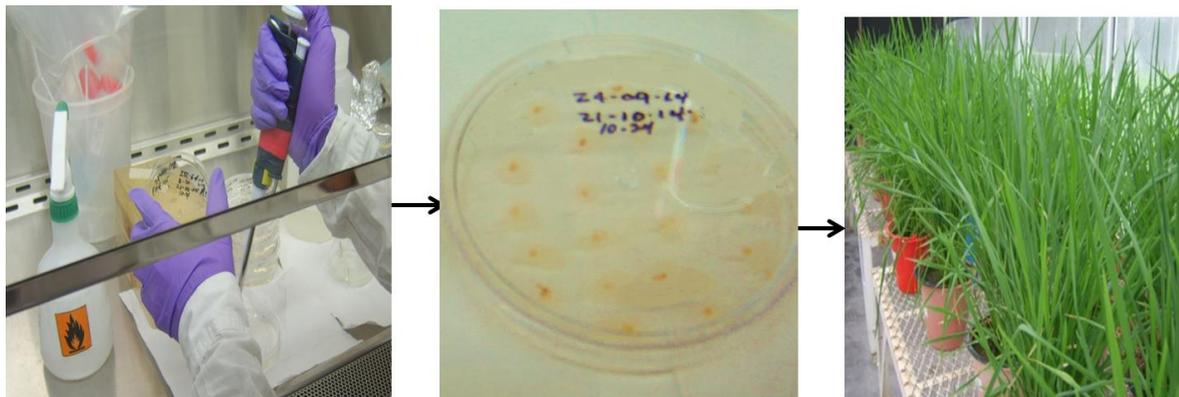


Figura 1.1 Proceso de transformación de Arroz GM en laboratorio y crecimiento en invernadero

Fuente: Fotos archivo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2014, derechos reservados

La técnica balística involucra el bombardeo de ADN recubierto con micropartículas (1-2 μm) de oro o tungsteno a células vivas. Esta técnica resulta confiable para la transformación de cloroplastos a la vez que posibilita la obtención de plantas fértiles a partir de una gran variedad de tejidos. Su mayor desventaja está asociada con la entrega eficiente de la mayor cantidad de material genético sin causar daño excesivo a las células (Peña, 2005; Renneberg, 2008; Rivera *et al.*, 2012).

En la electroporación, la exposición de la célula a diferencias de potencial elevadas (se considera un nivel óptimo de 500 a 800 V/cm) conduce a la formación de poros en la membrana plasmática haciéndola permeable a moléculas grandes como el ADN (Peña, 2005). La membrana permeabilizada por el pulso eléctrico, permite la incorporación del ADN de interés a la célula y posteriormente a su núcleo, realizando el proceso de transformación genética (Bolívar-Zapata, 2011). Se debe señalar que el mecanismo por el cual el ADN alcanza el núcleo de la célula es poco conocido, sin embargo se cree que podría involucrar la captura vesicular (Peña, 2005; Renneberg, 2008; Rivera *et al.*, 2012).

1.2.2. Nuevas técnicas de cultivos en plantas

Adicional al desarrollo de OGM comúnmente llamados transgénicos, se han aplicado nuevas técnicas de cultivos como son el desarrollo de plantas cisgénicas e intragénicas. En estas, las modificaciones genéticas se realizan a partir de genes de interés de la misma especie, a diferencia de las plantas transgénicas en donde la introducción puede provenir de cualquier organismo como hongos, plantas, bacterias y virus.

1.2.2.1 Plantas Cisgénicas e Intragénicas

La cisgenesis se refiere a la modificación genética de plantas con cisgenes. Se denomina cisgén al gen de una especie sexualmente compatible que puede ser de la misma especie o una relativamente cercana cuyo fin es codificar un determinado rasgo (Jacobsen y van der Vossen, 2009; ACSA, 2012). Este tipo de plantas pueden contener uno o más cisgenes

y para su modificación se usan técnicas como las utilizadas en el desarrollo de organismos genéticamente modificados, sobresaliendo la técnica de transformación mediada por *Agrobacterium*, cuyo proceso incluye el aislamiento de los genes de interés, sintetización y transferencia (EFSA, 2012).

Las plantas intragénicas difieren de las cisgénicas en la composición del constructo genético. Una planta intragénica se obtiene de la inserción de elementos genéticos aislados a partir de dos fuentes: una combinación de fragmentos de ADN de la misma especie o de una sexualmente compatible (ACSA, 2012; Molesini et al., 2012; Poltonieri y Reca, 2015). Al igual que en la cisgénesis generalmente, se usa la transformación mediada por *Agrobacterium* (Molesini et al., 2012; Poltonieri y Reca, 2015).

1.2.3. Fabricantes de productos genéticamente modificados

El mercado de las semillas genéticamente modificadas está dirigido por empresas multinacionales con la suficiente capacidad económica para cubrir los costos de desarrollo y comercialización de OGM. Las empresas que dirigen el mercado a nivel internacional son: Monsanto, Pioneer Hi-Bred (DuPont), BASF, Dow AgroSciences, Syngenta (Apel, 2010) y Bayer CropScience. Las siguientes descripciones se hacen con base en la información proporcionada en el sitio web de cada empresa:

1.2.3.1. MONSANTO: La empresa ofrece productos con características de tolerancia al herbicida Roundup®, aumento del potencial de rendimiento agrícola y tolerancia a sequía; además de reducir ácidos grasos trans en los alimentos y ofrecer productos con mayor contenido de azúcar. En México se comercializan semillas de algodón y soya GM resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas (Monsanto, s.f)

1.2.3.2. PIONEER HI-BRED: Sus productos en México, se enfocan hacia el control de insectos, resistencia a enfermedades y tolerancia a herbicidas en cultivos de maíz, soya y arroz (Agrobio-México, 2012).

1.2.3.3. BASF: Los productos agrícolas de BASF en los cultivos agrícolas brindan mejoras en su rendimiento por hectárea (ha) y proporcionan resistencia de estos a enfermedades y condiciones de sequía. En los alimentos mejoran el contenido de Omega-3 ácidos grasos (Agrobio-México, 2012).

1.2.3.4. DOW AGROSCIENCES: Las características de sus productos se enfocan en el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) para el control de insectos, tolerancia a herbicidas e incremento en los rendimientos de los cultivos.

1.2.3.5. SYNGENTA: Esta compañía en México, participa en el mercado de productos genéticamente modificados con características como: tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, uso eficiente de nitrógeno (N) y tolerancia a estrés hídrico (Agrobio-México, 2012).

1.2.3.6. BAYER CROPSCIENCE: En México, la empresa se enfoca al desarrollo de productos genéticamente modificados con características tolerantes a herbicidas, control de insectos y aumento en el rendimiento en los cultivos agrícolas (Agrobio-México, 2012).

1.2.4. Situación actual del mercado de organismos genéticamente modificados

Durante el año 2014 se sembraron 181.5 millones de hectárea de cultivos con OGM en el mundo, 3.5% más que el año anterior. El valor del mercado de semillas genéticamente modificadas para el 2014 fue de 15.700 millones de dólares anuales y se estima un beneficio a nivel mundial de cosecha comercializada superior a 10 veces el valor de esta semilla (James, 2014). Las variedades adoptadas tenían como principales características la resistencia a insectos, la tolerancia a herbicidas, los eventos apilados y la tolerancia a sequía en cultivos de maíz. Para la siembra se contó con la participación de 18 millones de agricultores (James, 2014).

Los cultivos biotecnológicos dominantes para el año 2014 fueron en primer lugar la soya con 90.7 millones de ha equivalente al 50.4% de la superficie global, seguido por el maíz Bt con 55.2 millones de ha. En tercer lugar, el algodón con 25 millones de ha y posteriormente, la canola ocupando un 5% de la producción total con un superficie de siembra de 9 millones de ha (James, 2014) (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Superficie sembrada por OGM durante 2013 y 2014.

Cultivo	Superficie sembrada en millones de hectárea en 2013	Superficie sembrada en millones de hectárea en 2014
Soya	84.5	90.7
Maíz	57.4	55.2
Algodón	23.9	25.1
Canola	8.2	9

Fuente: Elaboración propia con datos de James (2013 y 2014).

1.2.5. Evolución de los organismos genéticamente modificados

El desarrollo de los organismos genéticamente modificados se origina desde un marco histórico, dando importancia al rendimiento de cultivos en el campo agrícola, a través de la adopción de herramientas tecnológicas: métodos de control de riego y uso de agroquímicos. Para entender mejor el momento histórico en el que se desarrolla la alternativa de los OGM, en la Figura 1.2 se esquematizan los acontecimientos más sobresalientes y posteriormente, se da una explicación detallada de los sucesos históricos, establecidos en el numeral 1.2.4.1 y su contenido.

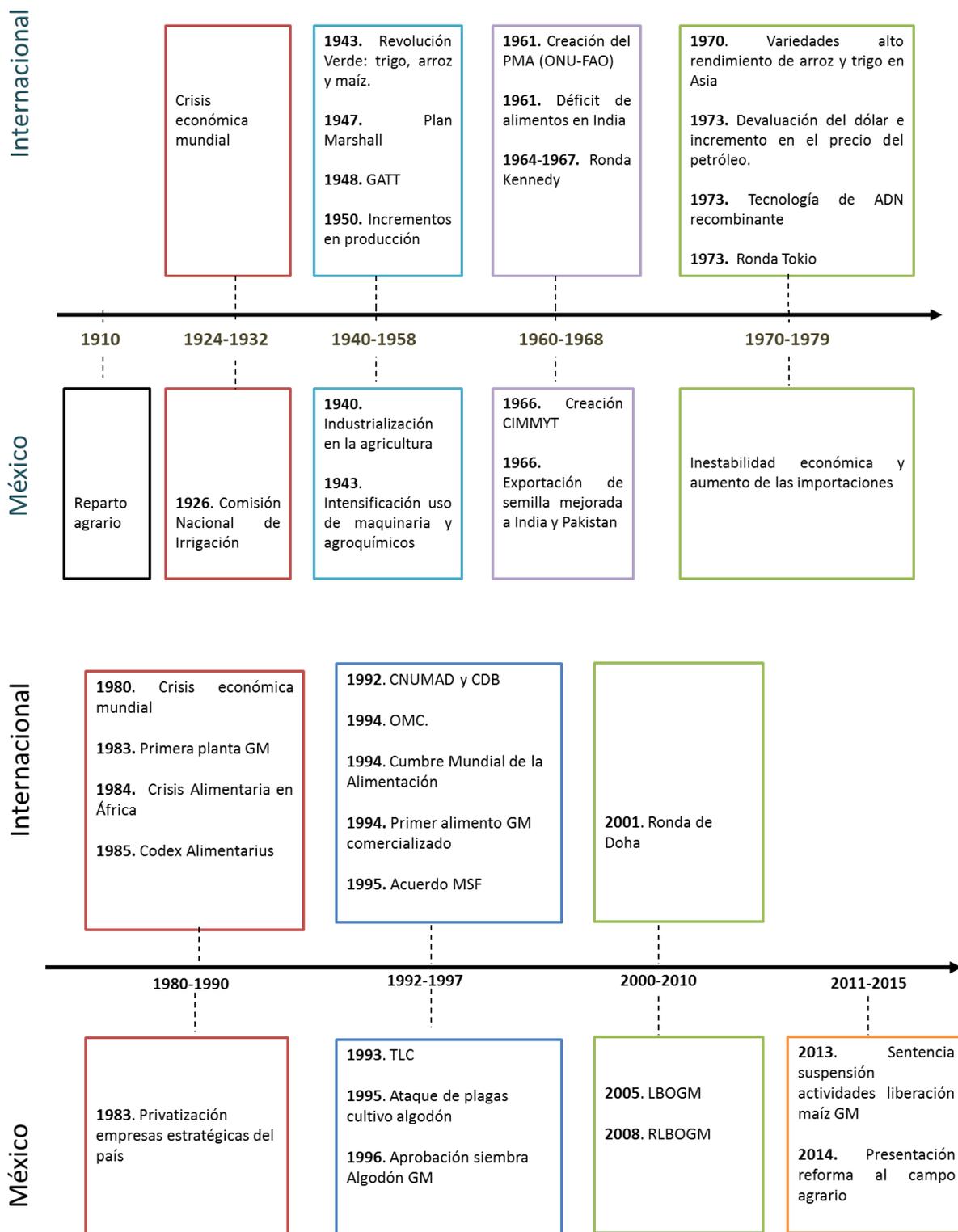


Figura 1.2 Línea de tiempo y marco histórico de los OGM

1.2.5.1. Contexto histórico en el campo agrícola

a) Sucesos en México 1910-1958

Hacia 1910, durante la Revolución Mexicana se realizó el reparto agrario a los campesinos que habían sido despojados años anteriores a la Colonización y el Porfirismo. A partir de esta época, se realizaron reformas políticas, dando entrada a México a la industrialización, así como a la extensión de la ganadería y desarrollo de monocultivos para el incremento en el rendimiento de cultivos agrícolas. A partir de la Constitución de 1917, se definieron dos sectores agrarios: privado y campesino. En el primer sector, se impulsaron las propiedades privadas en las que se otorgaba mayor superficie de tierra y de mejor calidad, mientras que en el sector campesino, se les restringió el acceso a uso de suelo para el desarrollo de actividades agrícolas (Pichardo, 2006).

Durante el gobierno de Plutarco Elías Calles (1924 - 1928), se promovió la industria agrícola, dando impulso al desarrollo de actividades de irrigación y al establecimiento de créditos. En 1926, se creó la Comisión Nacional de Irrigación, con el fin de hacer un eficaz aprovechamiento agrícola de la extensión territorial, mediante la construcción de obras de irrigación en terrenos con actividad agrícola. Durante este gobierno, se creó la Ley de Colonización, como aspecto fundamental en el desarrollo agrícola, impulsando a aquellos agricultores con capacidad económica suficiente e infraestructura propia (ITAM, 1995; Leon de Palacios, 1975).

Durante 1940 se promovió la industrialización en la agricultura y los apoyos económicos se dirigieron a agricultores con capacidad empresarial en el país (Pichardo, 2006). En 1943, se creó la Oficina de Estudios Especiales (OEE) que promovía la investigación sobre cultivos básicos para alimentación, a través del desarrollo de proyectos de cooperación bilateral México-Estados Unidos (COLPOS, 2015).

b) Sucesos en el mundo 1929- 1950

Durante los años 1929 a 1932 se presentó una crisis financiera mundial, la cual fue iniciada en Estados Unidos, que trajo como consecuencias una reducción en los mercados financieros y aumento en la tasa de desempleo, alterando economías en el mundo (Pichardo, 2006). Posterior a la segunda guerra mundial (1939-1945), los países involucrados en este acontecimiento requerían abastecer sus mercados. Por lo que, los países en vías de desarrollo económico, tuvieron que enfocarse en la agroindustria e incrementar su productividad (Galindo-Mendoza, 2003). Como medida de recuperación, en 1947 se estableció el “Plan Marshall” con el fin de dirigir apoyos provenientes de países de Europa hacia la recuperación económica de países de Europa Occidental, afectados por la guerra (UNICAN, 2015).

Durante la década de los años 50, se promovió que aquellos países que tuvieran disponibilidad de recursos, incrementaran su producción agrícola. Esto obligó a que algunos países como China incentivaran la industrialización de sus productos. Sin embargo, conseguir niveles elevados de producción para suplir la demanda, redujo en las comunidades rurales la producción para consumo propio. Esto aunado a la escasez de mano de obra y bajo suministro de maquinaria, herramientas y agroquímicos, ocasionaron situaciones de escasez de alimentos. Como parte de las medidas de solución para mejorar el suministro rural de alimentos, hacia 1959 se regresaron parcelas de tierra a pequeñas familias, para su cultivo de subsistencia, particularmente de hortalizas y cría de aves (FAO, 2000).

1.2.5.1.1 Comercio, medio ambiente y seguridad alimentaria

A partir de 1948, el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT), fue la entidad encargada de regular el sistema de comercio mundial. El GATT se estableció como una organización de carácter provisional, a partir de la cual se llevaron a cabo una

serie de rondas de negociación dirigidas a reducir y consolidar aranceles aduaneros (OMC, 2015).

Los años 50 registraron incrementos en la producción de cereales a casi el triple y aunque hubo una caída en los precios de los productos agropecuarios, los precios de los alimentos se mantuvieron estables y solo hubo una variabilidad respecto a los productos manufacturados. Durante los años 60, Asia, América Latina y el Caribe incrementaron sus exportaciones agrícolas en 10%, mientras que en África Subsahariana las exportaciones se estancaron, atribuyendo problemas en la producción agrícola a causa de las variaciones climáticas (FAO, 2000).

En el año 1961, se estableció el Programa Mundial de Alimentos (PMA) de las Naciones Unidas y la FAO, con el fin de investigar métodos adecuados para utilizar el excedente de la producción de alimentos de países avanzados y contribuir al progreso económico de países menos desarrollados, enfocados en reducir el nivel de hambruna y la malnutrición (PMA, 2015; FAO, 2000). Hacia 1964, se estableció la Ronda Kennedy en la que se propuso una reducción en 35% a los aranceles a países industrializados y se estableció un acuerdo entre las partes para proporcionar ayuda alimentaria a países en desarrollo, por un total de 4.5 millones de toneladas de cereales al año (FAO, 2000). Durante es misma época, se creó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), con el objetivo de eliminar el hambre en países más pobres, al ampliar la capacidad de producción e incrementar las divisas producto de exportaciones (FAO, 2000).

En la época de los 70, se estableció la Ronda de Tokio (1973-1979) orientada hacia la reducción progresiva de los aranceles y de los derechos de aduana en mercados industriales en el mundo. Adicionalmente, dos acontecimientos sobresalieron en la situación comercial en el mundo: la devaluación del dólar y el incremento en el precio del petróleo. El primero fue ocasionado por la decisión de Estados Unidos de suspender la conversión fija con el oro, incurriendo en una devaluación del dólar en relación con otras

divisas internacionales. Este suceso produjo efectos negativos en los países en desarrollo, haciéndolos más vulnerables económicamente en relación a las fluctuaciones de precios a nivel internacional (FAO, 2000).

Como consecuencia de la devaluación del dólar, en 1973 la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) incrementó el precio del petróleo, ocasionando aumentos en los costos de agroquímicos, combustible y energía. Esta situación afectó particularmente la economía de los países en desarrollo, por lo que en 1974, las Naciones Unidas otorgaron un fondo de ayuda, con el fin de reducir esta dificultad económica en los países afectados (FAO, 2000).

Los primeros años de la década de los 80 se vieron afectados por una grave crisis de hambre en África. En 1984 las condiciones extremas de sequía afectaron a diversos países, particularmente a la región de Sahel y el este de África. Se considera que la situación de hambruna afectó al 20% de la población de Etiopía y causó la muerte de centenares de personas. En razón a esta situación, en 1985 la FAO adoptó el Pacto Mundial de Seguridad Alimentaria, solicitando apoyo a los países miembros para erradicar las causas del hambre. Durante ese mismo año, se creó el *Codex Alimentarius* con el fin de establecer un conjunto de normas en materia de inocuidad de alimentos y reducir la alteración del comercio internacional de productos alimenticios (FAO, 2000; OMC, 2015)

Más tarde, de 1986 a 1994, se desarrolló la Ronda Uruguay, en la que se estableció la creación de la Organización Mundial de Comercio (OMC) y acuerdos relacionados con la reducción de los derechos de importación en productos tropicales, políticas comerciales, propiedad intelectual, textiles y agricultura (OMC, 2015). La ronda de negociaciones más reciente fue la Ronda de Doha, celebrada en el año 2001, que estableció lograr una reforma del sistema de comercio y de normas comerciales en temas relacionados con agricultura, servicios y propiedad intelectual.

La década de los 90 fue un periodo de recuperación económica para los países en desarrollo, hubo mejoras en la seguridad alimentaria como consecuencia de reformas económicas dirigidas a establecer soluciones para el hambre y la malnutrición. Hacia 1992, se realizó la Conferencia Internacional sobre Nutrición, considerando que alrededor de 800 millones de personas estaban desnutridas, se buscaba establecer causas, naturaleza del problema y soluciones. Este fue el punto de partida para la realización de la Cumbre Mundial de Alimentación celebrada en 1996. En ella se estableció el compromiso mundial por erradicar el hambre y la malnutrición (FAO, 2000).

Adicionalmente, durante los años 90 se realizaron diversas reuniones de importancia como fueron: la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), denominada también Cumbre de la Tierra, en la que se trataron temas relacionados con la reducción de emisiones de dióxido de carbono, el uso sostenible y equitativo de la biodiversidad y un plan de acción para el siglo XXI denominado Programa 21 (FAO, 2000).

Entre 1992 y 1993 se firmó y entró en vigor el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) enfocado en la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de la misma y el reparto justo y equitativo de los beneficios obtenidos en el uso de recursos genéticos (UN, 2015). Adicionalmente, durante 1992 se celebró la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en el que el punto focal fue la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Esta Convención dio origen al Protocolo de Kyoto, en el que se estableció un compromiso por parte de los países industrializados para estabilizar sus emisiones de GEI. El protocolo tuvo un carácter vinculante hacia la reducción de emisiones por parte de 37 países industrializados y la Unión Europea (UN , 2015 a).

En 1995, se estableció el Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF), relacionado con reglamentación en términos de inocuidad de alimentos, control sanitario animal y preservación vegetal (OMC, 2015a).

1.2.5.1.2. Revolución Verde

La revolución verde inició en el año 1943, a partir de la búsqueda por identificar las causas a las que se atribuía la reducción en rendimientos en los cultivos agrícolas y baja disponibilidad de alimentos en Asia y América Latina. Como resultado, se identificaron problemas relacionados con la baja fertilidad de los suelos y el uso de medidas deficientes para el control de plagas en los cultivos (FAO, 2000; SAGARPA, 2010).

La revolución verde dio inicio al desarrollo de semillas mejoradas o variedades de alto rendimiento, en granos de cereal de trigo, arroz y maíz (Parayil, 2003). Hacia 1943, con apoyo de la Fundación Rockefeller, se creó la Oficina de Estudios Especiales (OEE) en México con el fin de desarrollar variedades resistentes a la roya del tallo en trigo, como principal plaga en ese momento (CIMMYT, 2014). La Fundación Rockefeller invitó a Norman Borlaug a formar parte del equipo como patólogo de maíz y frijol (SAGARPA, 2010). La experimentación con nuevas variedades en México, se intensificó con el uso de maquinaria, irrigación y utilización de agroquímicos (Parayil, 2003; Frankema, 2014).

Con la creación de Centros de Investigación y el incremento en la productividad agrícola, se esperaba que se redujera el nivel de pobreza rural y se mejorara la sostenibilidad económica y social. Al adoptar semillas mejoradas, se incrementaron los rendimientos de cultivos de cereales al doble. Además se promovió la investigación agrícola básica, a través de la adaptación de prácticas locales en países desarrollados con condiciones climáticas templadas (FAO, 2000).

En el año 1961 dejó de funcionar la OEE y se promovió el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en México. Posteriormente, en 1966 se realizaron

exportaciones a India y Pakistán de alrededor de 15 millones de toneladas de semilla mejorada en respuesta al déficit de alimentos que en ese entonces afectaba al mundo. Adicionalmente, se oficializó en México la creación del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con Norman Borlaug a cargo de la dirección del programa de Trigo (CIMMYT, 2014).

Para finales de los años 70, se aumentó en 70% la producción de alimentos en el mundo (Bazuin *et al.*, 2011). Además, se abasteció con alimentos a mil millones de personas en Asia, mediante el desarrollo de variedades de alto rendimiento de arroz y trigo (Adenle, 2011; Cassman y Grassini, 2013). Sin embargo, debido al constante uso de agroquímicos en este tipo de cultivos, se produjeron impactos en el suelo, en la calidad de los cuerpos de agua y en la producción agrícola, motivo por el que se adoptaron nuevas tecnologías (Adenle, 2011).

1.2.5.1.3. Post- Revolución Verde y desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados

Los años 70 representaron una época de inestabilidad económica para los países en desarrollo, atribuida a factores como el incremento en el precio del petróleo, la devaluación del dólar y la escasez en la producción de alimentos. En México, dicha inestabilidad ocasionó una baja productividad del campo agrícola y por lo tanto, un aumento en las importaciones para satisfacer la demanda nacional de alimentos (Galindo-Mendoza, 2003).

Durante 1972 y 1974 la producción mundial de alimentos, particularmente la de cereales, tuvo descensos de 41 y 30 millones de toneladas respectivamente, ocasionados por condiciones ambientales como sequía e inundaciones. Esta situación produjo un agotamiento de las existencias específicamente de trigo en los principales países exportadores y de arroz particularmente en Asia. En África, condiciones de sequía afectaron algunos países de Sahel, por lo que para 1973, se creó el Comité Permanente

Interestatal para la Lucha Contra la Sequía como una medida de auxilio a la situación de emergencia (FAO, 2000).

En 1973, Stanley Cohen y Hebert Boyer promovieron el desarrollo de la tecnología de ADN recombinante, mediante la manipulación de genes y su manejo “in vitro”. Así se dio el punto de partida a la Biotecnología Moderna y al desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados (INIA, 2006).

Durante los años 80 se presentó una recesión económica mundial caracterizada por las rigurosas políticas monetarias y fiscales, producto de la crisis del petróleo durante los años 70. Para el año 1982, México admitió que carecía de fondos para el pago de la deuda, lo que desencadenó una crisis financiera mundial, perjudicando particularmente a aquellos países de América Latina con mayor dependencia del comercio exterior (FAO, 2000). Adicionalmente, durante 1983 a 1988, se incentivó la industrialización, se privatizaron empresas del sector azucarero, pesquero, algodonero y tabaco y se redujo la participación del estado en la economía de México (Galindo-Mendoza, 2003).

Más tarde, a partir del año 1989 se modificó la sustitución de importaciones por una política de libre comercio, como causa de la crisis que dejó la deuda externa y los programas de ajuste del Fondo Monetario Internacional. Se considera que durante su presidencia, De la Madrid con sus políticas de apertura económica preparo el terreno para el ingreso del TLC a México (Galindo-Mendoza, 2003).

El Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC) entró en vigor en 1994 y tenía como fin eliminar barreras al comercio, aumentar las oportunidades de inversión y proteger los derechos de propiedad intelectual (Colombia, 2015).

1.2.5.1.4. Desarrollo de OGM

Durante la década de los 80 se realizaron los primeros ensayos de OGM y hacia 1986 se desarrolló la primera planta GM de tabaco, con un gen de resistencia al antibiótico Kanamicina (UNESCO, 2015). Desde 1990 se impulsaron cultivos con características de resistencia a insectos y virus, tolerancia a herbicidas y, se promovieron mejoras en la calidad nutricional y vida útil de los alimentos (Ahmad *et al.*, 2012). En 1994, se comercializó en Estados Unidos el primer producto genéticamente modificado (Tomate Savr Flavr) que tenía como principal característica la maduración retardada (UNESCO, 2015).

Las generaciones de OGM han incluido el desarrollo de cultivos resistentes a los herbicidas glifosato, glufosinato y oxinyl así como el uso de proteínas Cry del *Bacillus thuringiensis* (Bt) para proveer resistencia a grupos de insectos (Holst-Jensen, 2009). Dentro de los OGM se ha destacado el desarrollo de arroz enriquecido con vitamina A y el uso de semillas con composiciones variables de ácidos grasos (Holst-Jensen, 2009).

En México, la primera autorización de uso de OGM se dio en el año 1988 en el estado de Sinaloa. El permiso se otorgó para importar y sembrar tomate resistente a insectos. Posteriormente, durante el año 1995, la producción nacional de algodón en México se redujo considerablemente hasta casi desaparecer a causa del ataque de diferentes plagas, razón por la que a partir del año 1996, el gobierno aprobó la siembra de semillas genéticamente modificadas (Agrobio-México, 2015). Según información de Agrobio-México, a partir de la siembra con OGM los cultivos de algodón incrementaron su rendimiento promedio desde 3 ha para el año 1996 hasta 6 ha para el 2010.

México se rige bajo la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y su Reglamento (RLBOGM) (DOF, 2005; DOF, 2008). Dentro de los sucesos que han sobresalido en el país, cabe destacar el ocurrido en octubre del año 2013, en el que se

dictó una medida precautoria, ordenando a las Secretaria de Agricultura y de Medio Ambiente abstenerse de realizar actividades enfocadas en otorgar permisos de liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado (GM); así como suspender el otorgamiento de permisos de siembra en cualquier etapa de liberación, hasta no resolverse el juicio de acción colectiva (Artega, 2013).

Más tarde, en el año 2014, se presentó una propuesta de reforma al campo en México, justificada en que pese a que el país contaba con tierras fértiles para la siembra de cualquier producto, el agricultor no tenía suficientes oportunidades para mejorar la rentabilidad de sus cultivos. La propuesta estableció ocho ejes de trabajo, dentro de los que se mencionaba lo relacionado con: sanidad, inocuidad, biotecnología y semillas mejoradas, especificando que el estado abastecería de semilla mejorada, la participación del estado para la producción de semilla GM y el uso únicamente de semillas GM producidas por el país (CNN, 2015).

1.2.6. Regulaciones internacionales relacionadas con los organismos genéticamente modificados

Considerando la necesidad por defender y proteger el adecuado uso de la biodiversidad, el respeto por el uso del conocimiento, proteger el medio ambiente y garantizar la seguridad alimentaria, se desarrolló un marco regulatorio internacional. Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo realizada en Río de Janeiro en 1992, se dio inicio a la creación del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), alrededor de 150 países en el mundo se comprometieron a dar un uso responsable a la biodiversidad, así como otorgar una distribución equitativa y justa de los beneficios que resultarán sobre el uso de recursos biológicos y genéticos (Melgarejo *et al.*, 2002).

Posteriormente, en 1999 se reunieron las partes interesadas para establecer un Protocolo sobre Seguridad de la Biotecnología con el fin de propiciar el intercambio de información respecto al movimiento fronterizo de OGM y al manejo del riesgo de éstos

(Protocolo de Cartagena, 2000). El protocolo se ha aplicado para los productos que se encuentren en contacto con el medio ambiente como semillas, peces y productos agrícolas no transformados; pero ha excluido medicinas, vacunas y productos elaborados como salsas, galletas y alimentos que pudieran contener maíz o soya genéticamente modificados.

En lo que concierne a seguridad alimentaria, el *Codex Alimentarius* estableció un marco regulatorio en términos de prácticas alimentarias internacionales, inocuidad, calidad y equidad de comercio internacional de alimentos (FAO y OMS, 2006; Paoletti *et al.*, 2008). En dicho código se indica que en lugar de reconocer todos los posibles riesgos asociados a los alimentos, la evaluación de seguridad debería adoptar un enfoque comparativo e identificar los nuevos riesgos respecto al alimento o a la semilla convencional. Si son detectados nuevos riesgos u alteraciones de los mismos y/o problemas de seguridad alimentaria o nutricional, el código sugiere determinar su relevancia con respecto a la salud humana. De no ser detectados problemas relacionados con la seguridad alimentaria, el alimento modificado en cuestión puede ser considerado tan seguro como el convencional. Los factores más relevantes establecidos para la evaluación de la seguridad de alimentos derivados de organismos modificados se enlistan a continuación:

- a) Descripción de la planta modificada
- b) Descripción del hospedador del nuevo material genético y de su uso como alimento
- c) Descripción del donador del material genético
- d) Descripción de la modificación genética
- e) Caracterización de la modificación genética
- f) Consideraciones adicionales
- g) Evaluación de seguridad, que incluye:
 - Análisis de composición de los componentes importantes
 - Evaluación de metabolitos

- Procesamiento de los alimentos
- Modificaciones nutricionales

1.2.7. Aplicaciones de los organismos genéticamente modificados

El uso de herramientas biotecnológicas se ha convertido en una estrategia eficiente para el desarrollo de cultivos sostenibles desde el punto de vista técnico y económico. Dichas herramientas han permitido aumentar la productividad de los cultivos y mejorar el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y micronutrientes de los alimentos (Ahmad *et al.*, 2012). Asimismo, se ha puesto especial énfasis en el mejoramiento a la resistencia a herbicidas e insectos, virus, factores climáticos y en aplicaciones como la fitoremediación, mejoramiento de la calidad nutricional, aumento de la vida útil de los alimentos y en el desarrollo de cultivos mejorados para la producción de biocombustibles (Wang *et al.*, 2007; Abhilash *et al.*, 2009; Ashraf y Akram, 2009; Ahmad *et al.*, 2012).

En la actualidad, dos enfoques son empleados para el desarrollo de cultivos resistentes a herbicidas. En uno de ellos, se busca modificar la sensibilidad de la enzima objetivo, para reducir o inhibir la vulnerabilidad de la planta al herbicida (por ejemplo: glifosato). En la segunda alternativa, se dirige al diseño de una vía de descontaminación dentro de la planta, la cual permite convertir el compuesto activo en sustancias no-tóxicas para el cultivo (Ahmad *et al.*, 2012).

En el caso del herbicida Ignite/Basta (glufosinato), el gen *bar* proveniente de *Streptomyces hygroscopicus* fue usado para crear una vía de desintoxicación. Dicho gen ha sido utilizado también en cultivos como caña de azúcar, álamo, colza, tabaco, alfalfa y tomate (Zang *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2012). Por otra parte, el uso de *Bacillus thuringiensis* (Bt) en la agroindustria ha permitido el desarrollo de cultivos resistentes a lepidópteros, dípteros y coleópteros sin presentar toxicidad para los humanos y animales. Su aplicación ha sido satisfactoria en cultivos de papa, arroz, tabaco, trigo, maíz, algodón,

alfalfa, manzana, brócoli, lechuga, durazno y tomate, entre otros (Letourneau y Burrows, 2002, Ahmad *et al.*, 2012).

Es importante señalar que algunos de los cultivos presentan tolerancia al herbicida glifosato, el cual según el reporte emitido por la Agencia Internacional para la Investigación sobre Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC por sus siglas en inglés) fue clasificado como probablemente cancerígeno para los seres humanos (Grupo 2A) (IARC, 2015). El reporte sustenta su decisión en “pruebas convincentes de que estos agentes pueden causar cáncer en animales de laboratorio”, además considera “pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos a partir de estudios de exposición en la agricultura en países como Estados Unidos, Canadá y Suecia” (IARC, 2015). Adicionalmente, el glifosato y de manera general los plaguicidas, son considerados inhibitorios para la biomasa presente en el suelo (Tejada, 2009; Helander *et al.*, 2012) y recalcitrantes a los procesos de tratamiento convencionales (Stuart *et al.*, 2012).

Actualmente, más de 300 tipos de malezas resistentes a herbicidas han sido reportados en todo el mundo. Dicha resistencia conduce al uso de grandes cantidades de sustancias de naturaleza recalcitrante para asegurar su control. El hecho anterior conlleva a un aumento en el riesgo de contaminación tanto del suelo como el de cuerpos de agua (Stuart *et al.*, 2012). El uso de plantas como alternativa para el tratamiento de sustancias tóxicas y/o recalcitrantes data de los años cuarenta. La fitoremediación ha permitido la remoción de metales pesados, compuestos clorados explosivos e hidrocarburos poli-aromáticos (Macek *et al.*, 2008; Abhilash *et al.*, 2009; Van Aken, 2009). Dichas plantas se caracterizan por poseer material genéticamente modificado que permite incrementar su resistencia a concentraciones elevadas de metales pesados como mercurio y cadmio y además, metabolizar compuestos orgánicos halogenados, para de esta forma facilitar su subsecuente remoción en suelos y cuerpos de agua contaminados (Abhilash *et al.*, 2009).

La rápida contaminación de fuentes de agua, su escasez y el incremento de la salinidad han conducido a una reducción alarmante de la productividad de los cultivos. Se debe destacar que incluso periodos de escasez de agua en regiones consideradas productivas, son responsables de una reducción en la producción tanto de semillas como de biomasa. En las plantas, la osmoregulación es el mecanismo encargado de combatir el estrés causado por factores abióticos. En general, algunas plantas son incapaces de sintetizar osmoprotectores, los cuales son producidos de manera natural por plantas tolerantes a la salinidad. Los osmoprotectores son metabolitos como aminoácidos, azúcares, poli-alcoholes, betaína, dimetilsulfoniopropionato que pueden acumularse en grandes cantidades en el citosol, sin mostrar un efecto tóxico para la planta.

En el caso del maíz, la introducción del gen *betA* proveniente de la *E. coli*, permite la acumulación de glicina-betanina en sus tejidos haciéndolo más tolerante a la escasez de agua que en plantas nativas, inclusive en diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Se debe mencionar que dicho gen permitió obtener una productividad mayor del orden de 10-23% (con respecto a especies nativas), después de ser sometido a tres semanas de escasez de agua (Cominelly y Tonelli, 2010). Otras aplicaciones están dirigidas hacia la obtención de variaciones genéticas únicas de forraje resistentes a la sequía, con el fin de mejorar la productividad del cultivo (Wang *et al.*, 2007).

1.2.8. Beneficios y riesgos potenciales de los organismos genéticamente modificados

Existen diversas posturas acerca de los beneficios y riesgos potenciales durante la liberación de OGM, en relación a la seguridad alimentaria (Azadi y Ho, 2010; Qaim, 2010; Ruane y Sonnino, 2011), el impacto en el medio ambiente (García y Altieri, 2005; Russell, 2008; Areal *et al.*, 2012; Houshyani, 2012; Kos, 2012; Krishna y Qaim, 2012), la factibilidad económica (Schaper y Parada, 2001; Apel, 2010) y el desarrollo de actividades de bioprospección (Melgarejo *et al.*, 2002).

La seguridad alimentaria se da cuando las personas tienen acceso a alimentos inocuos y nutritivos que les permitan satisfacer sus necesidades alimenticias. Los OGM han sido desarrollados con el objetivo de proporcionar alimento suficiente (Weale, 2010); no obstante factores como la calidad nutricional, la toxicidad potencial, la posible resistencia antibiótica de los OGM, el potencial alergénico y carcinogénico de los alimentos se encuentran en constante debate.

Considerando los cuestionamientos sobre seguridad alimentaria, el “principio precautorio” señala que de existir algún peligro de daño grave e irreversible, se deben tomar medidas que impidan dicha acción, aunque no exista la evidencia científica suficiente (Weale, 2010). En otros términos, si se tiene sospecha que alguna acción puede afectar la salud o el medio ambiente, se está en el derecho de no adoptarla. La contraparte al concepto es la “equivalencia sustancial”, en el que se considera igual de seguro un alimento con contenido genéticamente modificado (GM) que uno tradicional, si se demuestra que tienen las mismas características de composición (FAO, 2001; Levidow y Boschert, 2008). En relación a la equivalencia sustancial, algunos investigadores consideran que aún son insuficientes los protocolos experimentales en la materia, por lo que es necesario realizar estudios más detallados sobre impactos potenciales en organismos “no objetivo” (Vergragt y Brown, 2007; Xue *et al.*, 2012).

En relación al impacto ambiental, los riesgos potenciales están relacionados con el aumento de la resistencia de las plagas (lepidópteros y coleópteros) a los insecticidas, la contaminación de suelos y cuerpos de agua debido al arrastre de agroquímicos y la persistencia en el suelo de las toxinas Bt (García y Altieri, 2005; Vergragt y Brown, 2007; Weale, 2010). Existe un creciente interés por conocer el efecto de la transferencia de polen de organismos modificados en plantas nativas y del posible impacto sobre la biodiversidad (aves, polinizadores, descomponedores) (Vergragt y Brown, 2007; Wenke, 2008; Houshyani, 2012; Kos, 2012; Xue *et al.*, 2012).

Los beneficios ambientales están asociados con la sustitución de herbicidas de amplio espectro por unos menos perjudiciales, el uso de agricultura de conservación para evitar la erosión de los suelos y la reducción en el número de aplicaciones de agroquímicos (Nelson y Bullock, 2003; Areal *et al.*, 2012). Adicionalmente, estudios en India y Australia han permitido verificar mejoras en el rendimiento de cultivos y reducción de aplicaciones de plaguicidas, de manera particular en algodón Bt (Krishna y Qaim, 2012; Russell, 2008).

Qaim (2010) realizó una revisión de los posibles beneficios de los cultivos transgénicos, en dicho estudio se evidencia su potencial para la reducción de la pobreza, el mejoramiento de la dieta y en el desarrollo sostenible de las naciones. En el caso del arroz dorado, el cual ha sido modificado para producir β -caroteno, podría reducir el impacto de enfermedades en el ser humano, relacionadas con la carencia de vitamina A. Este hecho permitiría salvar al menos 40.000 vidas al año en la India, pertenecientes por lo general a los sectores más pobres de la sociedad.

En lo que concierne a la factibilidad económica por el uso de OGM, hay inquietud acerca de si los costos de las semillas transgénicas y la aplicación de cierto número de herbicidas según la temporada por cultivo, pudieran ser mayores a los beneficios económicos recibidos por la comercialización de estos productos. A lo anterior se debe agregar, los costos en los que se incurre durante la adopción de medidas de bioseguridad para evitar dispersión de semillas de un cultivo GM a uno convencional (Shaper y Parada, 2001). En un análisis realizado en Virginia con maíz dulce que contenía *Bacillus thuringiensis* (Bt), mediante una comparación económica con un cultivo tradicional, se pudo llegar a la conclusión que el maíz dulce Bt era una estrategia eficaz en el manejo de plagas y económicamente viable (Speese, 2004).

Con respecto al tema de bioprospección o búsqueda de materia viva con propiedades medicinales, industriales, farmacológicas y biotecnológicas. El debate está relacionado con el respeto y valor por el conocimiento tradicional y uso adecuado de la diversidad biológica (Melgarejo *et al.*, 2002). México aún no tiene claramente definida su posición

respecto al tema de bioprospección, a diferencia de países como Brasil, Costa Rica y los que conforman el Pacto Andino (Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela y Bolivia) que han definido su posición acerca del desarrollo de actividades de esta índole.

1.2.9. Perspectivas de los Organismos Genéticamente Modificados

Según el informe del Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAAA) del año 2013, las perspectivas a futuro que se tienen son:

- a) Para el año 2015:
 - i) Considerando el aumento de la demanda e incremento de las importaciones en China, se espera la comercialización de maíz usado para forraje.
 - ii) Se pretende una probable comercialización en Indonesia y Vietnam de maíz con fitasa (aporta fosfato a la ingesta en animales e incrementa la eficacia de la producción de carne).
 - iii) Se espera impulsar la adopción de maíz GM tolerante a sequía en América y su transferencia a países de África.
 - iv) Se proyecta promover la adopción de frijol resistente a virus, desarrollado por EMBRAPA en Brasil, además de incrementar la adopción de soja con eventos apilados en la misma zona.
- b) Para el año 2016, se planea tener disponibilidad de arroz dorado para el sector agrícola en Filipinas.
- c) Hacia 2017, se pretende impulsar la comercialización de cultivos de maíz y algodón biotecnológicos en más países de África.

Capítulo 2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Analizar el impacto económico, ambiental y de seguridad alimentaria de los OGM en la bioseguridad en el campo agrícola.

2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar la problemática en la bioseguridad a nivel internacional y su incidencia en el ámbito nacional.
2. Analizar el impacto económico del uso de los OGM en el cultivo de algodón en México.
3. Verificar el cumplimiento de criterios ambientales en zonas restringidas y medidas de bioseguridad para evitar dispersión de polen a cultivos no GM.
4. Identificar el impacto de los OGM en la seguridad alimentaria.
5. Aplicar un cuestionario tipo Likert para estimar la percepción del consumidor respecto al uso de los OGM en alimentos.
6. Analizar el uso de los OGM, desde el punto de vista económico, ambiental y de seguridad alimentaria mediante una matriz FODA.

2.3. Hipótesis

La aplicación de un análisis FODA, considerando variables ambientales, de seguridad alimentaria y económica, permitirá evaluar los riesgos potenciales de los productos genéticamente modificados.

2.4. Alcances y Limitaciones

En esta investigación se evaluó el impacto potencial de los OGM, tomando en consideración factores ambientales, de seguridad alimentaria y económicos. Para tal fin, se tomaron como estudios de caso los cultivos de maíz y algodón genéticamente

modificados en las regiones de Sonora y Sinaloa. Adicionalmente, se realizó un análisis de percepción pública mediante un estudio de caso en San Luis Potosí. Para dicho análisis se utilizó como referente el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados en México.

El análisis ambiental se realizó tomando como zona de estudio el estado de Sinaloa y las autorizaciones para liberación de maíz GM para el año 2010 en dicha zona, con el fin de conocer de forma espacial la probabilidad de dispersión de polen de maíz GM a cultivos circundantes para dicha época. Para ello, se usó el modelo HYSPLIT y se consideraron las siguientes variables: temperatura, humedad relativa (HR), dirección y velocidad del viento.

En relación al tema de seguridad alimentaria, se realizó un estudio de percepción pública, tomando como muestra a los estudiantes del último semestre académico a nivel licenciatura, maestría y doctorado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El objetivo fue conocer a partir de la aplicación de un cuestionario tipo Likert, las actitudes y necesidades que tiene el público en relación al tema OGM en las dimensiones: difusión de la información, seguridad y salud al consumidor e impactos potenciales al medio ambiente y al campo agrícola.

El análisis de aspectos económicos de los OGM se realizó para conocer los cambios y aportaciones económicas que han tenido este tipo de alternativas en el campo agrícola. Para ello, se utilizó información relacionada con tipología de productores, hectáreas de siembra, de cosecha y rendimiento en el cultivo de algodón GM en Sonora. Adicionalmente, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a productores, representantes del sistema producto algodón, investigadores, técnicos y representantes de compañías, para conocer su percepción en el potencial económica de esta alternativa.

Los análisis anteriores junto con mapas comparativos de ciencia y tecnología, localización de corredores biológicos, sitios RAMSAR (convención adoptada en la ciudad

de Ramsar, relativa a humedales de importancia internacional) y Áreas Naturales Protegidas (ANP), así como mapas de la situación fitosanitaria de plagas de maíz y algodón fueron la entrada para realizar un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA). Dicho análisis permitió obtener un diagnóstico de la situación en las zonas de estudio en el uso de OGM.

Capítulo 3. Metodología

La investigación se desarrolló en tres fases principales: en la primera se aplicó una revisión bibliográfica. La segunda fase consistió en la selección de criterios y análisis de impactos potenciales en el desarrollo de cultivos GM y en la última fase se realizó la estructuración de la matriz FODA, la formulación de estrategias y la interpretación de resultados (Fig. 3.1). Las actividades desarrolladas se describen a continuación:

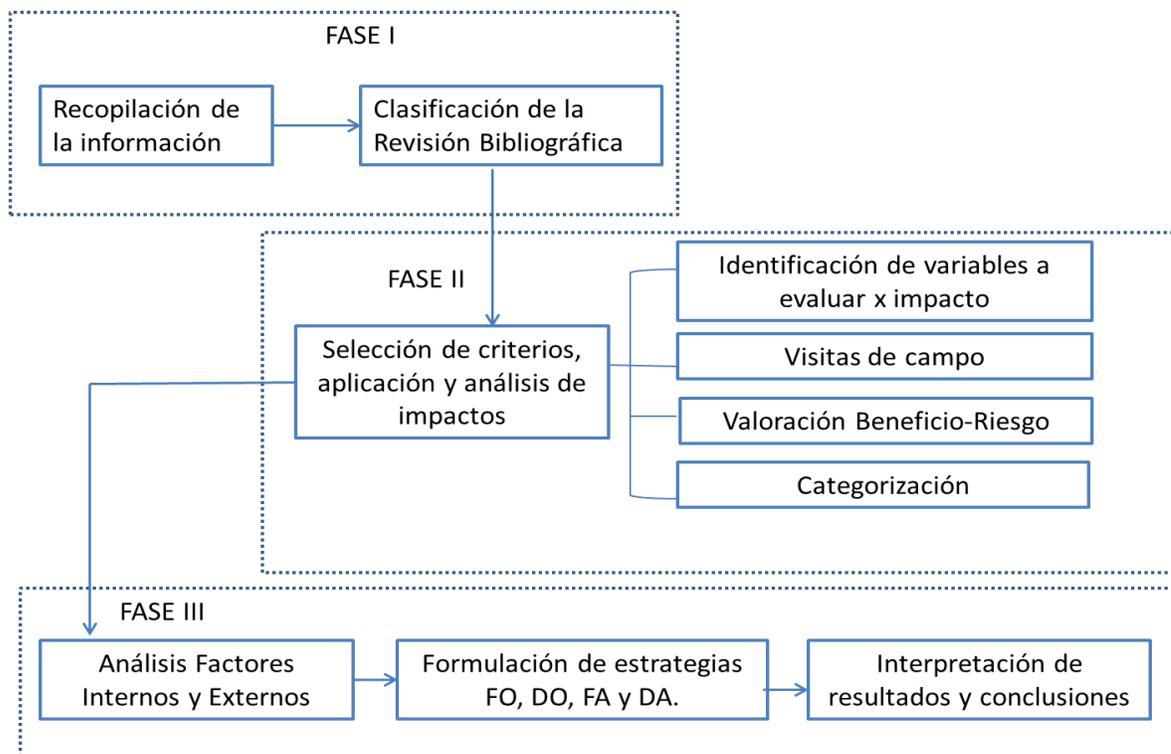


Figura 3.1 Diagrama metodología de impactos en OGM

3.1. Zonas de estudio

La investigación se dirigió a los estados de Sinaloa, Sonora y San Luis Potosí. En cada estado se seleccionaron municipios de estudio, considerando la disponibilidad y acceso a la información requerida para el análisis de impactos. Para Sinaloa, se accedió a la información histórica de autorizaciones de maíz GM del año 2010. El estado de Sonora se tomó como referencia para analizar la información económica en relación a superficies de siembra, cosecha y rendimientos obtenidos a partir de la utilización de algodón OGM. En el estado de San Luis Potosí, se seleccionó el municipio con el mismo nombre para realizar

el análisis de percepción pública de los OGM. Para ello, el cuestionario tipo Likert fue aplicado a estudiantes de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

3.1.1. Sinaloa



Figura 3.2 Distribución de municipios del estado de Sinaloa

El estado de Sinaloa está integrado por 18 municipios, colinda al norte con Sonora y Chihuahua, al este con Durango y Chihuahua, al sur con Nayarit y al oeste con el Océano Pacífico y el Golfo de California. En la figura 3.2, el área sombreada con color naranja representa los municipios en los que se realizaron liberaciones de maíz GM para el año 2010, información que se utilizó para analizar la probabilidad de dispersión de polen.

Sinaloa ocupa el primer lugar a nivel nacional en producción de maíz en grano. Para el año 2014, el estado alcanzó una producción de 3.686,274.43 de toneladas, correspondiente al 15,84% del total de la producción nacional. A nivel estado, Sinaloa tiene como actividades principales la agricultura y ganadería. Para el año agrícola 2014, el estado tuvo como principales cultivos de siembra el maíz, seguido por la producción de sorgo, tomate rojo, chile verde y pepino, entre otros (Fig. 3.3).

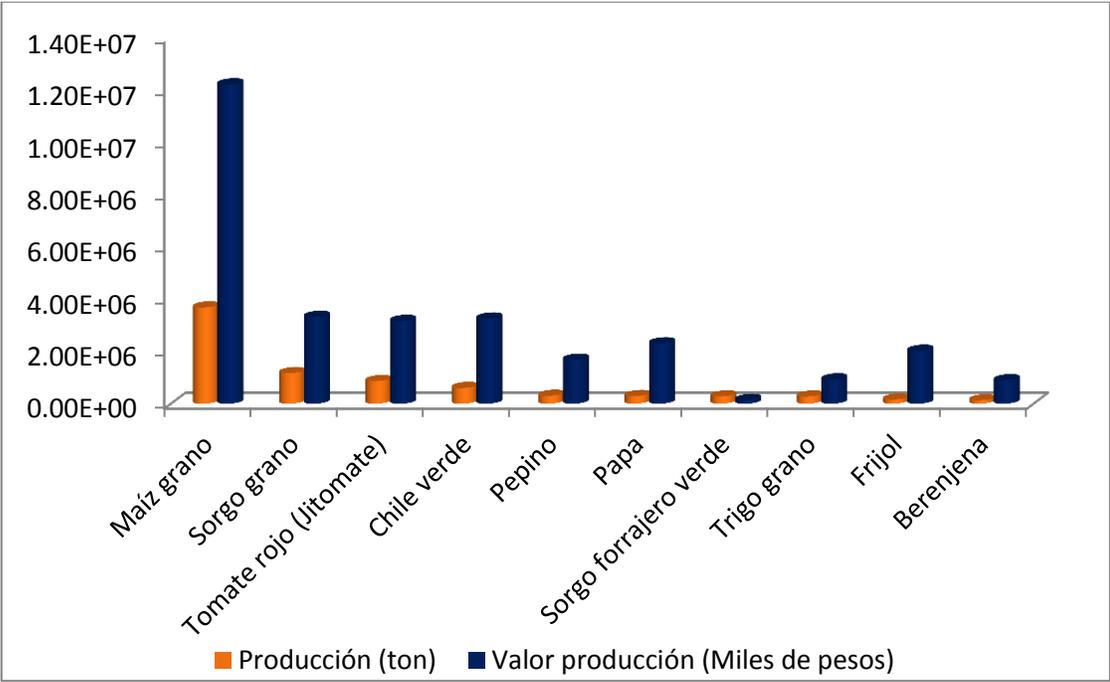


Figura 3.3 Producción y Valor de la Producción Agrícola ciclos OI y PV, Sinaloa 2014
Fuente: Elaborado con datos del SIAP

3.1.2. Sonora

El estado de Sonora se encuentra integrado por 72 municipios. Colinda al norte con Estados Unidos, al sur con Sinaloa, al este con Chihuahua y al oeste con el Golfo de California y Baja California (Fig. 3.4). Contribuye con 8.6% del Producto Interno Bruto (PIB) a nivel Estatal. El área sombreada con color verde representa los estados en donde se han solicitado permisos para siembra de algodón GM.

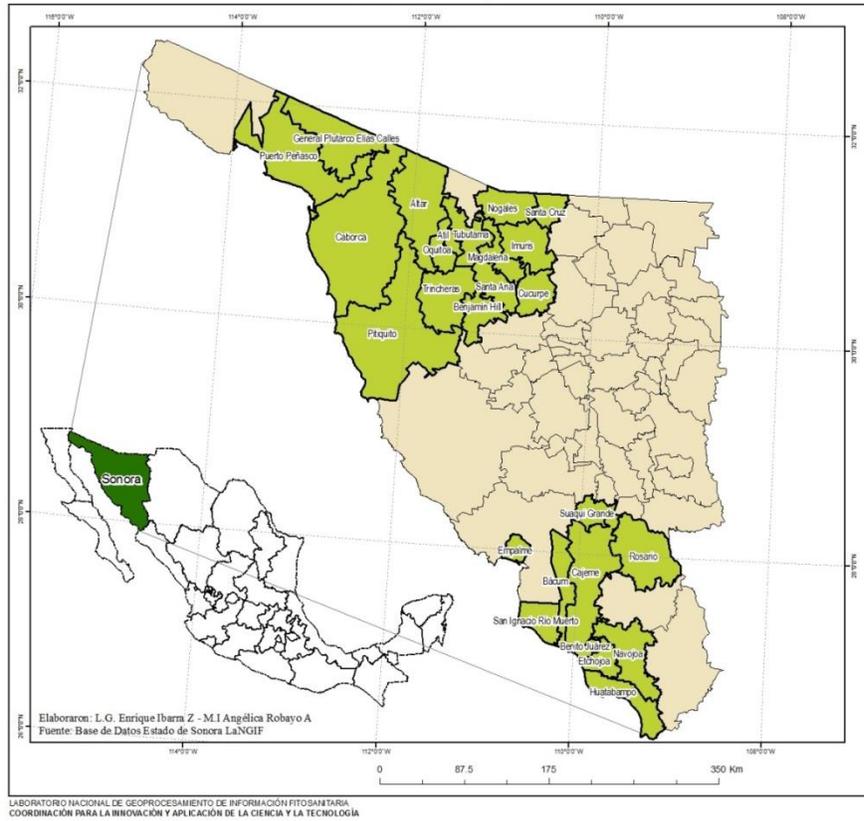


Figura 3.4 Distribución municipal del estado de Sonora

Para el año 2014, Sonora ocupó el cuarto lugar en producción nacional de algodón con un volumen de 26,715.93 toneladas, equivalentes al 3.1% del total de la producción en el país (Fig. 3.5).

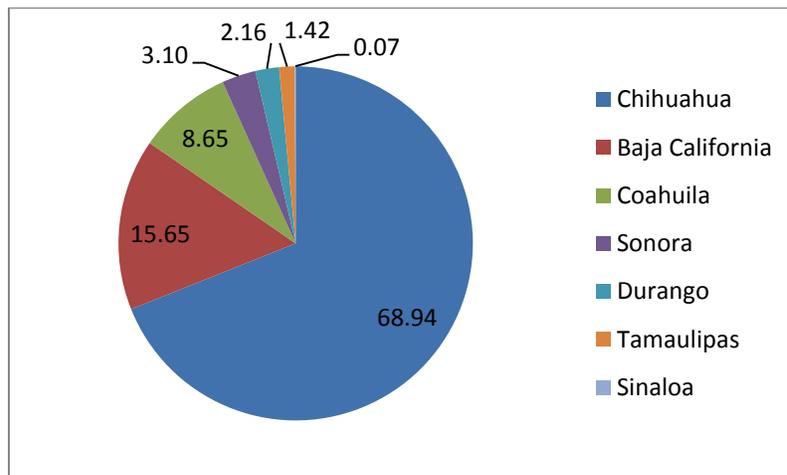


Figura 3.5 Sonora en la producción Nacional de Algodón, 2014

Fuente: Elaborado con datos del SIAP

Las siembras de algodón en Sonora, se realizaron principalmente en los municipios San Luis Río Colorado (19,361.84 ton), General Plutarco Elías Calles (3266.25 ton), Cajeme (1,845.6 ton), Etchojoa (1,024.56 ton) y Benito Juárez (407.5 ton), seguido por Navojoa, Huatabampo y Bácum con superficies de siembra menores a 392 ton (Fig. 3.6).

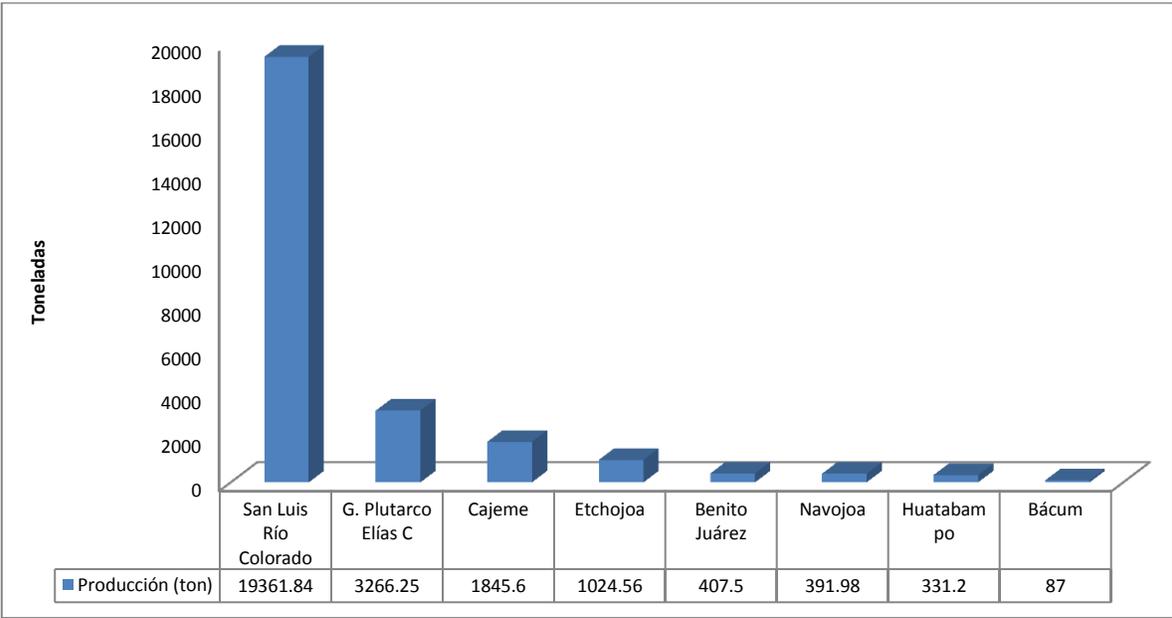


Figura 3.6 Producción de Algodón en el estado de Sonora, 2014

Fuente: Elaborado con datos del SIAP

3.2. Selección de criterios, aplicación y análisis de impactos

A continuación se desarrolla la metodología aplicada por impacto analizado.

3.2.1. Impacto en la seguridad alimentaria

Para conocer el impacto de los OGM en la seguridad alimentaria, se realizó un análisis de estudios preliminares, encontrando métodos de evaluación del riesgo en alimentos con base en: criterios de toxicidad, alergenidad y nutrición de acuerdo con el Codex Alimentarius.

Adicionalmente, con el fin de conocer la percepción del público en relación a los riesgos-beneficios de los OGM se elaboró y aplicó un cuestionario tipo Likert a estudiantes

de último semestre de licenciatura y posgrado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Para la estructuración y aplicación se desarrollaron las siguientes fases:

a) Definición del constructo, operacionalización y reactivos

Se estructuró un cuestionario inicial con 40 reactivos distribuidos en 6 dimensiones relacionadas con los temas: divulgación de la información, aplicación de los OGM a la agricultura, impacto en el medio ambiente, etiquetado de productos, consumo de productos con contenido GM y aspectos económicos. Los reactivos se estructuraron en forma negativa y positiva y comprendían aspectos relacionados con la información a conocer en cada dimensión.

b) Revisión por jueces – validación

Diseñado el cuestionario, se solicitó a un grupo de expertos validar, verificar y emitir comentarios respecto al documento. El cuestionario fue enviado junto con una planilla de revisión por jueces, utilizada para evaluar por reactivo la identificación de actitudes, pertinencia y relación con la dimensión establecida, así como la claridad en el lenguaje y en la redacción (Anexo 2). Adicionalmente, se adjuntó un documento con la explicación de las dimensiones, sus reactivos y forma de operacionalización.

c) Pilotaje

El cuestionario validado se aplicó a un grupo muestra de estudiantes de diferentes carreras de licenciatura. Los resultados obtenidos, se ingresaron a una base de datos, usando para ello el software IBM SPSS Statistics 21. Posteriormente, se realizó un análisis de consistencia del instrumento, con el fin verificar la precisión y comprensión del instrumento.

d) Modificaciones al cuestionario y estructura final

Con base en los resultados de la validación y pilotaje se realizaron mejoras al instrumento, re-estructurando algunos reactivos y dimensiones. La escala valorativa de

medición estuvo integrada por 5 opciones de respuesta, otorgando al encuestado la flexibilidad para elegir su grado de “acuerdo o desacuerdo” con cada reactivo. La escala de medida incluyó las siguientes opciones:

1. Totalmente en desacuerdo
2. Algo en desacuerdo
3. Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
4. Algo de acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

e) Aplicación del cuestionario

Para la aplicación del cuestionario se realizaron solicitudes verbales y escritas a docentes y personal administrativo de la UASLP. Las aplicaciones se hicieron en forma personalizada mediante el acceso a los grupos de clase. En cada grupo se explicó el objetivo del estudio, estructura del cuestionario, forma de llenado y escala de valoración.

f) Interpretación de resultados

Los resultados finales se ingresaron y analizaron en SPSS, considerando la pertinencia de este programa para el desarrollo de análisis estadísticos y de escalas tipo Likert.

3.2.2. Impacto al ambiente de maíz GM

El análisis se aplicó tomando como estudio de caso el cultivo de maíz GM en el estado de Sinaloa, para su desarrollo se ejecutaron las siguientes etapas:

a) Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG):

Se localizaron polígonos de maíz GM, utilizando información histórica proporcionada en las bases de datos del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Para la ubicación geográfica de los polígonos se utilizó el programa ArcMap 9.3. Posteriormente, se localizaron zonas de maíz nativo y se calculó su distribución potencial, usando el programa de Máxima Entropía Maxent.

b) Información meteorológica

Se usaron bases de datos del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en México y de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (National Centers for Environmental Prediction – NCEP). Las condiciones meteorológicas consideradas en el estudio fueron velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa (HR) en el ambiente.

Para calcular la dirección y velocidad del viento se utilizaron datos del CIAD y se elaboraron rosas de los vientos usando el programa WRPLOT (Wind Rosa Plots for Meteorological Data) desarrollado por Lakes Environmental.

Las condiciones de temperatura y HR se estimaron usando datos históricos de las estaciones de monitoreo. Además, dado que el modelo HYSPLIT se ejecuta usando bases de datos meteorológicas de los NCEP, los datos históricos del GDAS (Global Data Assimilation System) se seleccionaron porque este modelo atmosférico proporciona perfiles de altitud de las principales variables de estado de la atmósfera, como temperatura y humedad (Andrei y Chen, 2009). Después, la información proporcionada por el SMN se usó como referencia para el desarrollo de mapas diarios de temperatura y de HR en el estado, con el fin de establecer capas de comparación para un análisis final de criterios.

c) Aplicación del Modelo HYSPLIT

El modelo HYSPLIT calcula las trayectorias y dispersión de parcelas de aire, mediante la combinación entre coordenadas Eulianas (fijas respecto a la tierra) y Lagrangianas (que siguen el movimiento de la tierra) (Pasken and Pietrowicz, 2005; INECC, 2013). El enfoque euliano calcula las concentraciones para cada celda en una cuadrícula, integrando flujos de partículas en cada interfaz de las celdas debido a la difusión y advección. En el modelo de Lagrange, las concentraciones son calculadas mediante la suma de la contribución de cada partícula advectada a través de la celda de la cuadrícula (Escudero *et al.*, 2006). La

concentración de aire representa la masa de partículas en modelos en forma de nubes o modelos de partículas o una mezcla de ambos (Draxler and Hess, 1997; Pasken and Pietrowicz, 2005).

Para el estudio, se aplicó la simulación de dispersión progresiva en HYSPLIT, para determinar los sitios probables a donde llegó el polen de maíz GM. Para el desarrollo de las simulaciones se consideraron horas más favorables de viabilidad, HR y temperatura del aire. Los datos de entrada en el modelo HYSPLIT fueron el peso del polen de maíz, la altura, la velocidad de depósito y el tiempo de viabilidad.

d) Estructuración de mapas

Se estructuraron mapas de HR y temperatura aplicando interpolación en ArcGis y se sobrepusieron con la capa de distribución de maíz nativo. Se aplicó el álgebra de mapas, dando peso a las variables de interés y estableciendo rangos de riesgo probable de dispersión.

3.2.3. Impacto económico algodón GM

Para el desarrollo de esta fase, se usó información económica de estudios preliminares, así como información proporcionada de las siguientes fuentes:

- a) Sistema Producto Algodón
- b) Agrobio-México
- c) Financiera Rural
- d) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)
- e) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)
- f) Organización de las Naciones Unidas (ONU)
- g) Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)
- h) Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA)

Se realizó un enfoque comparativo entre insumos, historial de superficie sembrada, producción, rendimientos y costos, con el fin de detectar la factibilidad en la adopción de los OGM.

3.4. Análisis y matriz FODA

Obtenida la estructuración de los impactos, se procedió a realizar un análisis y comparación de variables a partir de estos. Adicionalmente, se incluyeron variables adicionales en el análisis final del panorama de los OGM en el país. La información adicional incluyó: desarrollo de mapas relacionados con centros de innovación dedicados al desarrollo de OGM, plagas en cultivos de maíz y algodón, cambio climático y tipología de productores. La comparación de variables permitió estructurar factores internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) y posteriormente, realizar el cruce de factores para proponer estrategias de mejora en pro de aportar soluciones al debate de los OGM.

*Capítulo 4. Los Organismos
Genéticamente Modificados:
Situación en México*

4.1. Situación OGM en México

La producción agrícola en México es uno de los componentes más importantes del sector agropecuario, aunque desde el punto de vista de la economía pareciera un subsector relativamente pequeño. El subsector agrícola tuvo un crecimiento lento en la década de los noventa (1.5% aproximadamente) y desde el año 2000 en adelante la tasa de crecimiento tuvo una leve mejora. Para los años 2010 y 2011, la agricultura representó el 3.6% del Producto Interno Bruto (PIB) del país, proporcionando empleo al 12.7% de la población (OCDE, 2012).

El subsector agrícola ha tomado mayor importancia a partir del uso de productos genéticamente modificados. Según información reportada por la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), desde el año 1988 hasta el 2005 se autorizaron 333 solicitudes para liberación de transgénicos como alfalfa, algodón, arabidopsis, arroz Bt modificado genéticamente, calabacita, canola, cártamo, chile, clavel, jitomate, limón, lino, maíz, melón, papa, papaya, piña, plátano, soya, tabaco, tomate y trigo, entre otros.

Desde 1995 y hasta junio del 2015 la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), evaluó la inocuidad caso por caso de OGM en 146 solicitudes. De acuerdo a la información reportada por CIBIOGEM, en la figura 4.1 se señalan las superficies de siembra para algodón, maíz, soya, trigo y alfalfa desde el 2008 hasta el 2013.

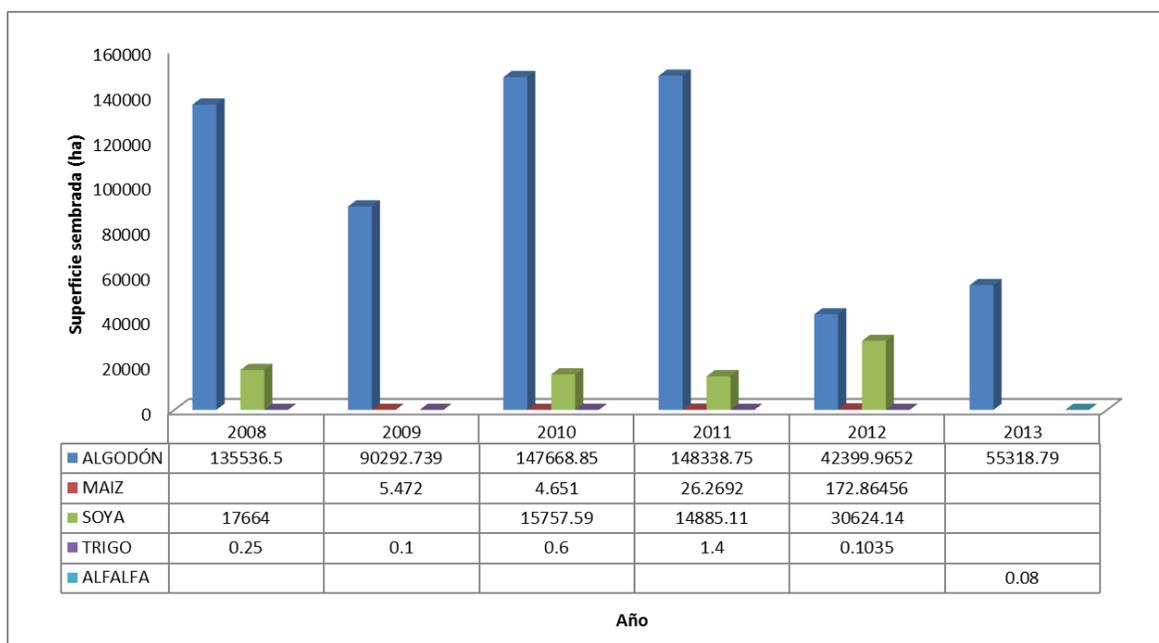


Figura 4.1 Superficies de OGM sembradas en México, 2008-2013

Fuente: Elaborado a partir de resoluciones de permisos de liberación (CIBIOGEM, 2015)

En el año 2014, se recibieron 44 solicitudes de siembra de las que se autorizaron 12, con una superficie total de 130,001.6221 ha para siembra de algodón, frijol, trigo y limón (Tabla 4.1). Hubo 4 solicitudes para siembra de maíz que no se autorizaron, dando cumplimiento a la medida precautoria emitida en 2013.

Tabla 4.1 Adopción de cultivos GM en el sector agrícola mexicano para el año 2014

Cultivo	Región o estado	Tipo de liberación	Superficie permitida por tipo de liberación (ha)
Algodón	Sinaloa, Sonora y Chihuahua	Piloto	80,000.00
<i>(Gossypium hirsutum L.)</i>	Tamaulipas	Piloto	50,000.00
Total Algodón			130,000.00
Frijol <i>(Phaseolus vulgaris)</i>	Guanajuato	Experimental	0.3721
Total Frijol			0.3721
Maíz <i>(Zea mays L.)</i>	Sonora	Piloto y Comercial	* Bajo suspensión
Soya <i>(Glycine max L.)</i>	San Luis Potosí y Tamaulipas	Experimental	*En análisis de riesgo
Trigo <i>(Triticum aestivum)</i>	Morelos	Experimental	0.50
Total Trigo			0.50
Limón mexicano	Colima	Experimental	0.75
<i>(Citrus aurantifolia)</i>			
Total Limón mexicano			0.75

Fuente: (CIBIOGEM, 2014)

Según el informe del International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application (ISAAA), se pretende impulsar el desarrollo de OGM en maíz, con el fin de obtener un mejor rendimiento y reducir importaciones. En el período 1996 a 2010, México sumó 121 millones de dólares a su renta agraria, gracias al algodón y a la soya genéticamente modificados (Agrobio-México, 2011).

4.1.1. Etapas de Liberación de OGM: Experimental, Piloto y Comercial

La bioseguridad en México se establece de acuerdo a los lineamientos de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente modificados, en la que se estipula el desarrollo de tres etapas de liberación de OGM: experimental, piloto y comercial.

La etapa experimental se refiere a la aprobación para introducir en el medio ambiente un OGM, tomando en consideración medidas de contención como barreras físicas, químicas o biológicas. Dichas barreras se usan para prevenir la dispersión de polen o de material vegetativo y evitar su interacción con especies sexualmente compatibles (Agrobio-México, s.f).

En la etapa piloto o pre-comercial se asume el permiso para introducir al medio ambiente OGM usando o no barreras físicas, químicas o biológicas. En esta fase se considera que el OGM ha cumplido con un protocolo previo en la fase experimental al tener delimitadas sus zonas sin afectar población o medio ambiente.

En la etapa de liberación comercial se permite la introducción al ambiente de OGM sin considerar barreras físicas, químicas o biológicas que limiten su contacto con población o con el ambiente. Esta última etapa se caracteriza por usarse con fines comerciales, de producción, biorremediación y otros ajenos a los autorizados en las fases previas (DOF, 2005).

4.1.2. Maíz y Algodón GM

4.1.2.1. Maíz GM

México es considerado centro de origen y diversidad de maíz, ya que posee una riqueza de más de 60 razas, variedades nativas y parientes silvestres o teocintles distribuidos alrededor del país (CNCUB, 2012) (Fig. 4.2). Por lo que, se ha hecho necesario conservar la riqueza genética de las especies nativas de maíz y evitar un potencial cruce no deseado entre especies (Wolt, 2009; Brooke, 2012).

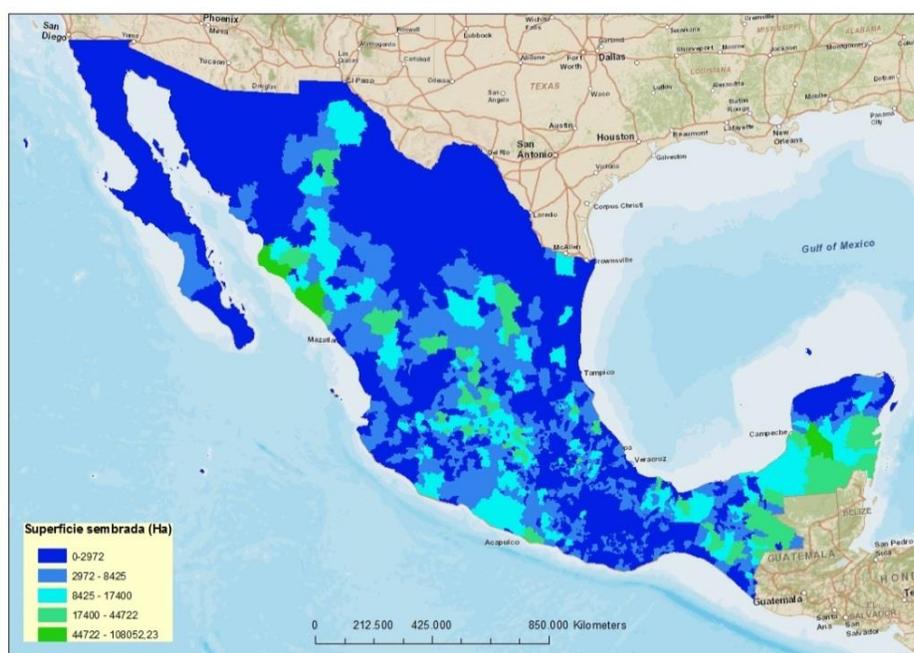


Figura 4.2 Maíz convencional en grano (SIAP, 2013)

4.1.2.1.1. Autorizaciones de maíz GM en México

Según CIBIOGEM, las autorizaciones en maíz GM se otorgaron a partir del año 1993, con una siembra en Irapuato de maíz tolerante a herbicidas. Desde el año 1994 a 2005 se autorizaron 39 ensayos de productos genéticamente modificados particularmente con tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos. Estas autorizaciones se realizaron en los

estados de Guanajuato, estado de México, Morelos, Sinaloa, Nayarit, Sonora, Baja California Sur y Jalisco (CIBIOGEM, s.f). Entre 2006 y 2008, no se reportaron solicitudes para siembra de maíz. A partir del año 2009 se otorgaron 33 permisos para liberación experimental en Chihuahua, Coahuila, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas con una superficie total sembrada de 5,472 ha. Para el año 2010, las solicitudes se incrementaron a 76 y se otorgaron 68 permisos para liberaciones experimental y piloto. Durante el año 2011, se otorgaron 61 permisos para etapas experimental y piloto (CIBIOGEM, 2009, 2010, 2011).

En el año 2012 se otorgaron 54 permisos para siembra de maíz GM en las etapas experimental y piloto. Los estados para los que se aprobaron las solicitudes fueron Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas. Para los años 2013 y 2014, se suspendieron los permisos para siembra de maíz GM, dando cumplimiento a la medida precautoria ordenada por una instancia federal (CIBIOGEM, 2012, CIBIOGEM, 2014) (Fig. 4.3).

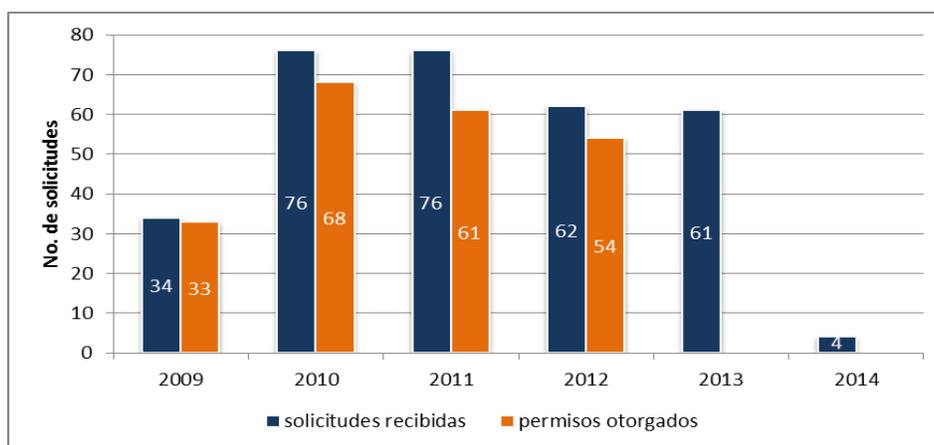


Figura 4.3 Solicitudes y permisos de maíz GM en México, 2009-2014

Fuente. Elaborada con datos de Informes Anuales de Bioseguridad CIBIOGEM (2009-2014).

4.1.2.1.2. Autorizaciones de maíz GM en Sinaloa

En el año 2005, se realizaron 2 solicitudes para liberación experimental de maíz GM con resistencia a insectos y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato en Sinaloa (CIBIOGEM, 2015 a). Entre los años 2006 y 2008 no se reportaron permisos de siembra de maíz GM. Para el año 2009, se otorgaron 33 permisos con una superficie de siembra de 1,728 ha (Fig. 4.4) (CIBIOGEM, 2015 a).

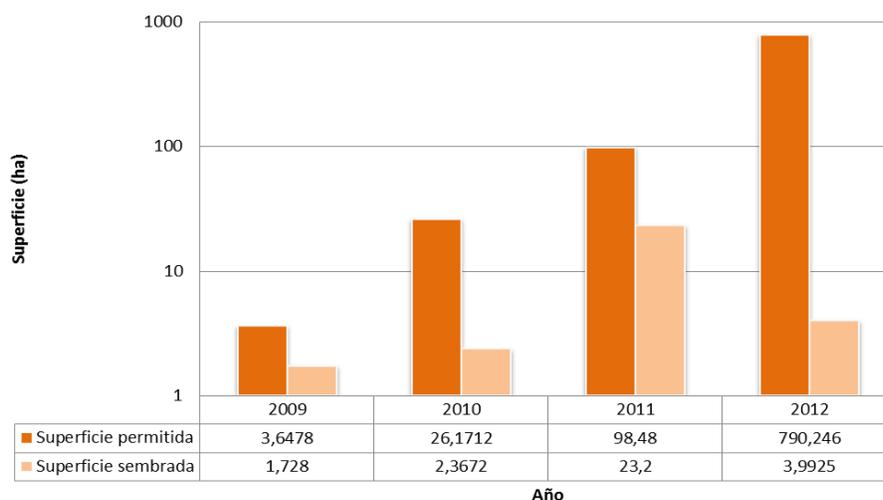


Figura 4.4 Superficies de maíz GM (ha) en Sinaloa, 2009-2012,
Fuente. Elaborada con base en CIBIOGEM (2015 a).

Entre los años 2010 y 2011 las siembras de maíz GM abarcaron superficies desde 2,36 hasta 23,2 ha. En el año 2012, se autorizaron siembras en una superficie de 3,99 ha (CIBIOGEM, 2015 a). Para los años 2013 y 2014, las solicitudes se desestimaron cumpliendo con la medida precautoria establecida (CIBIOGEM, 2013; CIBIOGEM, 2014).

4.1.2.2. Algodón genéticamente modificado

El algodón pertenece al género *Gossypium* y la especie que se cultiva comercialmente en el mundo es *Gossypium hirsutum* L. cuyo origen se dio en México y Centro América (AgroBio-México, 2015) (Figura 4.5).



Figura 4.5 Algodón hueso convencional (SIAP, 2013)

4.1.2.2.1. Autorizaciones de algodón GM en México

En los años 90 un ataque de plagas devastó gran parte de la producción de algodón en México. A raíz de este problema, surgieron alternativas de mejora en la producción como el desarrollo de los OGM. Desde el año 1996, la siembra de semillas de algodón GM se incrementó de 3 a 6 ha. Durante el año 2008, de 41 solicitudes únicamente se otorgaron 38 permisos para liberación de algodón GM en etapa experimental y piloto. Las siembras se efectuaron en el Valle de Mexicali, San Luis Rio Colorado, Chihuahua, Comarca Lagunera, Sonora, Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz con un total de 43234, 77 ha de algodón sembradas (CIBIOGEM, 2008). Hacia el 2009, se otorgaron 28 permisos en etapas experimental, piloto y comercial con una superficie total de siembra de 90292, 739 ha. Para el año 2010, se otorgaron 33 permisos y se realizaron siembras en las 3 etapas mencionadas. En el 2011, se emitieron 33 permisos de liberación en las mismas etapas que el año anterior (CIBIOGEM, 2009, 2010, 2011).

Durante el año 2012 se autorizaron 24 solicitudes para las etapas experimental, piloto y comercial. La característica de las autorizaciones fue la resistencia a lepidópteros y tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato (CIBIOGEM, 2012). Para el 2013, se aprobaron 18 solicitudes para liberaciones en las mismas etapas anteriores, con las características mencionadas anteriormente (CIBIOGEM, 2013). En el año 2014, se otorgaron únicamente 3 permisos, de un total de 30 solicitudes recibidas inicialmente en un área de siembra permitida de 130,000 ha en los estados de Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Tamaulipas, las características o fenotipos seleccionados fueron la resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia al herbicida glifosato (CIBIOGEM, 2014) (Figura 4.6).

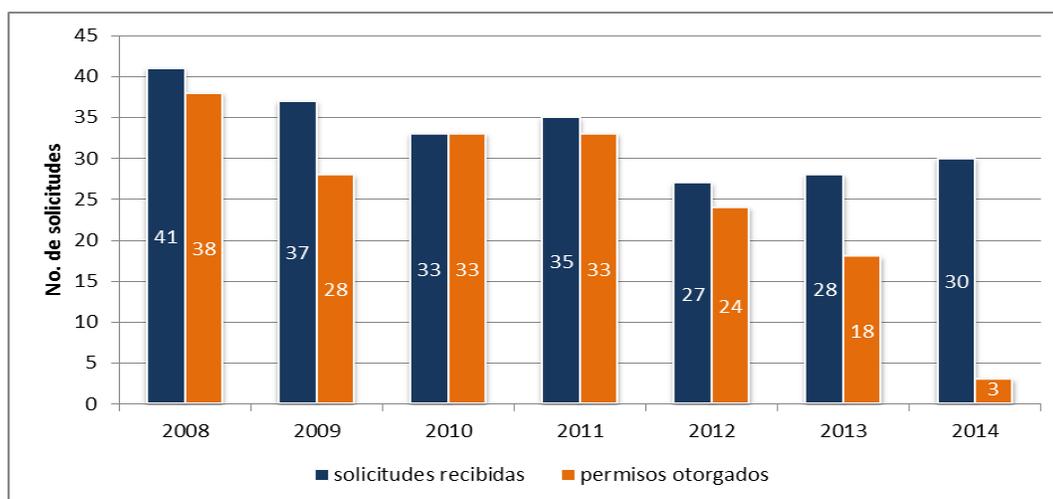


Figura 4.6 Solicitudes y permisos de algodón GM en México, 2008-2014

Fuente. Elaborada con datos de informes CIBIOGEM (2008-2014).

4.1.2.2.2. Autorizaciones de algodón GM en Sonora

A partir del año 2008 en el estado de Sonora, se recibieron solicitudes para liberación experimental y piloto con una superficie de siembra de 15560,65 ha. Las características o fenotipos de los OGM fueron una vez más la resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio (CIBIOGEM, 2008) (Figura 4.7). En el año 2009 de 35.363,4 ha permitidas para siembra de algodón, únicamente se sembraron 11.820,59 ha (CIBIOGEM, 2008).

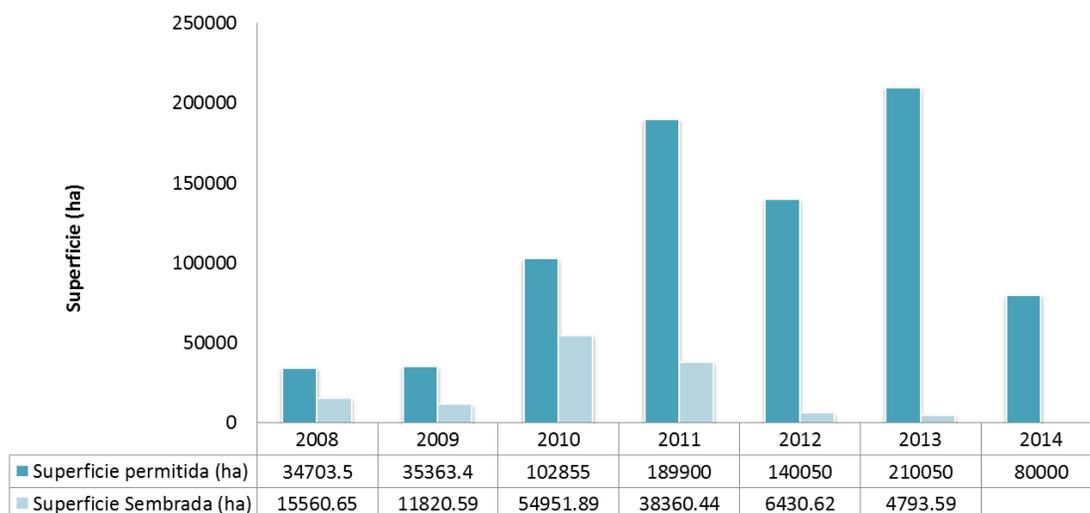


Figura 4.7 Superficies (ha) de algodón en Sonora, 2008-2014

Fuente. Elaborada con datos de CIBIOGEM(2008- 2014)

Durante el año 2010 las siembras se dieron en las fases experimental y piloto en una superficie de 54951,89 ha, con las características de resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia a glifosato. Hacia el 2011, las solicitudes para Sonora incluyeron además de las fases experimental y piloto, la liberación comercial. La superficie de siembra total en el estado fue de 38360,44 ha de algodón GM, conservando las características de resistencia a insectos y tolerancia a glifosato y glufosinato de amonio (CIBIOGEM, 2010, 2011).

Entre los años 2012 y 2013, aunque las superficies permitidas aumentaron, las superficies sembradas decrecieron de 6430.62 ha hasta 4793.59 ha. Para el 2014 la superficie de siembra permitida fue de 80,000 ha (CIBIOGEM, 2012, 2013, 2014).

4.1.3. Marco Regulatorio OGM

En México, existen leyes, normas y acuerdos generales y específicos aplicables al tema de los OGM. Dentro del marco normativo general se encuentran:

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), contempla en algunos de sus ítems el uso de agroquímicos y demás materiales sujetos al cumplimiento de Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Establece además evaluaciones de impacto y regulación de actividades altamente riesgosas, pero dentro de éstas no se consideran riesgos de biotecnología moderna.

La Ley Federal de Protección al Consumidor dispone que todo proveedor de bienes o servicios está en la obligación de aportar la información que de forma directa o indirecta implique inexactitud, omisión, ambigüedad, exageración o que por cualquier otra circunstancia pueda inducir al consumidor a engaño, error o confusión sobre componentes o ingredientes que integran el producto, así como los beneficios e implicaciones de su uso.

La Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) como su nombre lo indica, se encarga de promover y regular la sanidad vegetal, contiene algunos criterios en relación a OGM enunciando que este tipo de “genotipos modificados artificialmente tienen capacidad de transferir a otro organismo genes recombinantes con potencial de presentar efectos previsibles e inesperados”.

Programa Nacional de Biotecnología Agropecuaria dedicado en parte a la planeación de acciones fitosanitarias enfocadas a proteger al país de la introducción de plagas y enfermedades.

4.1.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995

Desarrollada con el objeto de establecer el control de la movilización dentro del territorio nacional, importación, liberación y evaluación en el medio ambiente o pruebas experimentales de organismos manipulados por ingeniería genética para usos agrícolas.

4.1.3.2. Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y su reglamento

Tiene el objetivo de regular las actividades de utilización confinada, liberación en los programas experimental, piloto y comercial, así como aquellas relacionadas con la comercialización, importación y exportación de OGM. Todo ello dirigido a 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 (DOF, 2005).

Esta Ley está regulada por el *Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados* (RLBOGM) publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de marzo del año 2008 (DOF, 2008). El RLBOGM contiene información relacionada con: solicitud, revisión, requisitos, vigencia y autorizaciones de permisos y criterios de importación y exportación de OGM, comités técnicos, zonas restringidas e información sobre bioseguridad (DOF, 2008).

4.1.3.3. NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013

Establece las características y contenido del reporte de resultados de la o las liberaciones realizadas de organismos genéticamente modificados, en relación con los posibles riesgos para el medio ambiente y la diversidad biológica y, adicionalmente, a la sanidad animal, vegetal y acuícola. Esta Norma Oficial Mexicana aplica para liberaciones de OGM en etapa experimental o piloto.

En esta norma, se aplican los principios establecidos en el artículo 9 de la LBOGM, los cuales consideran que el titular del permiso, debe incluir todas las pruebas de estudios y

evaluación de riesgos de cada una de las liberaciones, con base en el principio paso a paso y dichos resultados deben estar sustentados científica y técnicamente.

4.1.3.4. PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014.

Se refiere a las especificaciones generales de etiquetado de organismos genéticamente modificados que sean semillas o material vegetativo destinados a siembra, cultivo y producción agrícola. Es aplicable tanto a las personas físicas como morales cuyo interés sea realizar siembra, cultivo y producción agrícola con OGM. Establece características generales del etiquetado relacionadas con la información a incluir y señala que la información debe ser veraz y objetiva, visible y fácilmente legible, estar escrita en idioma español y estar fijada al envase para que permanezca disponible hasta la distribución o venta del producto que contiene OGM, entre otros aspectos.

4.1.3.5. Procedimiento de evaluación de inocuidad de OGM destinados al uso o consumo humano, procesamiento de alimentos, biorremediación y salud pública

Tiene como objetivo realizar una evaluación de la inocuidad de OGM con el fin de “verificar si el nuevo alimento es igualmente seguro y no menos nutritivo que el producto homólogo convencional con el que se le compara” (COFEPRIS, 2008). Dentro del proceso de evaluación paso por paso se analizan factores relacionados con: identidad, origen, composición, fecha de elaboración/cocción para consumo, ADN recombinante, proteínas expresadas por el nuevo ADN (incluidas toxicidad y alergénicas), posibles efectos secundarios, entre otros (COFEPRIS, 2008).

4.1.3.6. ACUERDOS

- a) Acuerdo en el que se autoriza a la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) la creación del Comité Técnico Científico en materia de OGM, cancelando la aplicación de la NOM-056-FITO-1995.

- b) Acuerdo por el que se determina la información y documentación que debe presentarse en el caso de realizar actividades de utilización confinada y se da a conocer el formato único de avisos de utilización confinada de organismos genéticamente modificados.
- c) Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz: Incluye a las especies, sus parientes silvestres, subespecies y variedades de los géneros *Zea* y *Tripsacum*; así como sus medidas de protección. Además se determinan como centros de diversidad y origen, las áreas geográficas de los Estados de Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (DOF, 2012).

4.1.4. Entidades en materia de bioseguridad de OGM en México

4.1.4.1. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)

Es una entidad federativa creada para establecer las políticas de seguridad de la biotecnología específicamente en el uso de Organismos Genéticamente Modificados. Esta entidad está integrada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Secretaría de Salud, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Educación Pública (SEP) y Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). Se debe destacar que la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (DOF, 2005) establece responsabilidades para cada una de las entidades participantes de la siguiente manera:

4.1.4.2. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA)

SENASICA es un órgano descentralizado de la SAGARPA, cuyo fin es proteger los recursos agrícolas, acuícolas y pecuarios de plagas y enfermedades. La SAGARPA está

facultada para realizar análisis y evaluación caso por caso de los posibles riesgos a la sanidad animal, vegetal y acuícola, al medio ambiente y a la diversidad. Además se encarga de resolver y expedir permisos a actividades relacionadas con OGM que no pongan en riesgo ningún organismo de su competencia, de lo contrario esta entidad puede suspender algún permiso.

4.1.4.3. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

Está facultada para analizar y evaluar caso por caso los posibles riesgos de liberación de OGM. Adicionalmente se encarga de resolver, expedir y en su caso suspender permisos de liberación de OGM y realizar el monitoreo de los efectos que pudieran ocasionar los OGM al ambiente.

4.1.4.4. Secretaria de Salud

Está facultada para el desarrollo de actividades relacionadas con OGM que puedan poner en riesgo la salud humana. Por lo tanto realizan evaluación caso por caso de los estudios que presentan los interesados en liberar OGM. Además, pueden solicitar suspensión de autorizaciones cuando haya evidencia científica de que estos pueden afectar a la salud humana.

4.1.4.5. Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP)

Facultada para regular la importación de OGM y aquellos productos que los contengan. Su función se basa en la verificación de la documentación de ingreso de OGM.

4.2. CONCLUSIONES CAPITULO 4

Identificar el panorama de la problemática en la bioseguridad en México permitió conocer el impacto de los OGM en el medio ambiente, la salud y en el factor económico en el campo agrícola.

El marco normativo en el tema de bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, con base en criterios internacionales proporciona el principal eje de evaluación y control de posibles riesgos a partir de los OGM a la salud, al medio ambiente y a la biodiversidad en México.

Es conveniente dar un carácter de obligatoriedad a los protocolos relacionados con evaluación del riesgo en alimentos, considerando la importancia que tiene el tema en el debate riesgos-beneficios de los OGM en la salud en México.

*Capítulo 5. Evaluación del riesgo en
Organismos Genéticamente
Modificados (OGM)*

A pesar de los beneficios demostrados de los organismos genéticamente modificados (OGM) y de sus posibles aplicaciones a futuro existe interés acerca de los riesgos probables y de sus efectos potenciales en el medio ambiente, la salud y en la economía (Yang *et al.*, 2009). La evaluación del riesgo asociado a OGM no es una tarea sencilla debido a la complejidad de los ecosistemas y a la necesidad de evaluar riesgos en diferentes escalas espaciales y temporales (Yang *et al.*, 2009; Herman, 2010; Breckling, *et al.*, 2011). Para evaluar el riesgo se identifican las condiciones que pudieran ocasionar efectos adversos, se evalúan las consecuencias potenciales, su posibilidad de ocurrencia, la estimación del riesgo y su forma de mitigación (König *et al.*, 2004; Varzakas *et al.*, 2007).

En el proceso de evaluación del riesgo en primer lugar, se identifica si existe alguna característica nueva relacionada con el OGM que pueda tener efectos adversos en la diversidad biológica o en la salud humana o animal. Posteriormente, se realiza una evaluación de la posibilidad de ocurrencia de dichos efectos considerando nivel y tipo de exposición del medio receptor. Seguidamente, se evalúan las consecuencias en caso de ocurrencia del efecto adverso y se efectúa una estimación del riesgo. Finalmente, se realiza una recomendación basada en la aceptabilidad de los riesgos y de ser necesario, se adoptan mecanismos de gestión de los riesgos que sirvan de soporte cuando no se tenga certeza del nivel de riesgo (Protocolo de Cartagena, 2000; DOF, 2005).

La evaluación de riesgos debe considerar datos técnicos y científicos relacionados con:

- a) Características biológicas del organismo receptor u organismos parentales: taxonomía, nombre común, origen, centros de origen, diversidad genética y tipos de hábitat donde pueden proliferar.
- b) Características de los organismos donantes como su taxonomía y nombre común.
- c) Identidad y fuente de origen del vector y el área de distribución de sus huéspedes.
- d) Características genéticas del ADN insertado y de la modificación realizada.
- e) Identidad del OGM y las diferencias entre las características del OGM y el receptor.
- f) Métodos de detección e identificación del OGM.

- g) Información relacionada con el uso que se le pretende dar al OGM y su diferenciación con el organismo receptor u organismo parental.
- h) Información relacionada con las características climáticas, geográficas y ecológicas de la zona en la que se liberará el OGM. (Protocolo de Cartagena, 2000).

5.1. Evaluación del riesgo en alimentos provenientes de OGM

La evaluación del riesgo en alimentos obtenidos a partir de cultivos genéticamente modificados se ha realizado siguiendo el mismo protocolo aplicado en el desarrollo de nuevos productos, atendiendo al criterio de equivalencia sustancial, en el que se considera que un alimento GM tiene características químicas, agronómicas, macro y micronutrientes y toxinas clave, equivalentes a las de alimentos tradicionales (König *et al.* 2004).

Los alimentos GM pueden contener dos clases de sustancias: proteicas y no proteicas, cuyo uso intencional o no intencional origina efectos potenciales. Las sustancias proteicas se introducen inicialmente a la modificación genética, por ello se conocen como productos primarios de genes. Las sustancias no proteicas o productos secundarios de genes, son producidas por vías metabólicas catalizadas por la introducción de proteínas (Chao y Krewski, 2008).

Los efectos potenciales considerados en la evaluación del riesgo en alimentos involucran toxicidad, anti-nutrición y alergenicidad. Los efectos tóxicos y antinutricionales pueden ser ocasionados por cambios intencionales (predecibles) o no intencionales (fuera de lo previsto). Los cambios intencionales cumplen con límites basados en márgenes de exposición y se relacionan con la introducción intencional de determinada sustancia en el cultivo GM. Los cambios no intencionales presentan indicadores de expresión no esperada o nuevas sustancias. En la evaluación de la actividad alergénica se verifica que una sustancia pueda o no causar reacciones alérgicas. Además, se considera la alergenicidad

de la fuente genética, del gen receptor y la naturaleza de la proteína que involucra el recurso genético (Chao y Krewski, 2008).

La identificación del riesgo en alimentos genéticamente modificados involucra la caracterización del cultivo pariente y los riesgos asociados a éste. Además considera las consecuencias potenciales al realizarse transferencia de genes de un evento a microbios o humanos. De igual forma, se requiere caracterizar el potencial de toxicidad y alergenicidad de las proteínas introducidas, así como los cambios que podrían generarse con base en la evaluación toxicológica (König *et al.* 2004).

5.1.1. Métodos de evaluación del riesgo en alimentos GM

La evaluación del riesgo se enfoca en prever los riesgos potenciales de los alimentos GM en aspectos relacionados con toxicidad, alergenicidad y nutrición (König *et al.*, 2004; Chao y Krewski, 2008). La evaluación de la toxicidad se puede realizar investigando la relación entre la estructura y actividad de los indicadores de toxicidad y alergenicidad potencial, o también mediante métodos *in vitro*, con pruebas en animales y practicando el monitoreo post-comercio.

Durante el estudio de relación entre estructura y actividad de indicadores de toxicidad y alergenicidad potencial se realiza una descripción de las propiedades físico-químicas de las moléculas del alimento con el fin de detectar su potencial de toxicidad. Generalmente, se realizan pruebas computarizadas que permiten evaluar si la molécula tiene o no características de toxicidad conocidas. Para la evaluación de la alergenicidad de los alimentos se considera seguir un protocolo similar a la detección de toxicidad (FAO, 2001; König *et al.*, 2004).

Los métodos *in vitro* sirven para visualizar el potencial de toxicidad de un determinado compuesto. Los estudios de toxicidad en animales se realizan considerando su estructura

molecular, función y resultados de toxicidad in vitro, cumpliendo con criterios éticos establecidos en las regulaciones para pruebas en animales. Este tipo de pruebas se realizan para determinar dosis-respuesta de una sustancia en un período determinado, con el fin de visualizar los posibles riesgos de exposición a esta sustancia en humanos. Este método es muy utilizado en la evaluación de OGM (König *et al.*, 2004).

El monitoreo post-comercio o post-mercado se realiza una vez que se encuentra el producto en el mercado. Con este método se monitorean posibles reacciones en humanos, permitiendo a las compañías productoras confirmar la ausencia de efectos adversos específicos en determinado alimento (König *et al.*, 2004; Varzakas *et al.*, 2007).

5.1.2. Seguridad Alimentaria

A partir del desarrollo de los OGM se han cuestionado criterios relacionados con sus ventajas y desventajas frente a alternativas tradicionales (Azadi y Ho, 2010; Makita, 2012), la percepción del consumidor (Ueland *et al.*, 2012; Frewer *et al.*, 2013) y la evaluación del riesgo de OGM (Varzakas *et al.*, 2007; Chao y Krewski, 2008).

Una de las razones principales para el desarrollo de OGM se ha basado en mejorar el rendimiento en la producción de cultivos y aumentar la disponibilidad de alimentos, además de una reducción de las aplicaciones de plaguicidas. Sin embargo, la baja disponibilidad de estudios que corroboren sus beneficios, ocasionan brechas que justifiquen ésta como una mejor alternativa. Es por ello que en otras regiones, se promueve más como alternativa el uso de la agricultura orgánica (Azadi y Ho, 2010).

Los cultivos orgánicos tienen las características de manejar un sistema ambientalmente amigable y proporcionar alimentos libres de agroquímicos. Además, permiten a los agricultores autoabastecerse y suministrar su sistema agrícola. Sin embargo, la dificultad para reaccionar ante factores externos como los cambios climáticos

y la imposibilidad de realizar producción de alimentos en mayor escala, ha complicado el desarrollo de este tipo de mercados (Azadi y Ho, 2010).

5.1.3. Equivalencia sustancial

El concepto de equivalencia sustancial ha sido establecido con el fin de considerar que las variedades de cultivos genéticamente modificados son equivalentes a las variedades convencionales en cuanto a su potencial uso seguro. Dependiendo de las características que se identifiquen, se requerirán hacer determinadas pruebas de evaluación toxicológica y alergénica para su uso (FAO, 2000; Kiuper *et al.*, 2002).

La evaluación de equivalencia sustancial se mide a través de parámetros agronómicos de la planta como son altura, color y orientación de la hoja, entre otros. Posteriormente, se evalúan en laboratorio características de composición, nutricionales, toxicológicas y alergénicas. Las características de composición permiten analizar el contenido de vitaminas, proteínas y minerales. En las características nutricionales se consideran aspectos como fibra, aminoácidos, almidón, ácidos grasos y contenido de azúcar, entre otros. En relación a características toxicológicas y alergénicas, se evalúan efectos potenciales realizando para ello experimentación en animales (Aumaitre *et al.*, 2002; Hothorn y Oberdoerfer, 2006).

En la evaluación de la seguridad, algunos lineamientos comprenden aspectos generales a considerar, listas de nutrientes y sustancias tóxicas clave, así como características de la composición de productos específicos como maíz, soya, arroz y algodón (FAO/OMS, 2006 FAO, 2000y 2001; Aumaitre *et al.*, 2002). Existen investigaciones enfocadas a corroborar la aplicación del criterio de equivalencia sustancial (Herman *et al.*, 2007; Lundry *et al.*, 2008). Sin embargo, ha habido casos de estudio en los que se han evaluado los efectos en la salud, a través de experimentación en animales para

demostrar que los métodos usados para asumir la equivalencia sustancial son aún insuficientes (Pusztai *et al.*, 2003).

5.1.4. Principio Precautorio

Este principio enuncia que cuando exista sospecha de peligro de daños graves o efectos adversos de un OGM en la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica, así como riesgos a la salud, la falta de información o suficiencia científica, no deberá usarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir daños a la salud y la degradación del medio ambiente (CNUMAD, 1992).

5.1.5. Evaluación caso por caso y paso a paso

Se considera que cada OGM tiene sus propias características y ha sido desarrollado para un fin específico. Atendiendo a ello, se ha establecido que la autorización de determinado cultivo GM debe realizarse evaluando caso por caso y paso a paso (DOF, 2005). Analizar *caso por caso*, comprende realizar una evaluación individual del OGM, sustentada en evidencia científica y técnica. Dicha evaluación considera aspectos relacionados con antecedentes de estudios realizados con el mismo OGM, organismo receptor y área de liberación, entre otros (DOF, 2005).

Paso a paso es un enfoque metodológico que se aplica a todo OGM destinado a ser liberado de forma comercial. Establece, que para ello, dicho OGM debe ser previamente sometido a pruebas satisfactorias conforme a estudios de evaluación de riesgos y reportes de resultados aplicables en la realización de actividades de liberación en programas experimental y piloto (DOF, 2005; COFEPRIS, 2008).

5.1.6. Percepción Pública: estudio de caso

5.1.6.1. INTRODUCCIÓN

El tema de la biotecnología aplicada en el desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados se ha convertido en un asunto de interés a nivel general. La participación de toda la población y el desarrollo de estudios de percepción permiten conocer las necesidades y requisitos del consumidor, así como su conocimiento respecto al tema. Los estudios de percepción proporcionan un punto de partida para el desarrollo de actividades que permitan transmitir la información global entorno al tema OGM e involucrar realmente a la sociedad en la toma de decisiones acerca del mismo.

El desarrollo de OGM ha suscitado un debate en relación a beneficios y riesgos potenciales para el campo agrícola, el medio ambiente y la salud (Ruane y Sonnino, 2011, Houshyani, 2012; Kos, 2012). Para conocer de forma más detallada la percepción pública entorno al debate de los OGM se realizó un estudio de caso aplicado a estudiantes de último año de Licenciatura y Posgrado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

5.1.6.2. MATERIALES Y MÉTODOS

a) Selección de la muestra y definición del constructo

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en el municipio de San Luis Potosí. Se tomaron muestras de grupos de estudiantes que cursaban último año académico de licenciatura, así como estudiantes de Maestría y Doctorado. En licenciatura, los programas académicos varían en tiempos de titulación que van desde cuatro (séptimo y octavo semestre) y cinco años (novenos y décimo semestre). Por lo tanto, se tomaron muestras en semestres que coincidieran con estos años de estudio. Para el análisis de percepción se construyó un cuestionario tipo Likert, que

inicialmente comprendió 40 reactivos y 6 dimensiones. El cuestionario se aplicó a un total de 504 estudiantes en una edad promedio de 23 años.

b) Revisión por jueces y validación

La siguiente fase fue la estructuración de un documento de validación, verificación y emisión de comentarios por jueces. Para tal fin, el documento involucró las especificaciones de cada una de las dimensiones, reactivos y forma de operación. Se proporcionó a cada juez el cuestionario tipo Likert, la explicación de la escala utilizada y una planilla de revisión que debía llenar cada evaluador experto según reactivo, dimensión, pertinencia del enunciado, redacción y lenguaje (Anexo 2). Esta evaluación del instrumento fue realizada por expertos en disciplinas de Biotecnología, Agronomía y Biología Molecular.

c) Pilotaje

Posteriormente se realizó una fase de pilotaje, aplicando el instrumento validado a un grupo muestra de 30 estudiantes de diferentes carreras, con el fin de analizar la pertinencia y claridad del instrumento. Los datos obtenidos fueron incluidos en una base de datos, usando para ello el software IBM SPSS Statistic 21, fabricado por International Business Machines Corp (IBM). El programa SPSS permite realizar análisis estadísticos y de predicción. Su aplicación en este estudio, permitió obtener una validación del grado de asimilación del cuestionario y de pertinencia de los enunciados.

El instrumento fue sometido a análisis de las propiedades psicométricas, dicha valoración fue realizada por Maestros y Doctores en Psicología con experiencia en la elaboración de escalas tipo Likert. La consistencia del instrumento fue evaluada utilizando el Coeficiente Alfa de Cronbach, método empleado para determinar la fiabilidad o grado de precisión del test.

d) Modificaciones al cuestionario y estructura final

Los resultados de las validaciones y el pilotaje permitieron realizar mejoras al instrumento final. Para tal fin, se identificó la relación de los reactivos con las dimensiones

establecidas y se analizó la pertinencia en el uso de los reactivos. Como resultado se obtuvo un cuestionario final con 30 reactivos y 5 dimensiones que fueron aplicados a la muestra final de estudiantes. La escala valorativa de medición se estableció desde 1 a 5 permitiendo dar flexibilidad al encuestado al momento de decidir su nivel de actitud en el intervalo “acuerdo o desacuerdo” con cada uno de los reactivos. La escala incluía las siguientes opciones de respuesta:

1. Totalmente en desacuerdo
2. Algo en desacuerdo
3. Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
4. Algo de acuerdo
5. Totalmente de acuerdo.

e) Aplicación del cuestionario

Para la aplicación del cuestionario se contó con el apoyo y permiso de profesores y personal administrativo de la UASLP. Por tal razón, se realizaron solicitudes verbales y/o escritas explicando el objetivo de la investigación.

Las aplicaciones del instrumento se realizaron de la siguiente forma: acceso a los grupos de clase, explicación del objetivo del estudio y de la estructura del cuestionario, de la forma de llenado y de la escala de valoración según el criterio del encuestado. Los encuestados mostraron interés en el tema y disposición al momento de responder el cuestionario.

f) Interpretación de resultados

Aplicados los cuestionarios se incluyó la información en base de datos, usando para ello el programa IBM SPSS Statistics 21, que facilita el manejo de las variables al usar escalas tipo Likert.

5.1.6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Muestra

El estudio se llevó a cabo desde marzo hasta octubre del año 2014, el cuestionario tipo Likert fue aplicado a estudiantes de 37 carreras de licenciatura y 2 posgrados en la UASLP. Las carreras se agruparon por áreas afines, tomando como base la distribución de facultades aplicada en la UASLP. Se obtuvo una clasificación de ocho áreas: Agronomía, Ciencias, Ciencias de la Salud, Ciencias Químicas, Derecho y Ciencias Sociales, Economía y Comercio, Ingeniería y Arquitectura y Posgrado. Cada área está integrada por una serie de carreras a fin como se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Áreas y carreras utilizadas como muestra de estudio

Área	Carreras que conforman el área
Agronomía	Ing. Agroecólogo, Veterinaria y Zootecnia, Ing. Agrónomo en producción de invernaderos, Ing. Agrónomo zootecnista, Ing. Agrónomo Fitotecnista.
Ciencias	Ing. en telecomunicaciones, Ing. Electrónica, Ing. en Informática, Ing. en Computación, Ciencias Ambientales y Salud, Biología, Física, Ing. Biomédica, Ing. en Nanotecnologías y E. Renovables,
Ciencias de la Salud	Nutrición, Médico en Estomatología, Enfermería, Psicología, Medicina
Ciencias Químicas	Lic. Química, Químico Farmacobiólogo, Ing. en Bioprocesos
Derecho y Ciencias Sociales	Geografía, Historia, Lengua y Literaturas hispanoamericanas, Antropología, Derecho
Economía y Comercio Internacional	Economía, Comercio y Negocios Internacionales
Ingeniería y Arquitectura	Ing. Ambiental, Ing. Mecatrónica, Ing. Civil, Ing. Geomatica, Ing. en Topografía, Ing. en Electricidad, Ing. Mecánica, Ing. Mecánico Administrador, Arquitectura
Posgrado	Maestría (M) en Tecnología y Gestión del Agua, M. en Ciencias Biomédicas

b) Validación por Jueces y Pilotaje

El instrumento contenía inicialmente 40 reactivos distribuidos en 6 dimensiones correspondientes a: divulgación de la información, aplicación de OGM en la agricultura, impactos al medio ambiente, etiquetado, consumo de productos con contenido GM y aspecto económico. Adicionalmente, para la revisión por los jueces se estructuró un documento que contenía información relacionada con la dimensión, reactivos y operacionalización: estructuración de variables a medir (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Dimensiones y estructuración de variables

Dimensión	Operacionalización	Reactivos
Divulgación de la información: Suficiencia y credibilidad en la información difundida	Difusión de la información: información emitida en diferentes medios de comunicación o a través de foros y seminarios por parte de instituciones gubernamentales en relación a los OGM. Credibilidad: confianza del receptor en relación a la información presentada por los diferentes medios.	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7
Aplicación de OGM en la agricultura: conocimiento de las ventajas y desventajas en el campo agrícola.	Uso de agroquímicos: reducción o incremento en su aplicación en los cultivos. Impacto en el suelo: fertilidad para su uso en otros cultivos. Rendimiento: mejora en las condiciones económicas del productor y como resultado de ellos, las condiciones del país. Condiciones de escasez: resistencia de los OGM en condiciones extremas y reducción de uso de recursos materiales y humanos.	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16
Impacto en el medio ambiente: características relacionadas con protección de variedades, dispersión de polen, impacto de agroquímicos y resistencia de insectos.	Varietades nativas: protección por posible dispersión de polen de OGM a variedades no objetivo. Agroquímicos: reducción o aumento de impactos al ambiente por daños de agroquímicos. Resistencia de insectos: posibilidad que los insectos generen defensas al tener contacto con un OGM destinado para el control de insectos	17,18, 19, 20 y 21
Etiquetado de productos con contenido GM: selección y confianza del consumidor al elegir el producto.	Selección del consumidor: posibilidad del consumidor de elegir o no el adquirir productos con contenido GM	22 y 23
Consumo del producto: beneficios y riesgos potenciales en el consumo de alimentos con contenido GM	Impactos a la salud: ventajas en el contenido vitamínico y proteico del producto y desventajas en el desarrollo de nuevas toxinas y alérgenos. Durabilidad del producto: incremento en la vida útil del producto en anaquel.	24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33
Aspecto económico: OGM como alternativa rentable para cualquier tipo de productor.	Acceso de productores: factibilidad económica para que los productores de cualquier tamaño puedan elegir sembrar con OGM. Beneficios económicos: mejora de ingresos para el productor y las compañías. Reducción de costos por manejo de recursos	34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40

La revisión por cada juez fue efectuada llenando una “plantilla de revisión” con aspectos relacionados con: identificación de actitudes de actores, pertenencia a la dimensión evaluada, errores ortográficos y lenguaje adecuado (Anexo 2).

c) Modificación y revisión final del cuestionario

Los resultados de la valoración por jueces y pilotaje fueron determinantes para realizar modificaciones en el instrumento. Lo anterior, permitió eliminar 10 reactivos por considerarse no pertinentes para ser contestados por los encuestados. El instrumento

final constaba de 30 reactivos distribuidos dentro de 5 dimensiones: divulgación de la información, aplicación de OGM en la agricultura, impacto en el medio ambiente, uso de etiquetas en productos con OGM y consumo de productos con contenido GM (Anexo 3). Otorgando puntuaciones a cada reactivo según su estructura en forma positiva (5-1) o negativa (1-5) se estableció una escala de valoración y se aplicó a todos los datos (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Puntuación por reactivo según estructura positiva (+) o negativa (-)

Escala	Puntos	
	(+)	(-)
Totalmente de acuerdo	5	1
Algo de acuerdo	4	2
Ni en acuerdo, ni en desacuerdo	3	3
Algo en desacuerdo	2	4
Totalmente en desacuerdo	1	5

Con base en el número de reactivos por dimensión y en las puntuaciones según el tipo de enunciado (positivo – negativo) se construyeron puntuaciones máximas y mínimas por dimensión (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Puntuaciones por dimensión para medir actitud

Dimensión	Numero de reactivos	Puntuación Máxima	Puntuación Mínima
Divulgación de la información	5	25	5
Aplicación de OGM en la agricultura	5	25	5
Impacto de los OGM en el medio ambiente	7	35	7
Uso de información visible (etiquetas) en productos con contenido GM	2	10	2
Uso de OGM para consumo	11	55	11

Con base en la puntuación por dimensión, se establecieron intervalos y una escala final de cuatro actitudes: muy favorable, favorable, desfavorable y muy desfavorable, que se utilizó para la interpretación de los resultados

d) Análisis de fiabilidad

El Coeficiente Alfa de Cronbach indica que existe confianza suficiente en el instrumento que se utiliza si se obtiene un alfa de 0.70 o más. Con base en los resultados

del estudio y usando el programa SPSS se obtuvo un Alfa de 0.756. Esto indica que existe consistencia en el instrumento para medir la percepción pública en relación al tema OGM.

e) Interpretación de resultados

Una vez establecidos los intervalos y las puntuaciones por dimensión se procedió a realizar el análisis estadístico en el programa SPSS y una comparación por dimensión y áreas de la siguiente manera:

En la dimensión *divulgación de la información*, los ítems se estructuraron con el fin de conocer actitudes en relación a: suficiencia y disponibilidad de información, confianza en la información emitida en diferentes medios de comunicación y participación ciudadana en el desarrollo de regulaciones en el tema.

Con base en los datos analizados se observó que la tendencia general de la dimensión fue hacia la “favorabilidad” con un porcentaje de 76% de la muestra total. Esto indica que se considera suficiente la información difundida en relación a las ventajas y desventajas de OGM; sin embargo, hay poca confianza en relación a la información que emiten los medios de comunicación, además se considera poca la información emitida por las instituciones participantes en el tema.

Los resultados coinciden con los reportados por Beckwith *et al* (2003), enfatizando que existe desinformación; por lo que es necesario mantener al público informado acerca de los beneficios y riesgos en el uso de los OGM. Para tal fin, el desarrollo de foros, cursos extra o conferencias podrían ampliar el panorama e incrementar el nivel de información del consumidor (Twardowski y Malyska, 2012).

Adicionalmente, en relación a la participación ciudadana en la regulación y considerando preguntas de contexto realizadas en el mismo cuestionario, se encontró que existe poco conocimiento al respecto. La actitud favorable es más representativa en

posgrado, agronomía, ciencias químicas y economía y comercio con un porcentaje aproximado del 80% (Fig. 5.1).

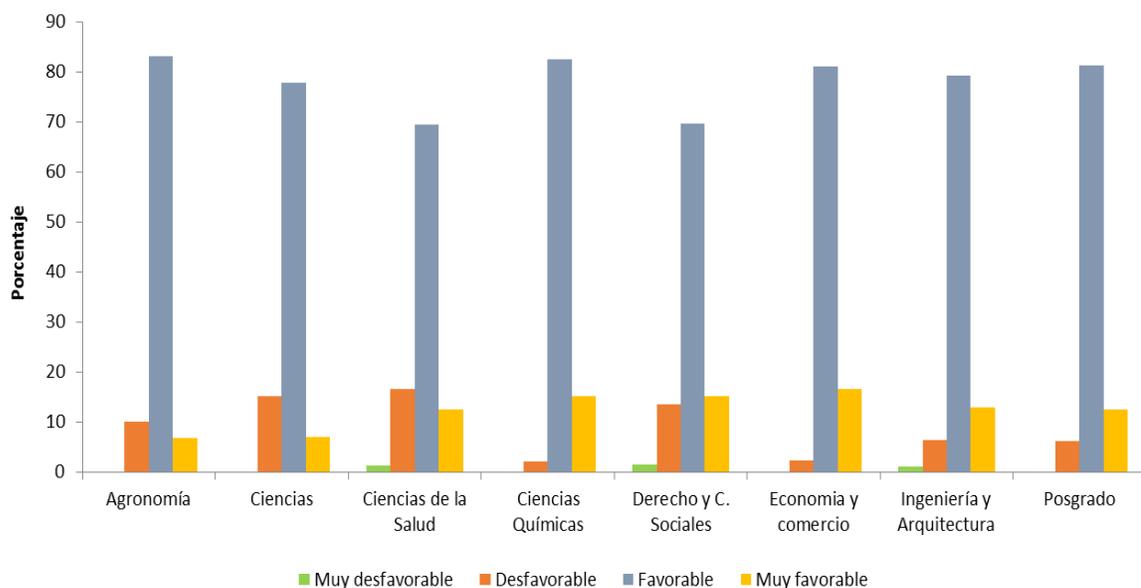


Figura 5.1 Actitud información relacionada con OGM y su porcentaje por áreas

La dimensión *aplicación de OGM en la agricultura*, permitió verificar el grado de conocimiento del encuestado en relación a: los OGM como alternativa para mejorar la rentabilidad de cultivos agrícolas, la resistencia de las plantas a condiciones extremas, la calidad de alimentos como el maíz y el posible impacto de los OGM en cultivos aledaños. La tendencia en la dimensión se orientó hacia una actitud favorable, lo que indica que las personas consideran que los OGM pueden ser una alternativa para incrementar el rendimiento de cultivos agrícolas, así como representar una opción para la resistencia de cultivos a condiciones extremas y aportar a impulsar la agricultura en el país. Sin embargo se desconoce que tanto los OGM inciden en la calidad de los alimentos o si la siembra de OGM podría afectar los cultivos aledaños (Fig. 5.2).

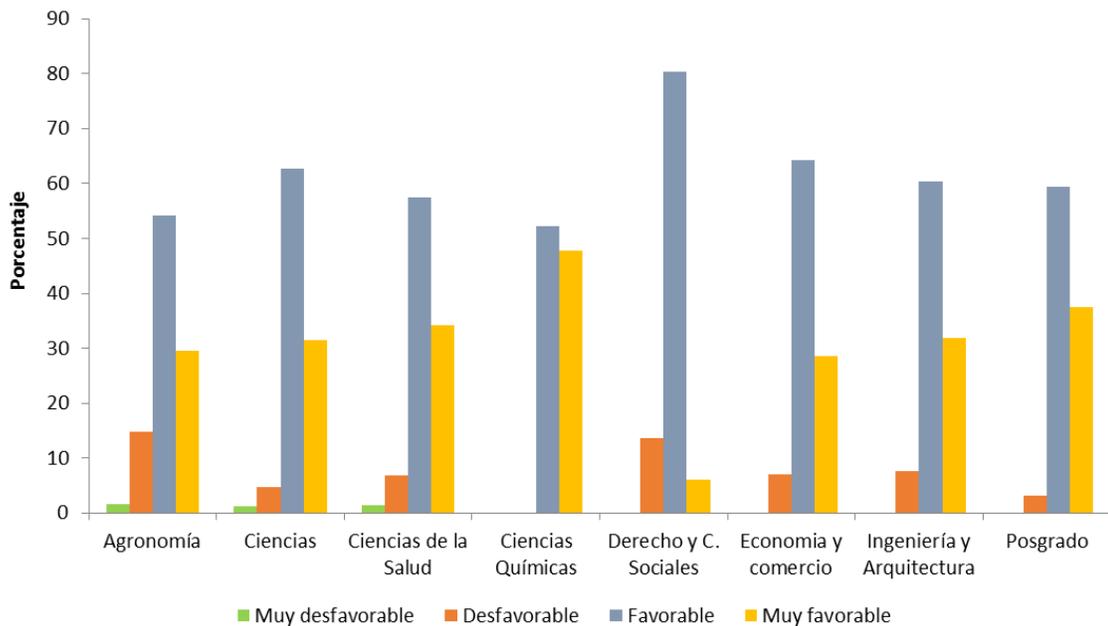


Figura 5.2 Actitud aplicación de OGM en la agricultura y su porcentaje por áreas

Con la dimensión *impacto en el medio ambiente*, se buscó conocer la información que manejaba el encuestado en relación a: las ventajas y/o desventajas del uso de OGM sobre el medio ambiente, los potenciales impactos en especies no objetivo y el uso de agroquímicos e impactos en el suelo. La tendencia de actitudes a nivel dimensión fue “favorable”, sobresaliendo los porcentajes a nivel de posgrado (87,5%) así como en el área de Ciencias (81,9%) (Fig. 5.3).

Lo anterior indica que los participantes consideran que los OGM pueden representar un aporte al reducir la aplicación de insecticidas y por lo tanto, reducir el impacto de estos compuestos químicos en el ambiente. Sin embargo, se detalla desconocimiento por parte de los participantes en relación a si sembrar OGM ayuda a reducir o incrementar el uso de herbicidas, así como a los potenciales impactos en el suelo y a posibles especies no objetivo.

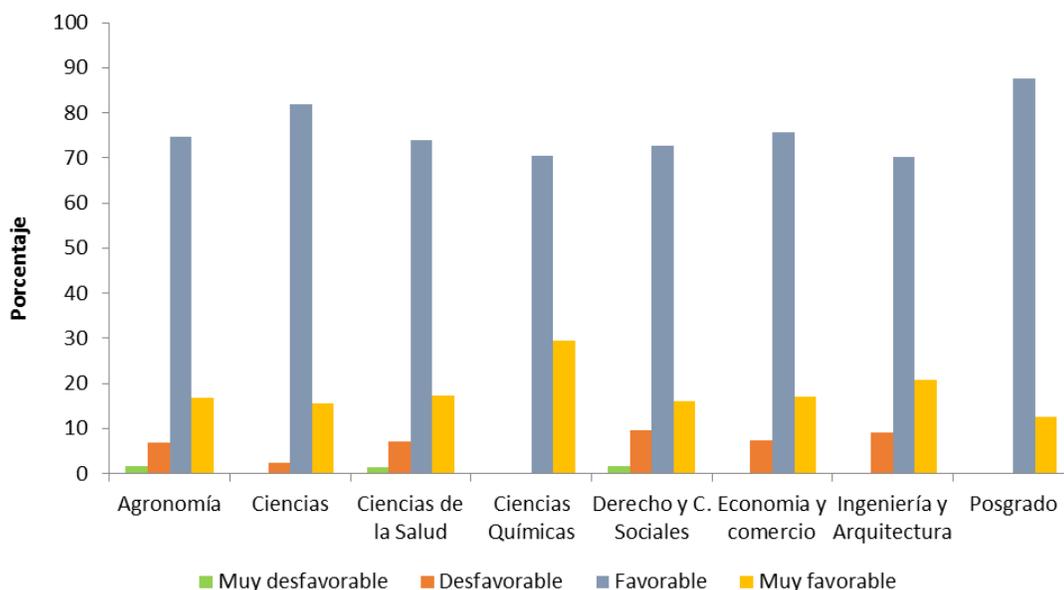


Figura 5.3 Actitud impacto de OGM en el medio ambiente y su porcentaje por áreas

En la dimensión *etiquetado de productos con contenido GM*, se conoció la opinión del consumidor en relación a la pertinencia de usar información visible como etiquetas o marquillas que enunciaran que determinado producto contenía ingredientes GM. La tendencia de actitudes fue “Muy favorable” en la que coincidieron 293 participantes, equivalente al 59% de la muestra total. Esta actitud fue seguida por “favorable” con un 34% de la muestra.

La actitud muy favorable indica que para los participantes es importante que los productos con contenido GM incluyan esta información visible en una etiqueta. Los encuestados coincidieron en que el uso de una etiqueta de contenido de OGM en productos de consumo, no ocasiona que los OGM puedan catalogarse como inseguros y sí ofrecen al consumidor la posibilidad de elegir entre adquirir dicho producto o no (Figura 5.4).

La actitud en las áreas coincidió hacia “muy favorable”, sin embargo, en las áreas que conforman Ciencias Químicas, la tendencia se orientó desde lo favorable a lo muy favorable. Se puede decir de modo general, que hay un asunto de interés general en esta dimensión “etiquetado” por el que independiente del perfil de la carrera de estudio, otro

factor importante está relacionado con la importancia que tiene para un consumidor el que un producto contenga información visible que le permita elegir entre seleccionarlo o no (etiqueta) (Fig. 8).

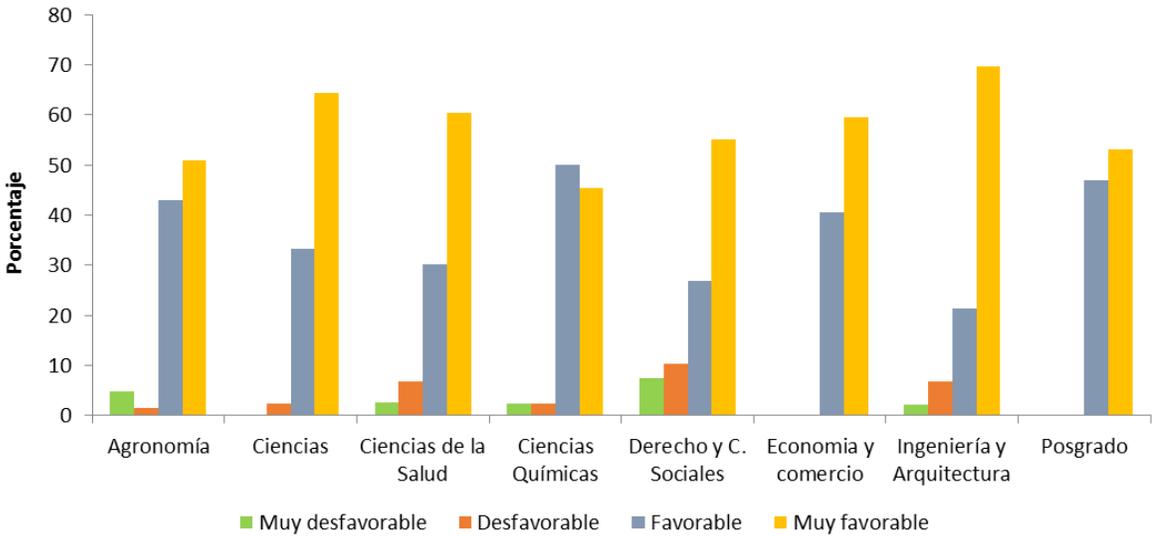


Figura 5.4 Actitud uso de etiqueta y su porcentaje por áreas

La última dimensión *uso de OGM para consumo humano*, permitió conocer la opinión del encuestado en relación a los beneficios y riesgos potenciales en el consumo de alimentos con contenido GM como son incremento en la vida útil del producto en anaquel, contenido vitamínico y desarrollo de nuevas toxinas y alérgenos. El 82,8% de los participantes tuvo actitud favorable en esta dimensión. Al realizar el análisis por área, la tendencia hacia la favorabilidad se mantuvo, alcanzando porcentajes entre 75 y 93% de los participantes (Fig. 5.5).

Las opiniones de favorabilidad se centraron en considerar que este tipo de alimentos pueden ser una alternativa para mejorar la disponibilidad y vida útil de los alimentos (período que éstos pueden mantenerse en condiciones de almacenamiento). Sin embargo, existe incertidumbre acerca de las ventajas o desventajas en el contenido vitamínico y nutricional de este tipo de alimentos y por ende hay incertidumbre en relación a la seguridad en el consumo de éstos alimentos. Adicionalmente, coincidiendo con Beckwith

et al (2003), se considera necesario incrementar la investigación científica respecto a posibles impactos en el consumo de alimentos GM a la salud humana.

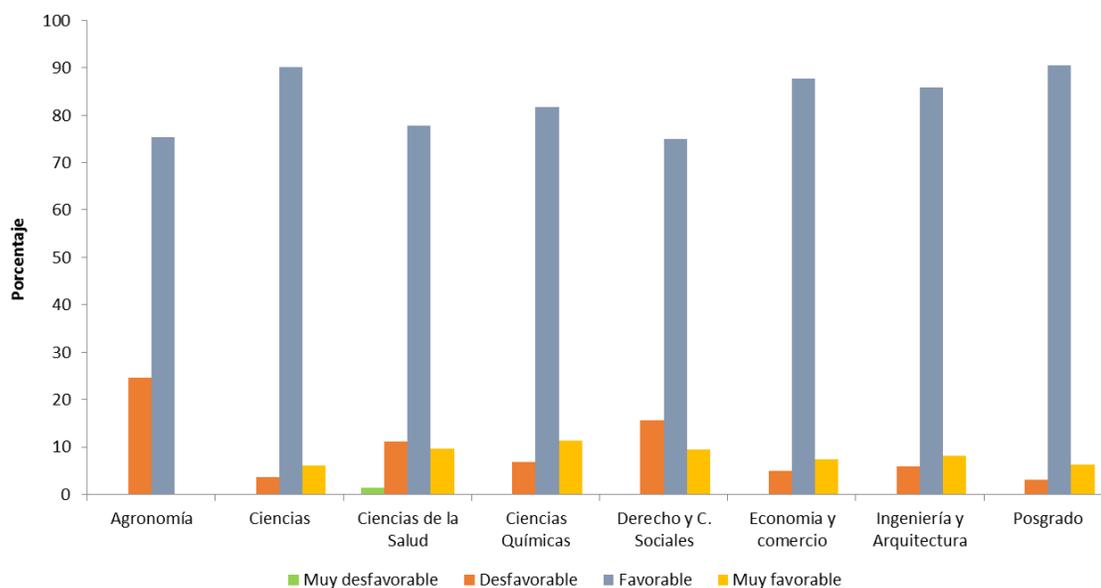


Figura 5.5 Actitud consumo de productos con contenido GM y su porcentaje por áreas

5.2. Medio Ambiente

La evaluación de riesgos representa un procedimiento de control importante hacia la toma de decisiones (Yang *et al.*, 2009). Se considera como evaluación del riesgo ecológico (ERA, por sus siglas en inglés Ecological risk assessment), la probabilidad de que actividades antropogénicas pudieran provocar efectos no deseados en animales, plantas y medio ambiente (INE, 2015). Con base en la ERA se fortalece la evaluación de riesgo ambiental a través de las siguientes etapas: formulación del problema incluyendo identificación del peligro, análisis y relación entre exposición y respuesta al riesgo, caracterización, estrategias de evaluación y comunicación del riesgo (EFSA, 2006; EFSA, 2010).

En los OGM, la evaluación de la seguridad a nivel ambiental incluye impactos potenciales directos como el flujo génico y polinización, cambios en la ecología, potencial incremento de malezas, impactos en especies no objetivo; e indirectos como: cambios en el régimen de control de semillas, efectos en la biodiversidad, reducción en la eficiencia en el control de plagas y efectos en suelo y agua (Breckling *et al.*, 2011; Herman *et al.*, 2013; Liang *et al.*, 2014). La siguiente investigación se enfocó en analizar la probabilidad de dispersión de polen, tomando como estudio de caso el maíz GM en Sinaloa.

5.2.1. Estudio de caso: Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT.

Adaptado de: ROBAYO-AVENDANO, Angélica y GALINDO-MENDOZA, María G. (2014). Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT. Agrociencia. vol.48, n.5, pp. 511-523. ISSN 1405-3195.

Para el año 2050, la población mundial se incrementará a nueve billones de personas lo cual implica tener capacidad para satisfacer la demanda de alimentos (Pushpangadan *et al.*, 2012). Los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) son una alternativa para mejorar la productividad de los cultivos, induciendo la resistencia a plagas (Ashraf y Akram, 2009; Wang *et al.*, 2010) y, además, aumentando el contenido de proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y micronutrientes (Ahmad *et al.*, 2012). Sin embargo, su aplicación requiere emplear medidas de bioseguridad entre las cuales se incluyen la protección al ambiente y a la biodiversidad (DOF, 2005).

El maíz ocupa el tercer lugar de los cultivos genéticamente modificados adoptados en el mundo (Clive, 2012). México tiene el cuarto lugar internacional en producción de maíz, el cual forma parte de la dieta básica de la población mexicana y es una fuente de empleo para agricultores de pequeña escala (Hellin *et al.*, 2013). Además, debido a su riqueza en parientes silvestres del maíz, México es considerado centro de origen y diversidad al

contar con un depósito único de recursos genéticos de este cultivo (DOF, 2012; Wolt, 2009).

Con el fin de preservar la calidad genética de especies nativas de maíz, se han establecido medidas de bioseguridad en el desarrollo de OGM para controlar la dispersión de flujo polínico a variedades no objetivo (Wolt, 2009). El polen de maíz se dispersa a través del viento (Messeguer, 2003) y su transferencia es afectada por aspectos relacionados con la sincronía en tiempos de floración, distancia de aislamiento y condiciones climáticas (Baltazar *et al.*, 2005; Bannert y Stamp, 2007).

El polen se libera desde las anteras en la parte superior de la planta, su diámetro oscila de 90 a 100 μm y su peso es de aproximadamente 0.25 μg (Aylor *et al.*, 2003; Fonseca *et al.*, 2003). Las partículas de polen pueden alcanzar alturas mayores a 100 m, límite en el cual la viabilidad es 20 %, pero al aumentar la altura la viabilidad de las partículas decrece (Viner y Arritt, 2010). Además, la viabilidad del polen depende de factores relacionados con su contenido de agua y condiciones climáticas (Fonseca y Westgate, 2005; Viner y Arritt, 2010). A temperaturas elevadas y humedades relativas (HR) bajas se reduce la viabilidad (Luna *et al.*, 2001; Aylor *et al.*, 2003; Arritt *et al.*, 2007) y con 20.7 °C y 75.7 % HR la viabilidad es 50 % en los primeros 44 min de trayecto de la partícula (Fonseca y Westgate, 2005). Los granos de polen pueden deshidratarse totalmente entre 1 a 4 h (Aylor *et al.*, 2003) y en ambientes de sequía su viabilidad decrece 20 % en 1 h y 100 % en 2 h de trayecto (Luna *et al.*, 2001).

La relación de viabilidad de la partícula y el potencial de cruce con otras variedades en diferentes distancias de aislamiento fue estudiado por Ricroch *et al.* (2009), Aheto *et al.* (2011) y Marceau *et al.* (2012) y hay diferentes tasas de polinización cruzada (Luna *et al.*, 2001; Goggi *et al.*, 2006; Bannert y Stamp, 2007). Según Goggi *et al.* (2006), en distancias de 100 m hay un cruce potencial entre variedades de 0.05 % y en 250 m es 0.03 %, mientras que Bannert y Stamp (2007) reportan 0.02 % de cruce en distancias de 50 a 4500 m.

En México, Luna *et al.* (2001) reportan que no ocurre polinización en distancias mayores a 200 m. Con base en ello se establecieron dos distancias de aislamiento para

liberaciones de OGM en cultivos de maíz en el país: 200 a 300 m desde el límite de maíz GM a cultivos híbridos para liberaciones en fase experimental, y 500 m para liberaciones en etapa piloto o pre-comercial. Además, un aislamiento temporal de 21 d si hay presencia de parientes silvestres o razas nativas en zonas circundantes (Luna *et al.*, 2001; SENASICA, 2013a, b). Además de los estudios en campo se usan modelos de simulación para analizar espacialmente la dispersión probable de polen en condiciones de vegetación heterogénea (Bunting y Middleton, 2005). Otros modelos describen estadísticamente datos de vegetación en mapas o validan modelos teóricos o de paisaje usando datos empíricos (Eklöf *et al.*, 2004; Fyfe, 2006). Sin embargo, cada modelo tiene limitaciones, desde el manejo de variables hasta el costo del modelo (Bunting y Middleton, 2005).

HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), desarrollado por Air Resources Laboratory (ARL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Draxler y Hess, 1997), es un sistema de modelado de trayectorias, dispersión y depósito de partículas. Considera dos tipos de análisis, el regresivo para determinar la fuente de origen del contaminante, y el análisis progresivo para conocer los sitios a donde llegará la partícula evaluada (Wen *et al.*, 2012; Sunnu *et al.*, 2013). Inicialmente el modelo se usó para medir el nivel de contaminación atmosférica (Wang *et al.*, 2010; 2011; Chen *et al.*, 2012), pero también se aplica en estudios de medición de concentración de partículas de polen (Hernández-Ceballos *et al.*, 2011; Efstathiou *et al.*, 2011).

El empleo de alternativas para establecer medidas de bioseguridad es importante, por lo cual el modelo HYSPLIT servirá como herramienta en la toma de decisiones para el establecimiento de distancias de aislamiento entre un cultivo GM y uno convencional. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue usar el modelo HYSPLIT en la estimación de escenarios probables de dispersión de polen desde cultivos GM hacia convencionales. Para ello, se realizó un estudio de caso en el estado de Sinaloa, México, con base en datos históricos de cultivos de maíz GM para el año 2010. Para localizar estos cultivos se aplicaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) y esta ubicación se usó como referencia para desarrollar simulaciones progresivas, con el fin de conocer la dispersión

probable desde el origen del cultivo hacia puntos probables de depósito y concentración de partículas.

5.2.1.1. MATERIALES Y MÉTODOS

a) Sitio de estudio

El estudio se realizó en el estado de Sinaloa, que ocupa el primer lugar nacional en producción de maíz en grano y cuya siembra es en dos ciclos, pero la plantación de otoño (de noviembre a mayo) bajo riego es la más representativa en la región (INEGI, 2013). En otoño de 2010, en Sinaloa, los valores promedio de temperatura, HR y velocidad del viento fueron 20 °C, 70 % y 6 km h⁻¹, según el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

b) Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En este estudio se localizaron nueve polígonos de liberación de maíz GM con características de tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos, autorizados para el 2010, y la información se obtuvo en el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Para la ubicación de los polígonos se utilizó ArcMap 9.3, aplicación de ArcGis 9 desarrollada por ESRI (Environmental Systems Research Institute) en EE. UU.

Para ubicar las zonas restringidas de dispersión de polen de maíz GM se usaron coordenadas de localización de puntos de recolección de razas de maíz con base en información de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Después se aplicó el programa basado en el método de máxima entropía (Maxent), para conocer la distribución de las razas de maíz en el estado, dado que el programa se aplica para determinar la ubicación geográfica de diversas especies con base en variables climáticas (Yang et al., 2013).

c) Información meteorológica

Para este estudio se usaron bases de datos de estaciones de monitoreo del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en México y de los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (National Centers for Environmental Prediction - NCEP). Las condiciones meteorológicas consideradas fueron velocidad y dirección del viento, temperatura y HR en el ambiente.

Las condiciones de dirección y velocidad del viento se calcularon para el periodo de floración comprendido entre el 20 de febrero y el 6 de marzo del 2010. Para conocer la tendencia de los vientos se localizaron las estaciones de monitoreo del CIAD más cercanas a los puntos de maíz GM y se elaboraron rosas de los vientos para cada estación, durante el ciclo de floración. Para ello se usó el programa WRPLOT (Wind Rose Plots for Meteorological Data) desarrollado por Lakes Environmental.

Según el tiempo probable de viabilidad de la partícula de polen se establecieron cuatro categorías de temperatura y HR (Fonseca y Westgate, 2005): Muy Favorable (MF), Favorable (F), Poco Favorable (PF) y Escaso (E). La categoría MF fue para horas con temperaturas de 20 a 23 °C y HR de 68 a 80 %; F para horas con 23.1 a 26.1 °C y HR de 55 a 67 %; PF para horas con 26.2 a 29.2 °C y HR de 41 a 54 %; E para horas con 20 a 29.2 °C y HR de 29 a 41 %.

Los datos históricos de las estaciones de monitoreo se usaron para seleccionar los días y horas con mayor probabilidad de condiciones más favorables de temperatura y HR.

d) Aplicación del modelo HYSPLIT

De acuerdo con el cálculo de trayectorias del modelo HYSPLIT explicado en la sección 3.2.2, en este estudio se usó la simulación de dispersión progresiva, para determinar los sitios probables a donde pudo llegar el polen. Con base en el periodo de floración y a partir de las coordenadas de localización de parcelas de maíz GM, se desarrollaron simulaciones diarias durante las horas con las condiciones probables más favorables respecto a la viabilidad, tomando como parámetros la temperatura y HR del aire. Los datos de entrada en el modelo fueron el peso del polen de maíz, la altura y

velocidad de depósito y el tiempo de viabilidad. De acuerdo con Fonseca et al. (2003), se usó un peso de polen de 0.25 μg ; además se estableció una altura máxima de depósito de partícula de 100 m, una velocidad de depósito seca de 0.02 cm s^{-1} y un tiempo probable de viabilidad de 2 h.

Conviene mencionar que en este estudio no se realiza una comparación de resultados con datos de campo, porque actualmente no hay información disponible; sin embargo, el modelo HYSPLIT se usa en estudios de análisis de dispersión de partículas, lo cual muestra su confiabilidad (Wang et al., 2010; Efstathiou et al., 2011). En este estudio, el HYSPLIT se usó como herramienta para la toma de decisiones en el establecimiento de distancias entre cultivos GM y convencionales.

e) Estructuración de mapas

Las horas con las condiciones MF de viabilidad de polen se tomaron como referencia para desarrollar interpolación en mapas de temperatura y HR por intervalos de horas. Las capas se superpusieron y se otorgó un peso a cada una, dando un valor mayor a la de distribución de razas de maíz, considerando la prioridad por verificar la existencia de parientes silvestres de maíz en el sitio. Esto permitió establecer zonas probables de riesgo alto, medio y bajo.

5.2.1.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Localización de polígonos

Para obtener los datos de entrada de la simulación de partículas, se georreferenciaron los polígonos de maíz GM y se usó la información proporcionada por las estaciones meteorológicas del CIAD más cercanas a los puntos de maíz GM. Con base en los resultados, se observó una tendencia marcada de los vientos en direcciones noroeste (NO), con velocidades iguales o mayores de 11.1 m s^{-1} , seguida por tendencias de vientos en direcciones suroeste (SO) y noreste (NE) con velocidades entre 2.1 y mayores de 11.1 m s^{-1} . Además, los valores promedio diario de temperatura oscilaron alrededor de 19 $^{\circ}\text{C}$

con HR de 70 % durante el período de floración del 20 de febrero al 6 de marzo para el 2010 (Figura 5.6).

El artículo 89 de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) prohíbe realizar actividades con OGM en las zonas núcleo de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios RAMSAR, establecidos en la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, excepto que dichas actividades se usen para fines de biorremediación (DOF, 2005). Al comparar la ubicación de ANP y sitios RAMSAR con la localización de polígonos de maíz GM en los mapas, no se observó interferencia con áreas protegidas. Las distancias entre estos sitios fueron 2 a 5 km, cumpliendo con la regulación. Sin embargo, conviene valorar si estas distancias de proximidad son suficientes para controlar el desplazamiento probable de partículas de polen de maíz GM a zonas restringidas.

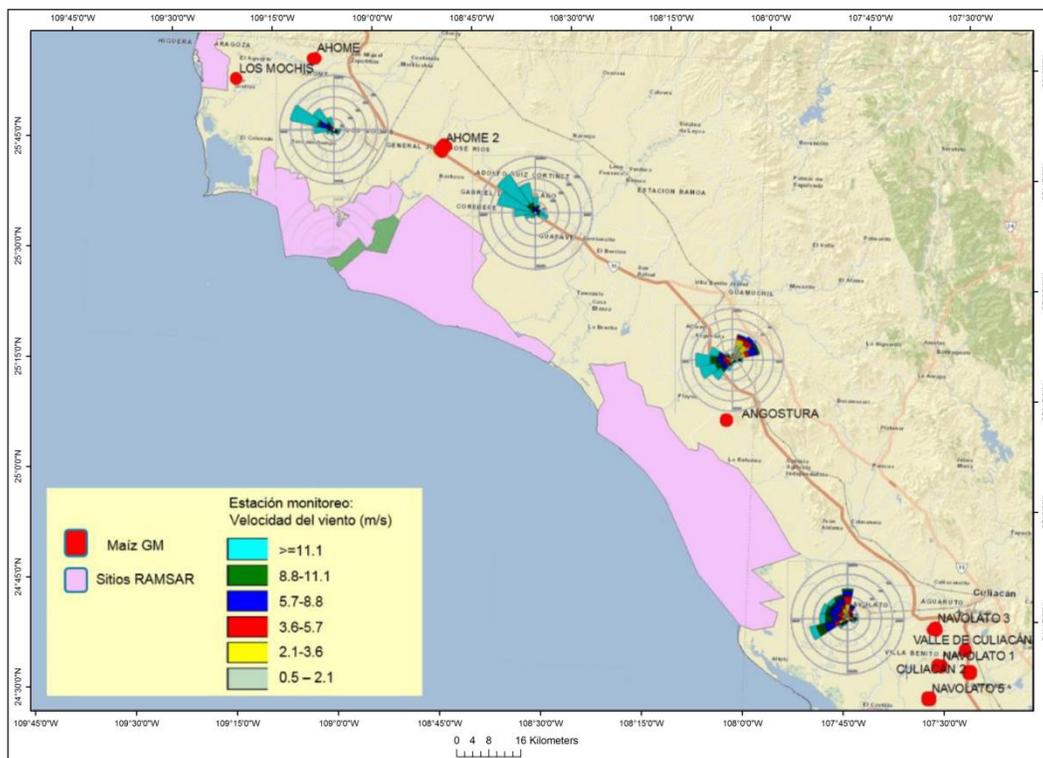


Figura 5.6 Localización Maíz Genéticamente Modificado, Áreas Protegidas y condiciones de los vientos.

b) Condiciones Meteorológicas y modelo HYSPLIT

Con base en la información meteorológica emitida por las estaciones del CIAD, se seleccionaron las horas y días cuando las condiciones probables de viabilidad estaban en el nivel Muy Favorable, considerando éste como el valor óptimo. Este criterio se cumplió el 20 y el 27 de febrero, y el 1, 3, 4, 5 y 6 de marzo de 2010, entre las 08:30 h y las 13:15 h (Tabla 5.5).

El tiempo de viabilidad en cada intervalo horario, de acuerdo con las condiciones climáticas óptimas, osciló entre 15 min y 2 h con 30 min, lo cual es similar con los intervalos de tiempo del estudio de Fonseca y Westgate (2005). Para desarrollar las simulaciones de dispersión en el modelo HYSPLIT se estableció un tiempo de recorrido de 2 h, considerando que la partícula pudiera perder su contenido total de humedad en dicho tiempo, de acuerdo con Luna et al. (2001).

Tabla 5.5 Viabilidad probable en relación a condiciones óptimas de Temperatura y HR.

Estación CIAD	Fecha	Intervalo horario de viabilidad probable
Aguaruto	20-02-2010	8:30 a.m. – 9:15 a.m.
Agronomía	27-02-2010	9:15 a.m. – 9:30 a.m.
Macapul	27-02-2010	9:15 a.m. – 9:45 a.m.
Agronomía	01-03-2010	9:15 a.m. – 10:15 a.m.
Macapul	03-03-2010	9:15 a.m. – 9:45 a.m.
Macapul	04-03-2010	9:15 a.m. – 10:15 a.m.
Aguaruto	05-03-2010	9:30 a.m. – 10:30 a.m.
Agronomía	05-03-2010	9:30 a.m. – 10:45 a.m.
Agronomía	06-03-2010	9:15 a.m. – 10:45 a.m.
Macapul	06-03-2010	10:15 a.m. – 12:30 p.m.
Guayabo	06-03-2010	10:30 a.m. – 12:45 p.m.
J.J. Ríos	06-03-2010	10:45 a.m. -1:15 p.m.

Con base en la periodicidad emitida, se realizaron las simulaciones a partir de los polígonos de maíz GM cercanos a cada estación y los resultados mostraron cuatro intervalos de concentración en cada nube de partículas de polen. Para Jarosz et al. (2003),

la concentración de partículas de polen disminuye a medida que aumenta la distancia recorrida, lo cual coincide con el presente estudio porque al simular la dispersión de polen, el primer intervalo correspondiente a la más alta concentración fue $1.0 \text{ e}^{-13} \text{ mg m}^{-3}$, en segundo lugar $1.0 \text{ e}^{-14} \text{ mg m}^{-3}$, tercero $1.0 \text{ e}^{-15} \text{ mg m}^{-3}$ y cuarto $1.0 \text{ e}^{-16} \text{ mg m}^{-3}$.

c) Comparación de variables

El cruce de capas de mapas de temperatura, HR y variedades nativas de maíz permitió obtener tres niveles de riesgo: alto, medio y bajo. Estos niveles se relacionan con la probabilidad de que en las zonas marcadas pudieran ocurrir las condiciones climáticas para que el polen que allí se transportara mantuviera su viabilidad y, además, que existiera presencia de maíz nativo y riesgo probable de polinización.

El análisis de los días de viabilidad probable, en las simulaciones durante las 2 h de recorrido, mostró distancias mayores a 2.2 km. Este resultado es similar al de Viner y Arritt (2010), quienes calcularon dispersión de polen en distancias alrededor de 5 km en condiciones constantes de temperatura y HR.

Para el 20 de febrero, como resultado de la simulación, la dispersión tuvo tendencia hacia el SO en distancias de 2.2 a 4.6 km en el intervalo de mayor concentración y de 20 a 24.8 km en intervalos de menor concentración. La trayectoria fue en un nivel medio de riesgo, esto es, aunque pudieran darse las condiciones climáticas favorables para mantener una viabilidad, la zona hacia donde se dirigió la partícula no muestra una superficie alta de variedades nativas.

Para el 27 de febrero la dispersión tuvo tendencia hacia el SE en el norte del estado y se mantuvo dentro del nivel bajo de riesgo alcanzando una distancia máxima de 39 km con una baja concentración de partículas ($1.0 \text{ e}^{-16} \text{ mg m}^{-3}$). Las demás dispersiones obtenidas con el modelo mostraron una tendencia hacia el SO, iniciando en un nivel medio y terminando su trayectoria en un nivel bajo de riesgo. La concentración mayor de partículas fue en distancias aproximadas a 14 km y una concentración baja en distancias de 29 km. La zona probable a donde se dispersó el polen era baja en densidad de maíz nativo. Este factor aunado a que el tiempo de viabilidad de las partículas osciló entre los

primeros 15 y 30 min de trayecto, ocasiona una pérdida probable de viabilidad para el resto del trayecto (Figura 5.7).

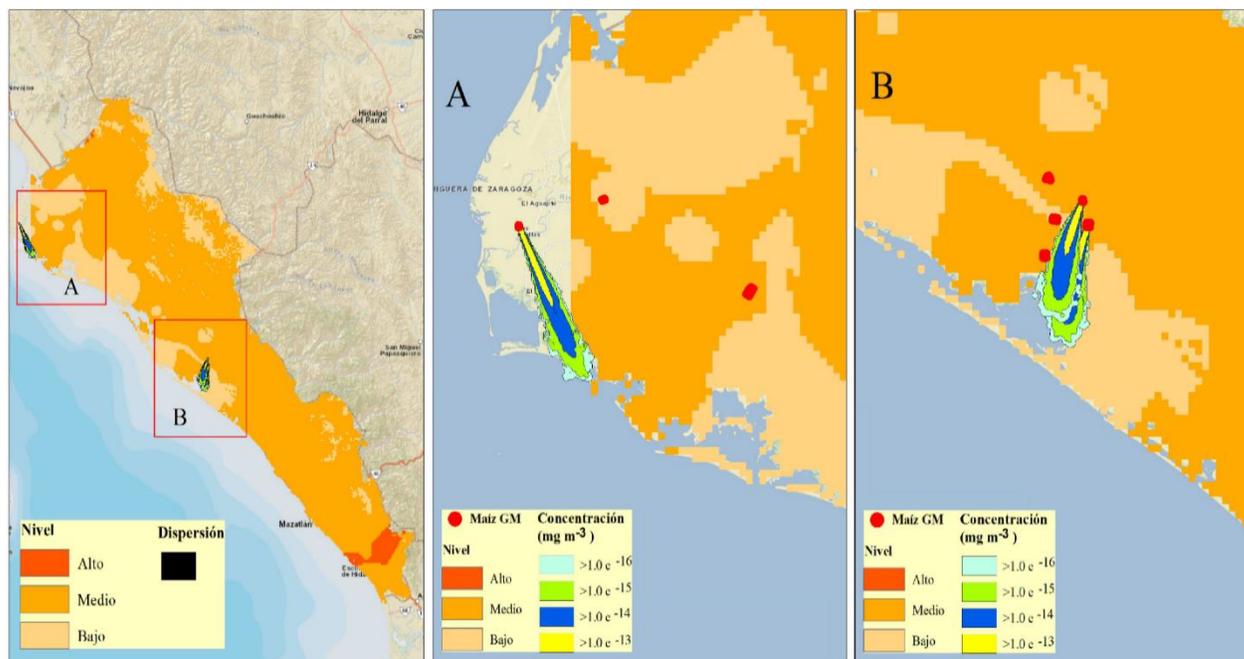


Figura 5.7 Dispersiones probables de maíz genéticamente modificado para el 27 de Febrero de 2010 y su probabilidad de riesgo.

En las simulaciones realizadas para el 1 y 3 de marzo de 2010, las dispersiones tuvieron tendencias de SE y SO, respectivamente, y ambas en un nivel medio de riesgo. Su viabilidad se mantuvo desde 45 hasta 60 min, es decir la mitad del trayecto, y las mayores distancias de dispersión probable para el trayecto total fueron 16.4 km para el día 1 y 33 km para el día 3, pero la zona donde se desplazaron las partículas tuvo una baja área con maíz nativo. Para el 4 y 5 de marzo las respectivas tendencias fueron SE y SO, y el tiempo de viabilidad de las partículas fue superior a 60 min, pero las dispersiones fueron en una zona media de riesgo, alcanzando distancias de 13 a 18 km para el trayecto total. Al considerar el tiempo de viabilidad así como las características de la zona donde se movió la partícula, se puede concluir que durante la segunda hora de trayecto la partícula pudo haber perdido viabilidad; por lo tanto, el riesgo de polinización fue bajo en los sitios de posible dispersión.

El día 6 de marzo fue uno de los más representativos en términos de dispersión y condiciones climáticas óptimas para facilitar la viabilidad del polen. Las dispersiones obtenidas en el modelo se muestran en la Figura 5.8, y en el primer mapa se observa una división de dos zonas: la zona A comprende tres dispersiones en la región norte del estado, y la zona B comprende las dispersiones GM en la región central. En la región norte, las partículas de polen fueron arrastradas en dirección NNO, mientras que en la región central la tendencia fue NO. En algunos casos las dispersiones iniciaron en un nivel de riesgo bajo, alcanzando un nivel medio; en otros la partícula viajó desde un nivel medio y se dispersó en una región de riesgo bajo.

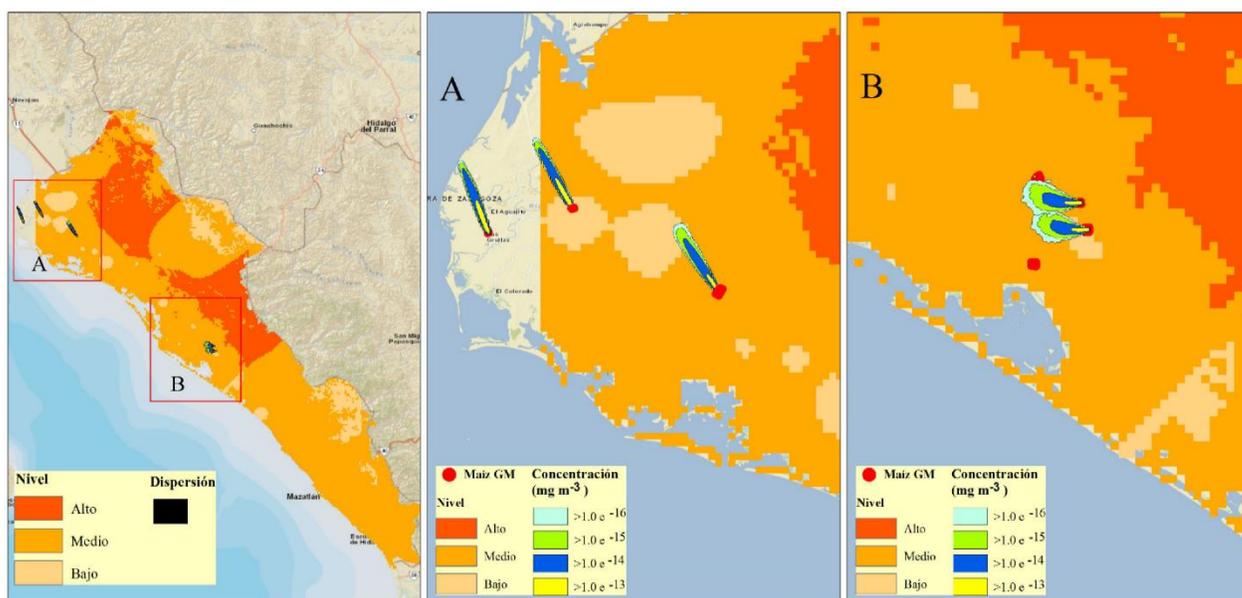


Figura 5.8 Dispersiones probables de maíz genéticamente modificado para el 6 de Marzo de 2010 y su probabilidad de riesgo.

Las distancias de dispersión por cada intervalo de concentración para el 6 de marzo de acuerdo con el modelo de simulación, fueron desde 3.3 hasta 8.6 km en concentraciones de partículas mayores a $1.0 \text{ e}^{-13} \text{ mg m}^{-3}$; las distancias alcanzadas oscilaron de 11.1 a 19.9 km con concentraciones bajas de $1.0 \text{ e}^{-16} \text{ mg m}^{-3}$. Aylor et al. (2003) mencionan un intervalo de 1 a 4 h para la pérdida de la viabilidad del polen. De manera similar, en este estudio durante el 6 de marzo, las condiciones climáticas permitieron intervalos de viabilidad de la partícula mayores a 2 h, pero las dispersiones fueron en zonas de riesgo

medio y bajo. Por lo tanto, aunque existió viabilidad de polen, la zona donde ocurrió su movimiento presentaba una baja superficie de maíz nativo expuesta a ser polinizada.

5.3. Estudio económico: Análisis cultivo de Algodón convencional vs GM

5.3.1. Panorama Nacional

El cultivo de algodón ha prestado particular importancia en México. Se considera que durante los años 60 el cultivo tuvo un auge en el país, alcanzando un consumo de 650.000 pacas y una producción de 2 millones de pacas (Agrobio-México, 2015). Sin embargo, a partir de los años 90 se presentó una reducción en las superficies de algodón fundamentada en un débil control de plagas y desfases en épocas de siembra (Fernández Aguirre, 2001). A partir del año 1996, se aprobó en el país la introducción de semillas genéticamente modificadas en cultivos de algodón (Agrobio-México, 2015).

Durante la década del 2000 la producción mantuvo una tendencia creciente, no obstante hacia el 2002 se redujo el nivel de producción ocasionado por el alza en el precio internacional del producto y por una reducción en las exportaciones (SISPRO, 2012). Adicionalmente, se presentó una disminución en la superficie de siembra para los años 2006 al 2009 y un ascenso hasta casi 20.000 ha para el año 2011 conservándose paralela la superficie cosechada y sembrada. Para los años 2012 y 2013 la superficie de siembra disminuyó debido a una caída en los precios internacionales (Financiera Rural, 2014) (Fig.5.9).

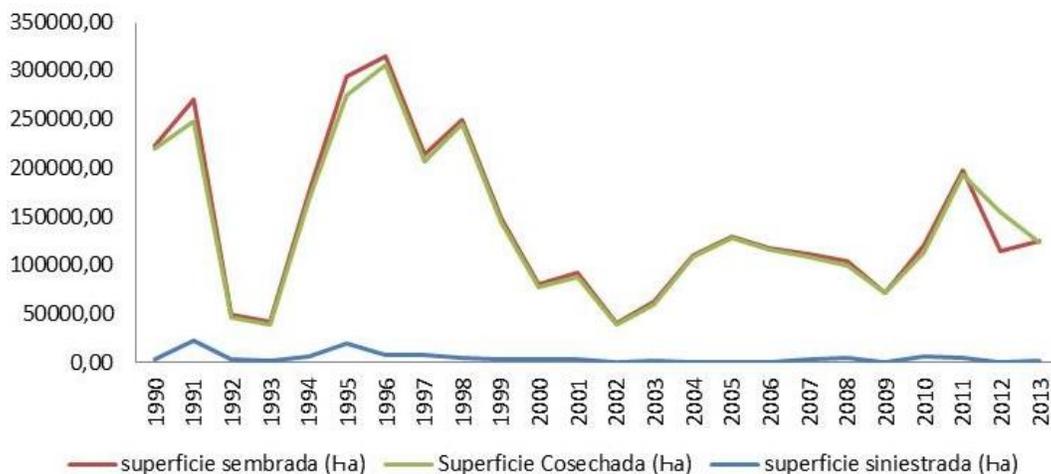


Figura 2.9 Siembras de algodón 1990-2013 con base en información de SIAP, 2015

Sin embargo, aunque las superficies sembradas y cosechadas fluctuaron alcanzando picos bajos en los años 1992, 1993 y 2002 y picos muy altos sobresalientes para los años 1994 a 1996. La comparativa de rendimientos para los años 1990 – 2013 representa para el año 1996 una tendencia creciente en los rendimientos obtenidos, iniciando con 2 ton/Ha obtenidas para el año 1996 y alcanzando más de 4.5 ton/ha para el año 2013 (Fig. 5.10).

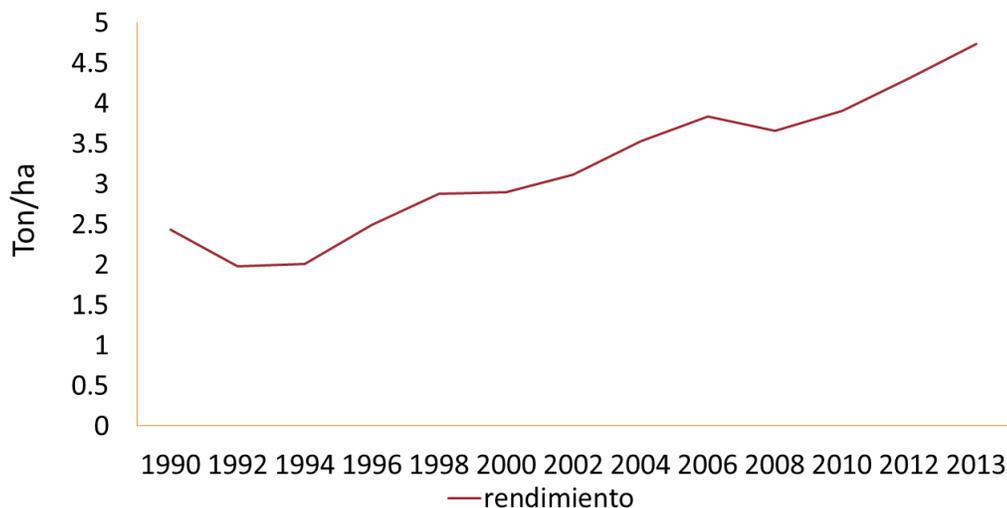


Figura 5.10 Rendimientos algodón 1990-2013 con base en información del SIAP

5.3.1.1. Producción Estatal de Algodón

La producción durante los últimos años se ha centrado particularmente en los estados del norte (Chihuahua, Baja California, Coahuila, Sonora, Durango y Tamaulipas), obteniendo una tasa media de crecimiento anual de aproximadamente 7.6% para los años 2000 a 2012 (SAGARPA y ONU, 2014). La Figura 5.11, representa los porcentajes de producción estatal de algodón para los años 2010 a 2013. Durante estos años, se ha mantenido una tendencia proporcional en cuanto a porcentaje de producción y lugar que ocupa cada estado a nivel nacional. Aunado a ello, hay estados que han participado de forma ocasional en la producción de algodón como son: Campeche, Colima, Sinaloa y Yucatán. Sin embargo, conservando la participación continua estatal, para el año 2013 la producción total nacional fue realizada por Chihuahua con 71,2% de dicha producción, Baja California (18,2%), Coahuila (6.4%), Sonora (2,5%), Tamaulipas (0,8%), Durango (0.6%), Sinaloa (0.01%) y Colima (0,001%) (Fig. 17) (SIAP, 2015).

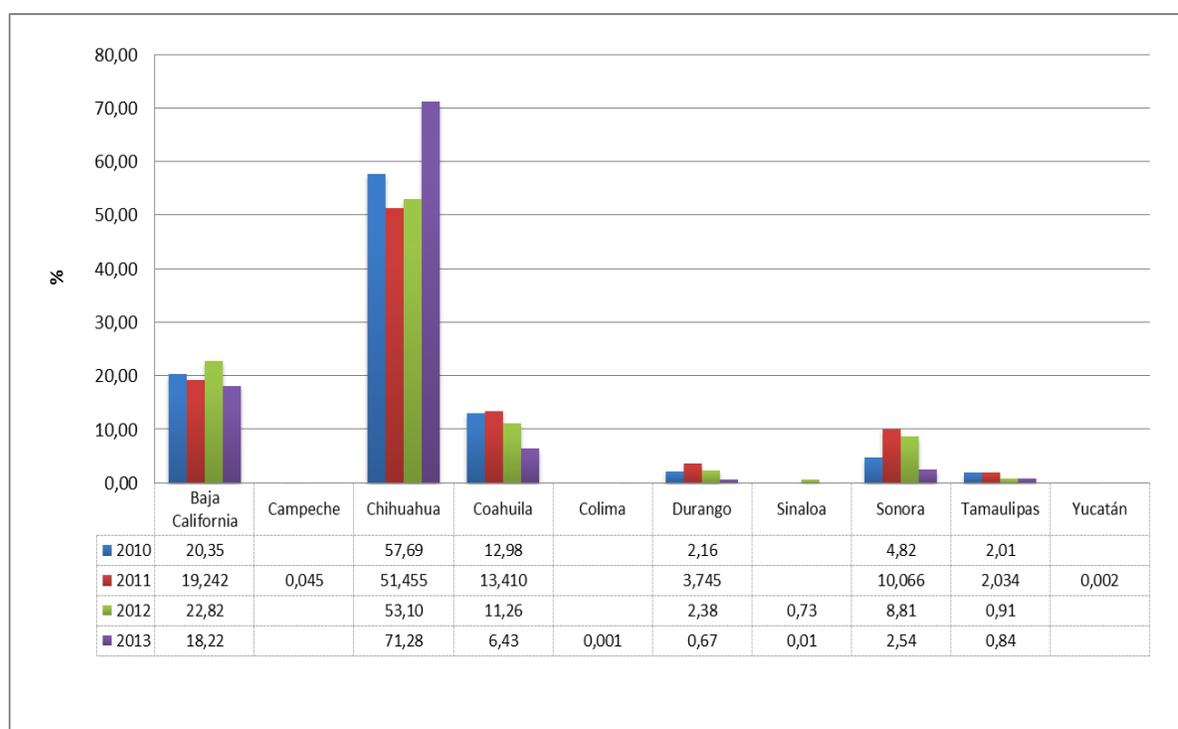


Figura 5.11 Producción de algodón por estados 2010- 2013, con base en cifras del SIAP.

5.3.1.1.1. Producción de Algodón - Sonora

En la zona de estudio la producción de algodón ha estado mayormente marcada en el municipio de San Luis Río Colorado, que desde el 2011 incrementó su nivel de producción desde 38 a 64% para el año 2013. A éste, le siguió el municipio General Plutarco Elías Calles pasando de 6% a 20% en nivel de producción. Los demás municipios que tuvieron participación para el año 2013 fueron Benito Juárez (6%), Cajeme (5%), Huatabampo (3%) y Navojoa (2%) (Fig. 5.12).

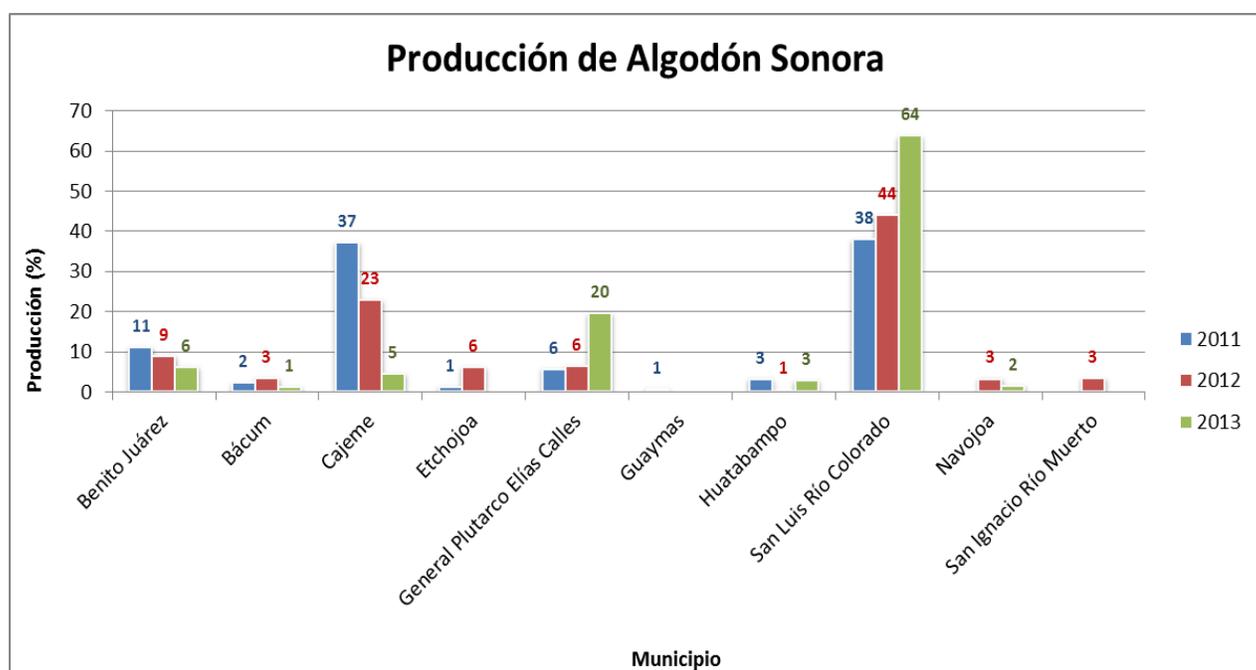


Figura 5.12 Porcentaje de producción de Algodón por municipios para el estado de Sonora

Fuente. SIAP

5.3.2. Tipología de Productores

A continuación se describen los tipos de productores de algodón en México, tomando como referencias la base de datos de marginación emitida por CONAPO (2010) y el padrón de beneficiarios del programa PROCAMPO. La siembra del cultivo de algodón se da en

todo el país, para realizar las categorías de productores: subsistencia, pequeño, mediano, grande y muy grande, se partió de la superficie de siembra y el valor del cultivo.

En México, el nivel de marginación se establece considerando indicadores socioeconómicos relacionados con nivel de educación, condiciones de vivienda, disponibilidad de agua y energía eléctrica, población que realiza alguna actividad económica e ingresos por trabajo. De acuerdo con el último informe, en el año 2010 los estados con muy alto nivel de marginación y por lo tanto, mayores carencias socioeconómicas fueron Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Contrario a esto, los estados con muy bajo nivel de marginación fueron Baja California, Coahuila y Nuevo León. Para el estado de Sonora como parte de las zonas de estudio de esta investigación, se observa que se presenta un nivel de marginación bajo, por lo que las condiciones socioeconómicas son adecuadas para el desarrollo de actividades como la agricultura (Fig. 5.13).

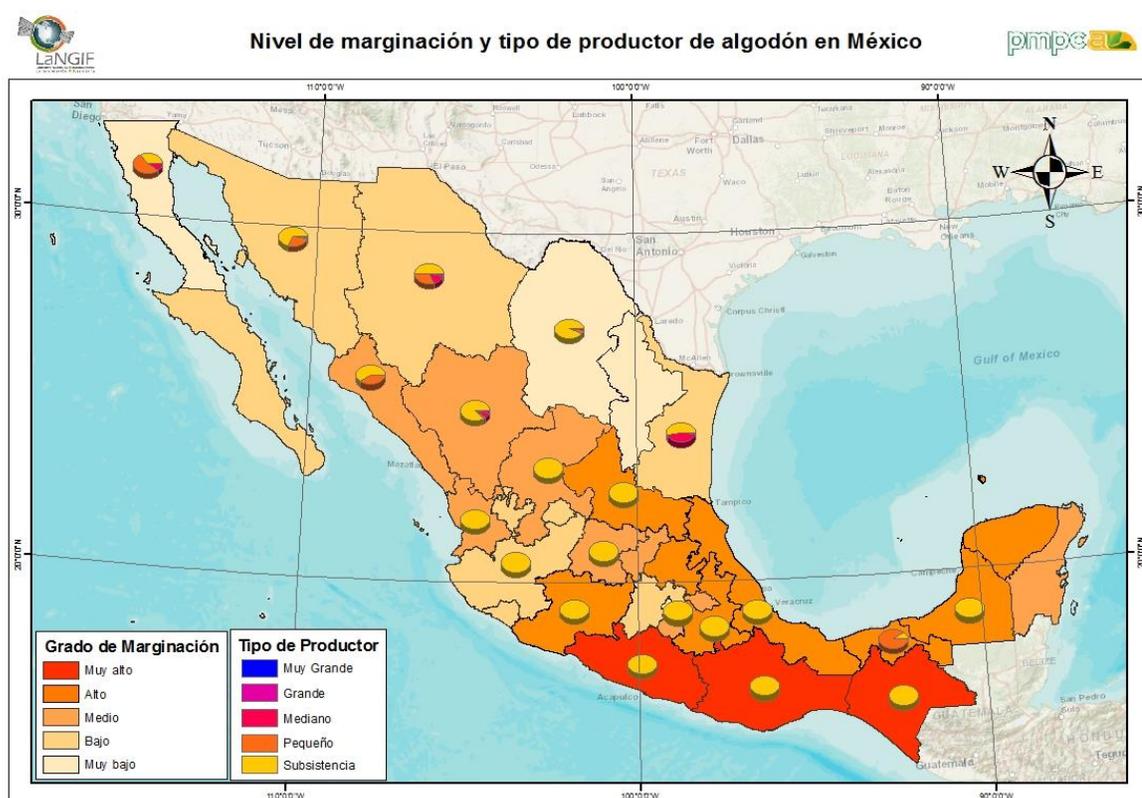


Figura 5.13 Nivel de marginación tipo de productor de algodón en México
 Fuente: Elaboración con base en datos de CONAPO (2010) y PROCAMPO (2013)

A nivel nacional, se detallan diversos tipos de productores en los gráficos de pastel, que van desde subsistencia en la zona sur, hasta niveles medianos en la zona centro y niveles grandes y muy grandes hacia la zona norte del país (Fig. 19). Según la clasificación adoptada con base en los datos de valor del cultivo y área sembrada, Sonora se encuentra distribuida por productores de subsistencia a productores de tamaño grande.

5.3.2.1. Productores de Subsistencia

Este tipo de productores utilizan su cosecha como medio de autoconsumo, por lo que la producción es parcialmente comercializada. Para la zona de estudio, se encontró que este tipo de productores se encontraba distribuido en los municipios Etchojoa, Navojoa, Cajeme, San Ignacio Río Muerto, General Plutarco Elías Calles con un número de productores entre 1 y 23 y, para el municipio San Luis Río Colorado el número de productores abarco entre 24- 47 (Fig. 5.14).

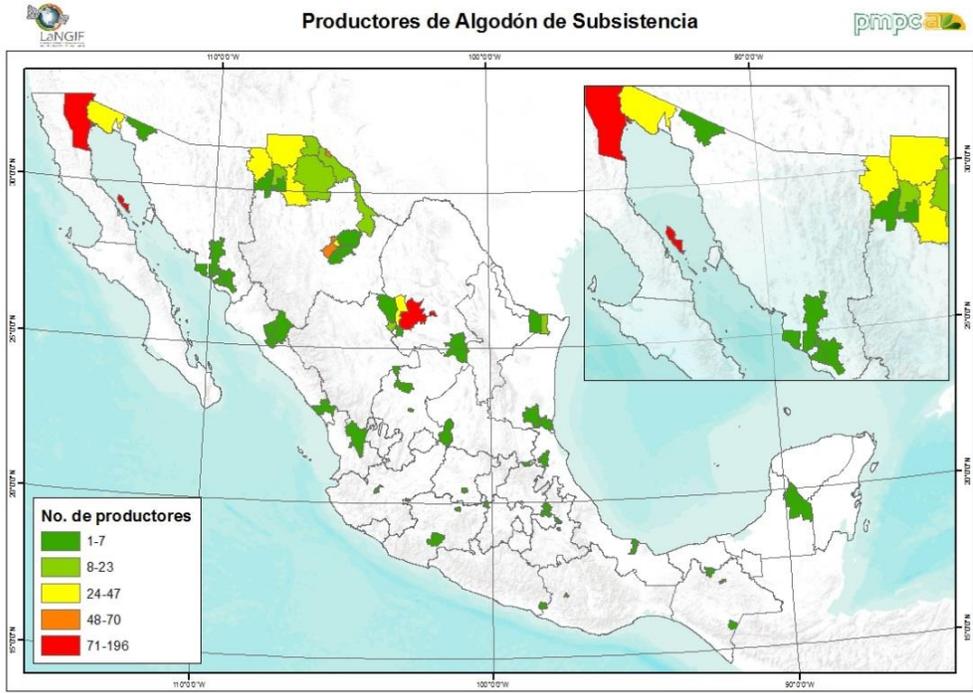


Figura 5.14 Productores de algodón de subsistencia en Sonora
Fuente: Elaboración propia con base en datos de PROCAMPO (2013)

5.3.2.2. Productores pequeños de algodón en Sonora

Se considera como productor pequeño aquel que realiza sus ventas a nivel localidad, realizando ventas a intermediarios, quienes finalmente comercializan los productos en mercados mayores (Galindo Mendoza *et al.*, 2014). En el estado de Sonora se encontraron agricultores de 1 a 8 productores de tamaño pequeño en los municipios Etchojoa, Navojoa, Cajeme y General Plutarco Elías Calles y entre 49 y 24 productores de tamaño pequeño en San Luís Río Colorado (Fig. 5.15).

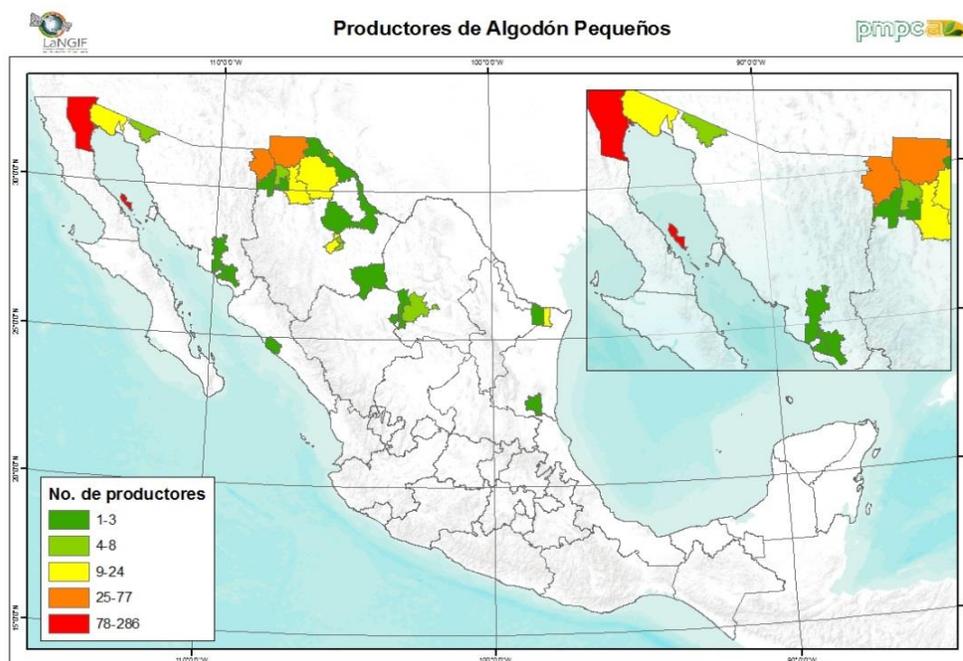


Figura 5.15 Productores de algodón de Pequeños Sonora
Fuente: Elaboración propia con base en datos de PROCAMPO (2013)

5.3.2.3. Productores medianos y grandes de algodón en Sonora

Los productores de tamaño mediano son aquellos que usan cooperativas, intermediarios o venta directa para comercializar sus productos (Galindo Mendoza *et al.*,

2014). Para el caso de Sonora, el número de productores de este tamaño osciló entre 1 y 7, localizados en Etchojoa (Fig. 5.16).

Para el caso de los productores grandes, se consideran así a aquellos propietarios de sus tierras, cuyos cultivos son generalmente utilizados para comercialización a gran escala, puede ser de forma nacional y en algunos casos internacional. El recurso humano que contratan para el manejo de sus cultivos, son técnicos con formación académica en el área de trabajo y manejo de plagas, además tienen los medios económicos para el uso de maquinaria y en algunos casos tecnología para el control de sus cultivos. En el caso de Sonora y considerando la clasificación realizada, se encontró un máximo de dos productores de tamaño grande localizados en Huatabampo (Fig. 5.17).

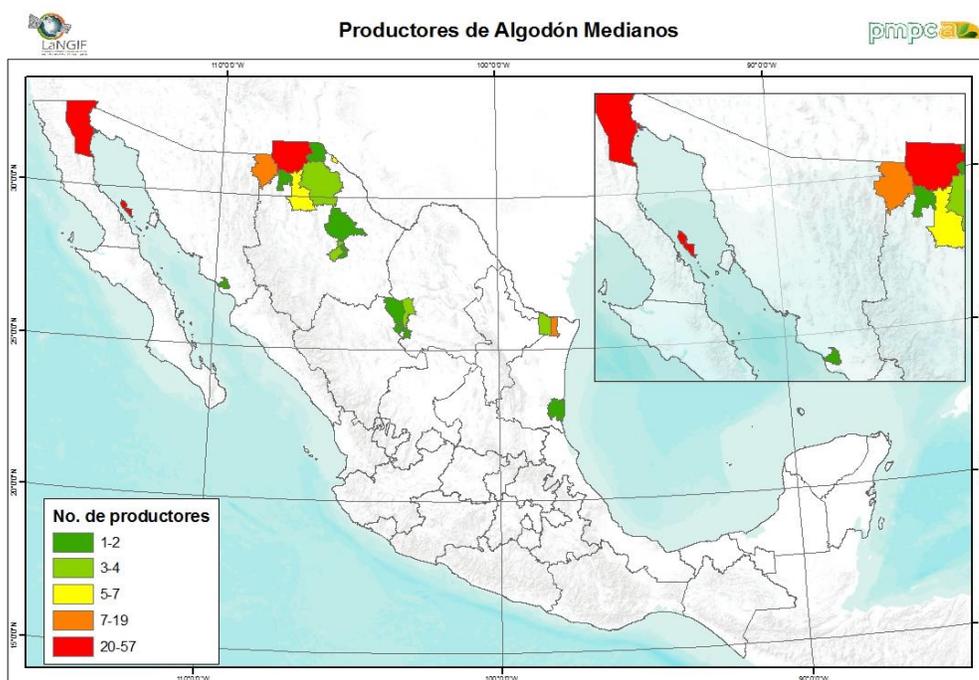


Figura 5.16 Productores de algodón medianos en Sinaloa
Fuente: Elaboración propia con base en datos de PROCAMPO (2013)

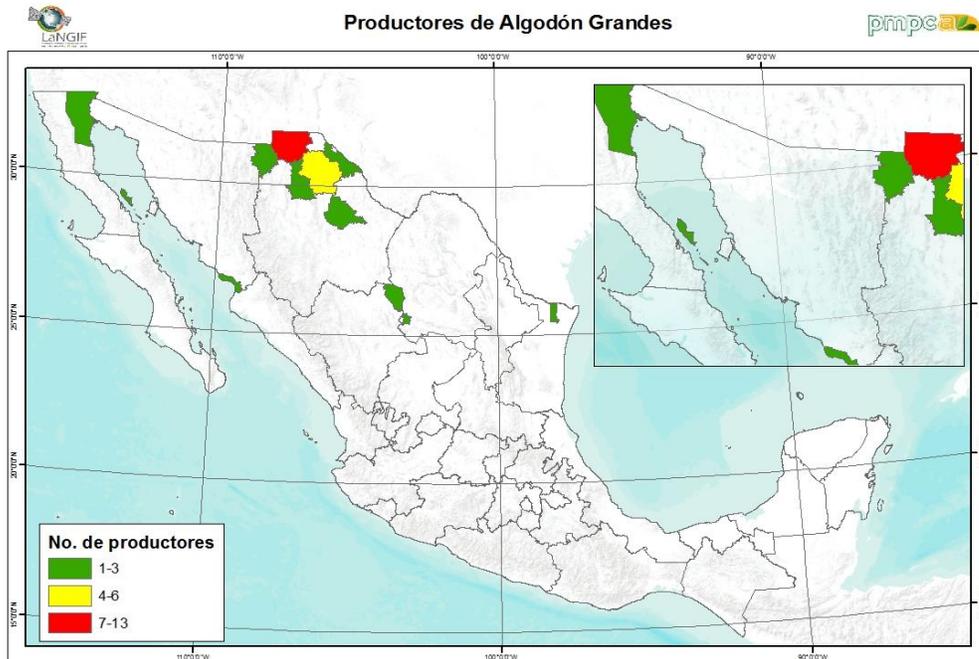


Figura 5.17 Productores de algodón grandes en Sonora

Fuente: Elaboración propia con base en datos de PROCAMPO (2013)

5.3.3. Producción Agrícola Algodón GM

5.3.3.1. Superficie real sembrada

Con base en información sobre autorizaciones y resoluciones de siembra se encontró que los estados en los que se ha sembrado Algodón GM son: Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Tamaulipas, San Luis Potosí, Sinaloa y Veracruz. Con base en la información proporcionada por CIBIOGEM y SAGARPA, para el año 2011 la mayor superficie de siembra se dio en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango con una suma total de 132.797,22 ha, seguido por los estados de Sonora y Baja California Norte con una superficie en conjunto de 36896,44 ha (Fig. 5.18). De acuerdo con la información, a través de los años ha aumentado la adopción de cultivos GM en México, desde 2009 con 10% de la producción a 44% para el año 2011.

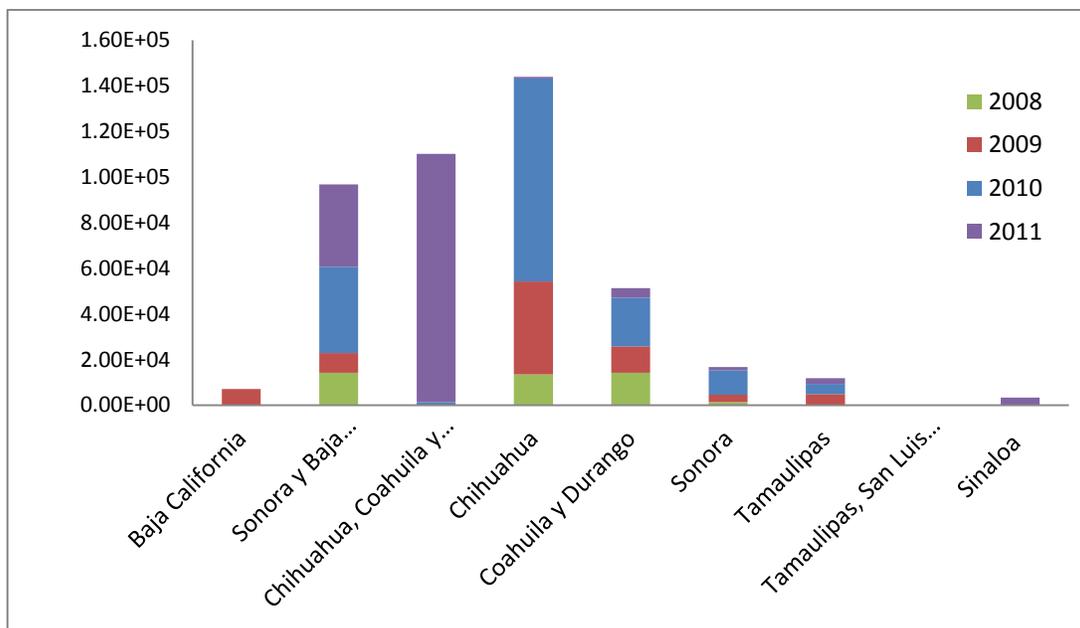


Figura 5.18 Superficie real sembrada algodón GM

Fuente. Elaborado con información de SENASICA y CIBIOGEM (2008, 2009, 2010, 2011)

En relación a los permisos de liberación otorgados, con base en información de CIBIOGEM conforme a la Ley Federal de Sanidad Vegetal y a la NOM-FITO-056-1995, se otorgaron 113 permisos para siembra de algodón GM. A partir del 2005 se otorgaron 266 permisos de liberación de algodón GM con base en la LBOGM.

5.3.3.2. Rendimientos

5.3.3.2.1. Algodón tolerante a herbicidas

En México, se han reportado rendimientos de 5.1% para el año 2009, 18.1% para el 2010, 5.1% para 2011 y 13.1% para el 2012. El costo de la tecnología estuvo en el intervalo de 49 a 66 dólares (\$) /ha. Se reportaron ganancias aproximadas de 80\$/ha para los dos primeros años de uso, de 16\$/ha para 2008 (para esta época no se obtuvo rendimiento), 90\$/ha en 2009, 447\$/ha en 2010, 140\$7ha en 2011 y 290\$/ha en 2012. Desde el año

2005, los agricultores en el mundo han incrementado sus ganancias en 51.4 millones de dólares” (Brookes & Barfoot, 2013).

5.3.3.2.2. Algodón resistente a insectos

El algodón resistente a insectos fue adoptado de forma comercial en México a partir del año 1996. Se considera que para el año 2010, se registró una mejora en la producción total de algodón en 4,6%. Respecto al valor añadido, la relación entre aumentos en rendimiento y menor costo de producción de ingresos agrícolas para el año 2010 fue equivalente a un aumento en la producción anual de 3,5% (Brookes & Barfoot, 2013).

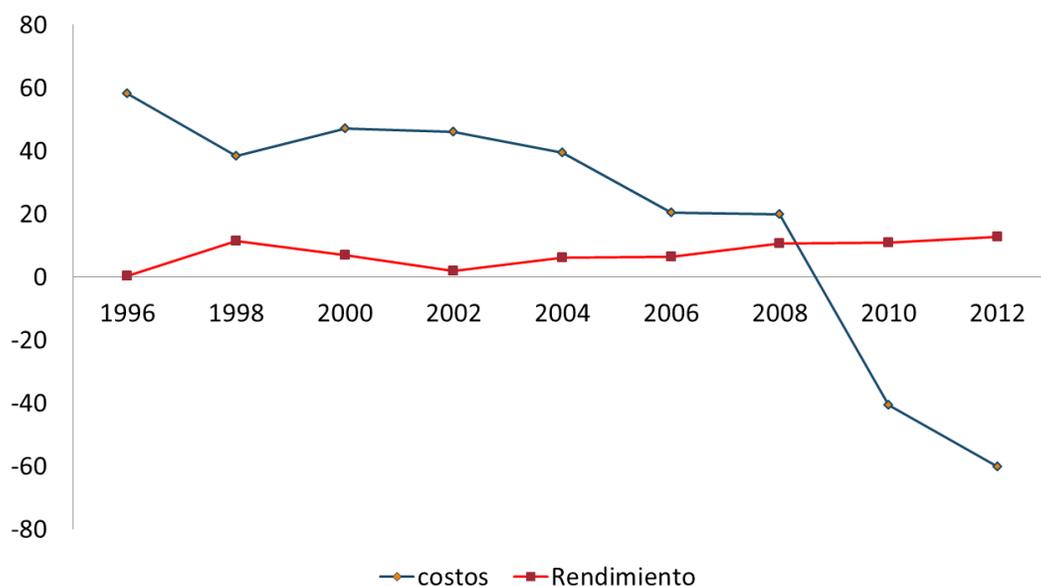


Figura 5.19 Costos versus rendimiento Algodón

Fuente. Brookes y Barfoot, 2013

Para el año 2011, se sembró una superficie de 99,870 ha, de acuerdo con Brookes y Barfoot (2013), con base en la utilización de algodón resistente a insectos en el país, el rendimiento de los cultivos mejoro de 9 a 14% desde el 2008 hasta el 2012 (Figura 5.19). Además se considera que ha habido reducciones en costos de producción, a causa del bajo

costo de insecticidas (Brookes & Barfoot, 2013). Según Agrobio-México la adopción de algodón GM ha reducido el número de aplicaciones de insecticidas de 13 a 3, facilitando el manejo de plagas (Agrobio-México, 2011).

5.3.3.3. Algodón GM en Sonora

La información relacionada con liberaciones y superficies de siembra de algodón GM, se explicó en el capítulo 3. Para la zona de estudio se han recibido 231 solicitudes para liberación de algodón GM desde 2008-2014 en etapas experimental, piloto y comercial, de estas solicitudes únicamente se otorgaron 177 permisos. Se observa que la adopción de OGM en la zona se ha incrementado, con base en las solicitudes desde los años 2008-2014, se ha incrementado la superficie permitida para siembra de algodón GM desde 34703,5 ha para el año 2008 hasta 180066 ha para el año 2014. Sin embargo, al comparar la superficie de siembra ha habido fluctuaciones y a partir del año 2012 las superficies de siembra se redujeron 6341 ha, 4793,59 ha y 0,2304 ha para los años 2012, 2013 y 2014. Es importante aclarar que para el último año aún quedan valores “sin dato” (SD) por incluir en el informe por lo que no hay un cálculo total de la proporción.

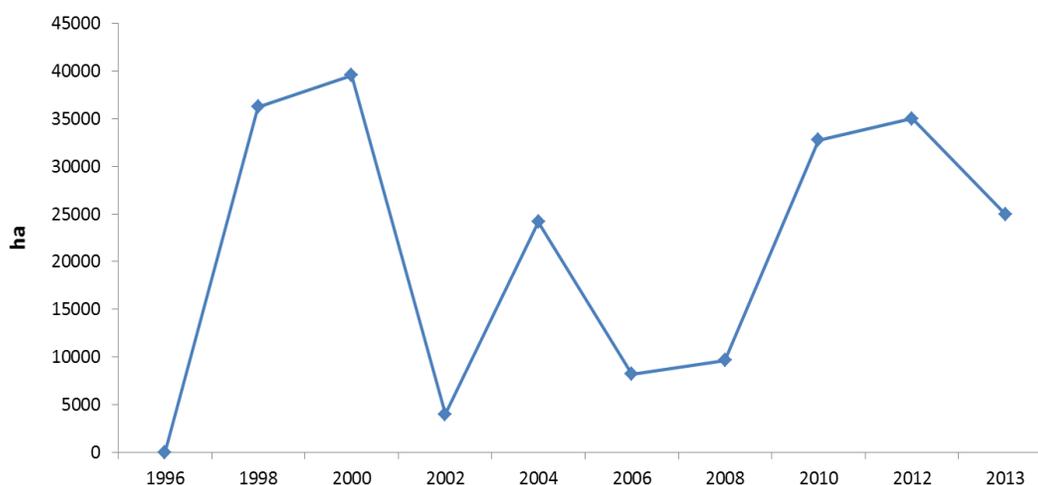


Figura 5.20 Superficie de siembra autorizada Algodón GM Sonora

Fuente. Con base en resoluciones anuales CIBIOGEM

5.3.4. Situación económica y de bioseguridad en Sonora y Sinaloa: entrevistas semiestructuradas y trabajo de campo

Se han desarrollado diferentes posturas en torno a los beneficios y riesgos potenciales de los Organismos Genéticamente Modificados (OGM). Actores a favor y en contra han centrado su opinión en aspectos relacionados con seguridad alimentaria, impacto al medio ambiente y factibilidad económica en el uso de esta alternativa (Russell, 2008; Azadi y Ho, 2010; Apel, 2010, Ruane y Sonnino, 2011, Areal *et al.*, 2012; Houshyani, 2012; Kos, 2012; Krishna y Qaim, 2012). Aunado a esto, en aquellos países centro de origen de determinada especie, el riesgo percibido involucra además la pérdida del valor socio-cultural de la variedad (Tzotzos *et al.*, 2009).

En lo concerniente a seguridad alimentaria existen dos enfoques, uno relacionado con la admisión del principio precautorio, especificando la adopción de medidas cuando se tiene sospecha de que alguna acción pudiera ocasionar peligro de daño grave e irreversible (Weale, 2010; König *et al.*, 2004; Chao y Krewski, 2008). El segundo enfoque se relaciona con el criterio de equivalencia sustancial, en el que cualquier alimento novedoso que considere las mismas características de composición que un convencional se asume igual de seguro a este último, por lo tanto su regulación aplicable será igual que aquella ejercida para los alimentos convencionales (Levidow y Boschert, 2008).

En relación al aspecto ambiental, se asumen riesgos potenciales relacionados con el aumento de la resistencia de plagas a agroquímicos, contaminación de suelos y cuerpos de agua debido al arrastre de agroquímicos y la persistencia en el suelo de las toxinas Bt (García y Altieri, 2005; Vergragt y Brown, 2007; Weale, 2010). Aunado a lo anterior, existe el riesgo potencial de pérdida de biodiversidad, a causa de transferencia de material genético a nivel horizontal y vertical a variedades nativas (Houshyani, 2012; Kos, 2012; Xue *et al.*, 2012; Godheja, 2013). En contraposición, se hace énfasis en los posibles beneficios ambientales que representan los OGM en relación al uso de herbicidas menos tóxicos de amplio espectro y una reducción en el número de aplicaciones de agroquímicos,

disminuyendo además las emisiones contaminantes al ambiente (Nelson y Bullock, 2003; Areal *et al.*, 2012).

En México, la aplicación de medidas para el control de impacto en el ambiente se establecen con base en el tipo de solicitudes de liberación de OGM. En el país se contemplan tres tipos de programas: experimental, piloto y comercial. Dependiendo del tipo de autorización, se exigen medidas de aislamiento a variedades convencionales. Para el caso del maíz, en etapa experimental se exige un aislamiento espacial entre 200 y 300 m desde el cultivo de maíz GM a cultivos de maíz híbrido. Mientras que en programa piloto, se exige una delimitación del sitio de liberación OGM de 50 m de maíz híbrido convencional y se debe considerar una cercanía de hasta 500 m a poblaciones de maíz nativo, silvestre o criollo (SENASICA, 2013 a, b).

Adicionalmente, en el país se establece protección a Áreas Naturales Protegidas (ANP), por lo tanto, la LBOGM menciona que, solo se permiten actividades con OGM en este tipo de áreas, cuando sean enfocadas a biorremediación o, cuando se pueda poner en peligro la existencia de especies a causa de plagas o contaminantes (DOF, 2005).

En lo que se refiere a factibilidad económica en la adopción de OGM, el interés se centra en analizar si esta alternativa representa beneficios económicos para agricultores de cualquier capacidad económica o si por el contrario los costos se incrementan al incurrir en mayores gastos por compra de semillas transgénicas para cada ciclo (Shaper y Parada, 2001; Bullock and Desuilbet, 2002, Speese, 2004).

5.3.4.2 .MATERIALES Y MÉTODOS

a) Selección de sitios

Las entrevistas se realizaron en las regiones de Sonora y Sinaloa localizadas en la zona norte de México. Ambas regiones, se caracterizan por el desarrollo de actividades relacionadas con el sector agropecuario, comercio e industria manufacturera. Para el año 2012, Sinaloa ocupó el primer lugar a nivel nacional en producción de maíz en grano.

Sonora por su parte ocupó el primer lugar en producción nacional de trigo en grano y el cuarto en producción de algodón (INEGI, 2013 a, b).

Sonora y Sinaloa son estados representativos en solicitudes de liberación de algodón y maíz genéticamente modificado en el país. Para el año 2012 la superficie de algodón autorizada para siembra en ambos estados junto con Baja California fue de 167.500 ha de un total de 417.500 ha de superficie autorizada para el mismo año. En el caso del maíz, se autorizaron 1382.038 ha de un total de 3,151.9268 ha de superficie autorizada para la siembra (CIBIOGEM, 2013).

b) Obtención de la información

Las entrevistas fueron desarrolladas durante el mes de mayo del año 2013. Se aplicaron a un total de 11 participantes: agricultores (3), investigadores (1), representantes del sistema producto en algodón (1), técnicos (4), así como representantes de compañías proveedoras de semillas GM (2). Las entrevistas fueron personalizadas y se realizaron tomando como referencia una entrevista semiestructurada que contenía trece preguntas relacionadas con la adopción de los OGM en el campo agrícola, medidas de bioseguridad, así como ventajas y desventajas de los OGM. Las entrevistas semiestructuradas, por su flexibilidad tienen la utilidad de permitir la obtención de información más detallada y adicional acerca de una temática. El objetivo principal en su aplicación fue conocer la perspectiva desde diferentes actores acerca de la adopción de este tipo de tecnologías en el campo agrícola.

Para la obtención de la información se realizó en primer lugar una solicitud verbal a cada participante, dándole a conocer el objetivo de la entrevista. Posteriormente, se solicitó autorización a los entrevistados para realizar una grabación de cada entrevista y su utilización para fines académicos. Obtenidos los permisos, se procedió a llevar a cabo la entrevista.

c) Análisis cualitativo de la información

Adicionalmente se tomaron notas sobre aspectos sobresalientes durante la conversación. Posteriormente, se realizó una transcripción textual de las conversaciones verificando que no se modificara ningún aspecto de acuerdo con el contenido original. Obtenida la transcripción, se realizó un proceso de análisis cualitativo considerando la organización, exploración, interpretación e integración de los datos (Gilbert *et al.*, 2014).

i) Organización de la información

En esta primera parte se procedió a organizar las entrevistas por grupos de actores y a establecer una codificación inicial para ser usada posteriormente en una matriz de análisis. Con base en la lectura de las entrevistas y en las preguntas iniciales, se establecieron las primeras conexiones en información y temáticas.

ii) Exploración

Se escucharon y leyeron nuevamente las entrevistas con el fin de encontrar palabras clave que pudieran enlazar las temáticas. Para el análisis en el texto, se utilizó el programa Microsoft One Note 2010, vinculando todas las entrevistas y resaltando palabras clave. Una vez señalado el texto relacionado con cada temática, se diseñó una matriz distribuida en 3 categorías: impacto, bioseguridad y mercado.

iii) Interpretación

Con base en las categorías obtenidas y en las palabras clave localizadas en los textos, se procedió a fijar subcategorías, a partir de las cuales se ingresó la información emitida por cada uno de los entrevistados.

iv) Integración de los datos

En esta etapa se realizó un análisis y comparación de la matriz obtenida con estudios similares de la literatura como se detallará en resultados y discusión.

5.3.4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Análisis por categorías

El análisis de las entrevistas permitió obtener 3 categorías denominadas: impacto, bioseguridad y mercado. Estas a su vez se subdividieron en un total de 11 subcategorías según la temática abordada. Adicionalmente, se realizó una codificación considerando el sector que representaba el actor y la zona. Con base en las respuestas de éstos, se incluyeron las siglas de aquellos que abordaron dentro de la entrevista la subcategoría en cuestión (Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Distribución de categorías y subcategorías según temática

CATEGORIA	SUBC	ACTORES
IMPACTO	Característica del OGM	RSP, RCSON, TSON, DSS, RCGUA, IUAS, ASIN
	Uso agroquímicos	AVY, RSP, RCSON, TSON, DSS, IUAS, ASIN
	Costos	AVY, RSP, RCSON, TSON, DSS, RCGUA, IUAS, ASIN
	Acceso al productor	RSP, RCSON, TSON, RCGUA, IUAS, ASIN
	Rentabilidad	AVY, RSP, RCSON, TSON, RCGUA, IUAS, ASIN
BIOSEGURIDAD	Distancia de aislamiento	RCSON, TSON, DSS, RCGUA, IUAS, ASIN
	Capacitación personal	AVY, RCSON, TSON, DSS, RCGUA, IUAS, ASIN
	Uso de trampas	RCSON, TSON, DSS, RCGUA, IUAS, ASIN
	Sincronía floral	TSON, IUAS
	Aislamiento de ANP	RSP, RCSON, TSON, RCGUA, IUAS
	Cuidado cultivo post-cosecha	AVY, RSP, TSON, DSS, IUAS, ASIN
	Manejo de refugios	RSP, RCSON, TSON, DSS, ASIN
MERCADO	Compañías	AVY, RSP, TSON, DSS, IUAS, ASIN
	Clientes	AVY, RCGUA, IUAS, ASIN

La categoría impacto hace referencia a las ventajas y/o desventajas del uso de los OGM durante su aplicación en cultivos agrícolas. Con base en la literatura se ha encontrado que los OGM representan impactos en relación al control de insectos y malezas, uso y aplicación de agroquímicos, costos de inversión, producción y rendimiento, así como el acceso a productores de cualquier tamaño para la adquisición de esta alternativa (Ahmad *et al.*, 2012; Xue *et al.*, 2012; Godheja, 2013).

Entre las características de los OGM, la tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos son de las más representativas (Zang *et al.*, 2009; Ahmad *et al.*, 2012). De acuerdo con el análisis, los agricultores del norte de país manifiestan que los OGM son especialmente funcionales para el control de correhuela, una mala hierba que en razón a su profundo crecimiento, persiste sobre el suelo, por lo que requiere su control con herbicidas (Felger *et al.*, 2012). Según la opinión de los entrevistados, los cultivos han ganado mayor tolerancia al herbicida glifosato para el control de dicha plaga. En relación a la resistencia a insectos, se menciona que existe control de lepidópteros y coleópteros, particularmente los OGM en la zona han aportado al control de diabrotica, enfermedad que ataca principalmente a cultivos de maíz.

En relación al uso de agroquímicos, las opiniones se enfocaron en mencionar que usualmente los cultivos han tenido problemas con insectos como chupador, picudo y gusano bellotero, de este último se comentó que, anteriormente se realizaban en promedio dos aplicaciones de insecticidas. Sin embargo, a partir de la experimentación con OGM, el representante de la compañía mencionó que las aplicaciones se redujeron en casi un 80%. En algunos casos, comparando cultivos convencionales con GM, algunos agricultores comentaron que la diferencia radica en que los cultivos GM no requirieron de ninguna aplicación para su control mientras que los convencionales sí.

Por otra parte, en cuanto al factor económico, conviene considerar los costos en los que se incurre durante el cuidado de los cultivos GM, así como en el uso de medidas de bioseguridad para prevenir una posible dispersión a cultivos aledaños (Shaper y Parada, 2001). Las opiniones mostraron que sembrar OGM podría implicar reducción de costos para los agricultores. Debido al ahorro representado en un menor uso de agroquímicos y a la compensación en pagos estimados de producción para aquellos productores que prestan su parcela a las compañías para realizar experimentación con OGM.

Otro aspecto relevante se refiere al potencial acceso de los productores a la adquisición de OGM. En informes sobre adquisición de este tipo de tecnologías, se resalta el acceso a cualquier tipo de productor y el impulso a productores de pequeño y mediano tamaño. Respecto al análisis en la zona de estudio, los representantes de compañías mencionaron

que inicialmente para experimentar en cultivos, se buscan agricultores que tengan una superficie grande, considerando que se cuenta con maquinaria propia y no se tendría que incurrir en gastos por renta de esta. En Sinaloa los productores tienen capacidad económica para mantener entre 20 y 30 ha de tierra. Mientras que en zonas como el Valle del Yaqui, se comentó que ha habido productores de 5 ha o menos que han decidido adoptar OGM, considerando el beneficio económico que podría brindarles.

Otro factor se relaciona con la rentabilidad de un cultivo GM respecto a uno convencional. Con base en el análisis, las opiniones se enfocaron en mencionar que el cultivo podría ser más fácil de manejar desde la siembra y que además, las plantas tendrían menor estrés por control de plagas y por supuesto se ahorraría en algunos agroquímicos. Por su parte, los representantes de compañías mencionan que el beneficio para el productor es que se les da la semilla y los agroquímicos y lo que se obtenga es para los productores.

Las medidas de bioseguridad, se relacionan entre otros aspectos, con aislamiento de cultivos GM respecto a ANP y a cultivos convencionales, establecimiento de cercas, sincronía floral, cuidados del cultivo post-cosecha y capacitación del personal. El aislamiento entre cultivos GM y convencionales para controlar dispersión de polen, es requisito fundamental para el control de dispersión de polen (SENASICA, 2013 a, b). En el análisis de entrevistas se encontró que, considerando el programa de liberación autorizado, se realizaron siembras de maíz convencional en distancias de 10, 25, 30 y 50 m como áreas de influencia, en el perímetro del cultivo GM. Adicionalmente, técnicos e investigadores opinaron que para que no exista sincronía floral entre cultivos, se debe dejar una diferencia de 1 mes respecto a las fechas de siembra. En el caso en que existiera sincronía entre cultivos GM y no GM, se menciona que se requiere considerar una distancia de aislamiento de 600 m entre los lotes.

Como ya se mencionó, las actividades con OGM en ANP en México, son autorizadas únicamente cuando se realizan con fines de biorremediación o para el control de plagas o contaminantes (DOF, 2005). De acuerdo con el análisis, cuando se va a realizar experimentación en un determinado lote, se verifica que no exista sobreposición con ANP

usando para ello un comunicado en el que se establece la ubicación de las zonas protegidas y se contrasta con las coordenadas del lote en el que se pretende experimentar.

Adicionalmente en relación al mercado, los entrevistados mencionaron que las compañías les dan capacitación a agricultores y técnicos, respecto a actividades como uso de elementos de seguridad, cuidados en el transporte de semilla, cuidados de irrupciones no autorizadas en la cosecha y manejo post-cosecha. En relación al último aspecto, los entrevistados comentaron que la semilla se utiliza para obtener una cosecha, no está permitido reutilizar la misma semilla para obtener una segunda cosecha dando cumplimiento al contrato compañía-productor. Además, se mencionó que se requiere realizar actividades de desvare, rastreo del lote y monitoreo de la germinación posterior en un tiempo de 6 a 7 meses y realizar actividades adicionales como el uso de lonas en los camiones que transportan la cosecha a la zona de despepite, para el caso de algodón.

5.4. CONCLUSIONES CAPITULO 5

Es necesario realizar capacitaciones, foros, cursos o conferencias abiertas en relación a los beneficios y riesgos potenciales de los OGM en la salud humana y el medio ambiente, permitiendo al consumidor ampliar su visión sobre el tema y sustentar su elección con desde un panorama completo de la situación de bioseguridad en OGM.

Es indispensable ampliar los estudios en relación a los impactos potenciales en la salud humana y el aporte nutricional y vitamínico de los OGM, con el fin de tener evidencia sustentable acerca de su uso o no para consumo.

Conviene evaluar la pertinencia en el uso de un etiquetado al contener OGM (incluyendo aportes vitamínicos y nutricionales) en los alimentos, con el fin de ofrecer al consumidor la posibilidad entre elegir o no este tipo de productos.

El modelo HYSPLIT en conjunto con variables relacionadas con distribución de especies, temperatura, HR, velocidad y dirección del viento, viabilidad del polen, así como su peso y velocidad de depósito, se puede emplear como herramienta de apoyo en la toma de decisiones en el establecimiento de distancias de separación de parcelas donde se realicen experimentos con OGM respecto a parcelas convencionales.

El desarrollo de mapas y la aplicación del modelo HYSPLIT permitieron determinar que las zonas donde se ubicaron las parcelas de maíz GM en el año 2010, estaban en una superficie favorable respecto a condiciones de viabilidad y dispersión. Sin embargo, la dirección y velocidad de los vientos no resultaron en dispersiones dentro de la zona de mayor riesgo probable de cruce polínico entre variedades GM y parientes silvestres.

El análisis de entrevistas en el trabajo de campo permitió determinar que el uso de OGM en regiones como Sinaloa y Sonora, representa una alternativa rentable en el control de plagas características de la región como chupador, picudo, gusano bellotero y correhuela.

El factor económico podría ser una variable fundamental en el momento de elegir experimentar con OGM. Considerando que contar con maquinaria propia para un agricultor puede ser un factor de selección por parte de las compañías.

A partir de la perspectiva de los entrevistados en el norte del país, se conoció que se da cumplimiento a las medidas de bioseguridad exigidas en la regulación, particularmente aquellas que se refieren a distancias de aislamiento hacia ANP y cultivos convencionales

*Capítulo 6. Análisis Final y Matriz
FODA*

6.1. Análisis final: variables adicionales

Para el análisis final se establecieron variables comparativas, incluyendo las evaluadas en el impacto ambiental, percepción del consumidor y factor económico.

Inicialmente se estableció el ranking de Ciencia y Tecnología (C y T), con el fin de determinar en qué zona del país se impulsan más actividades en C y T. De acuerdo con los datos reportados para el año 2013, la zona norte promueve más actividades en C y T. Destacando dentro de las primeras posiciones a los estados Sonora, Nuevo León y Jalisco. Sin embargo, aunque estados como Sinaloa ocupan posiciones intermedias, el desarrollo de actividades enfocadas al monitoreo de OGM se lleva a cabo en Institutos Tecnológicos como el ITSON en Sonora y la Universidad Autónoma de Sinaloa (Fig. 6.1).

Adicionalmente, se localizaron centros de investigación CONACYT, encontrando que los que se especializan en áreas relacionadas con biotecnología, biología molecular y desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados son: Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), El Colegio de la Frontera Sur, así como Universidades: Instituto Politécnico Nacional (IPN en el Centro de Biotecnología Genómica y Centro de Estudios Avanzados – Irapuato), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro Universitario Tenancingo, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Nuevo León y la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

Adicionalmente, con base en información de CIBIOGEM se localizaron los nodos de instituciones que participan en los grupos de trabajo. Cada una de estas tiene determinadas áreas de interés como son: análisis molecular de plantas, de peces, impacto a la salud humana (UACH), detección y monitoreo de OGM (CICY, IPN), monitoreo de resistencia de insectos a cultivos GM (UAEM), impacto socio-económico, regulación de OGM (UAT), biotecnología vegetal, modelos forestales, medio ambiente y sustentabilidad

(ECOSUR), estudio de ecosistemas (RED MEX-LITER), biotecnología vegetal, de insectos y microbiana (CINVESTAV), seguimiento a toxinas Cry, control de plagas de algodón (CESAVECH), distribución de OGM, riesgos de contaminación por flujo genético, impacto en agro-ecosistemas, ambiental y social (CA-MIA), monitoreo de OGM, biodiversidad de maíces, conservación de variedades (ITEC de Roque), agricultura sostenible, conservación de suelos y agua, reproducción y rescate de semillas nativas (PRODERVIG), impactos socio-económicos, cultivos OGM (UAM-Xochimilco), ecología, monitoreo y detección (UANL).

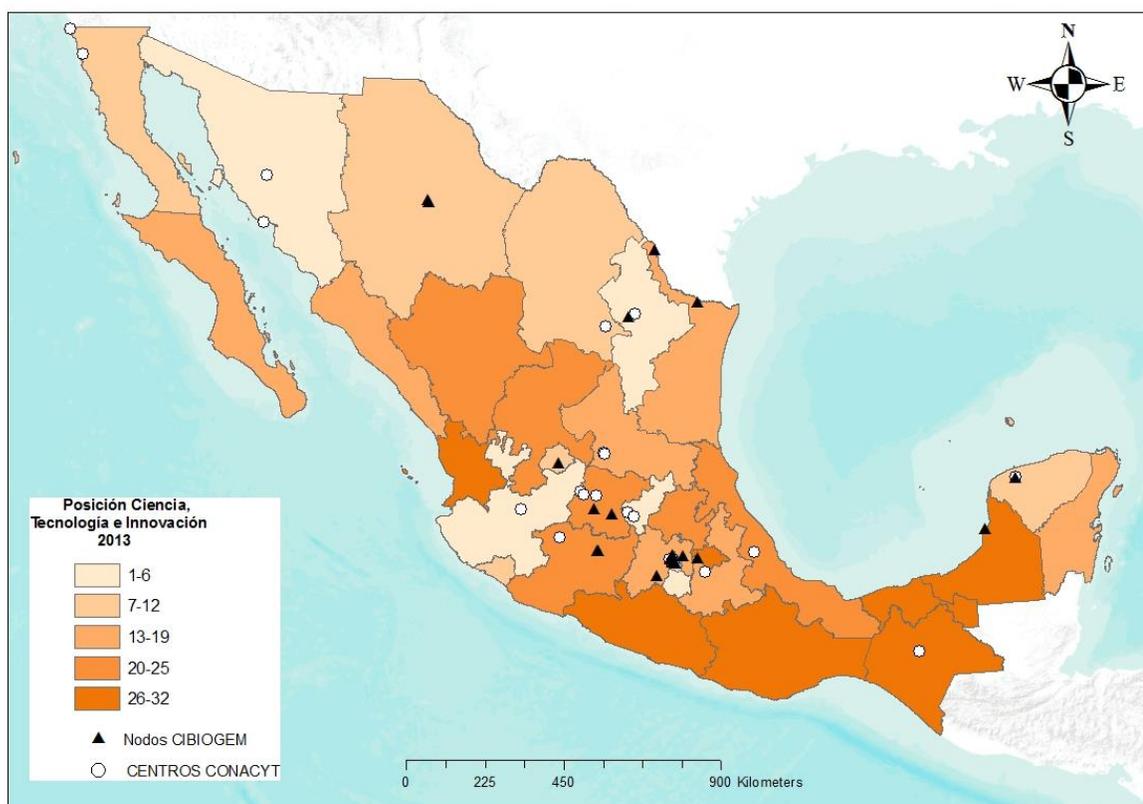


Figura 6.1 Mapa de localización Ranking Nacional de Ciencia y Tecnología y Centros de Investigación en actividades con OGM

Fuente. CIBIOGEM – FCCYT (2013)

Por otra parte se incluyeron además los corredores biológicos del país con el fin de conocer áreas restringidas y verificar el cumplimiento con zonas autorizadas para siembra de cultivos genéticamente modificados. Se encontró que para el caso de autorizaciones de

maíz y algodón GM en los estados de Sonora y Sinaloa, no existe interferencia con áreas restringidas (Fig. 6.2).

Adicionalmente, se observa que los corredores biológicos se encuentran distribuidos en la parte sur del país y las autorizaciones se han emitido generalmente en la zona centro y norte. Conviene mencionar que el enfoque que tiene entonces la adopción de OGM en el país está orientado hacia una agricultura tecnificada y de carácter económico. Con base en la figura 6.1, los principales lugares en el ranking los ocupan estados del norte, pues allí existe mayor interés por impulsar actividades de ciencia y tecnología. Esto podría deberse a que de esta forma se tiene mayor acercamiento a mercados externos al cumplirse con exigencias en producción de determinados productos.

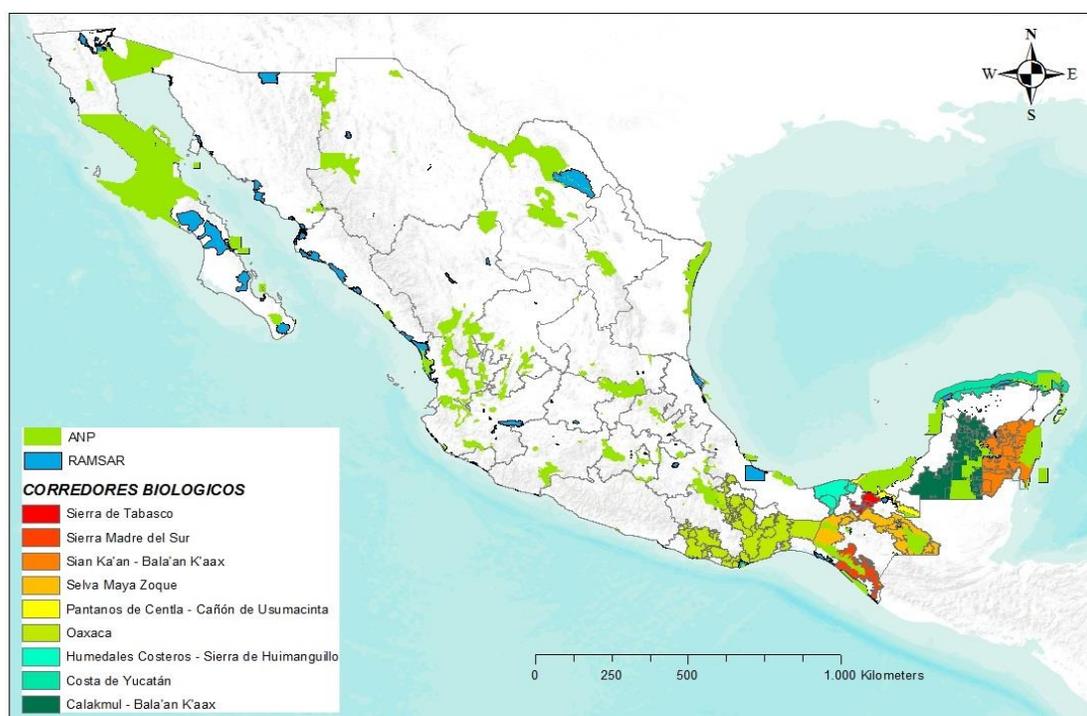


Figura 6.2 Corredores Biológicos y Zonas Protegidas

Fuente: CONABIO, 2012

6.1.1. Variables climáticas

6.1.1.1. Algodón

El algodón es un cultivo de zonas tropicales, para que se dé un buen desarrollo de éste, se requieren aproximadamente 160 días con temperaturas entre 20 y 30°C y que durante un intervalo de 200 días no se presenten heladas, pues el cultivo es susceptible a perderse en gran medida por este factor (Pérez Hernández *et al.*, s.f). El cultivo es anual, generalmente las épocas de siembra se dan entre los meses de abril a septiembre, justo en el ciclo primavera-verano (Pérez Hernández *et al.*, s.f).

Con base en mapas mensuales de heladas desarrollados por el Laboratorio Nacional de Geoprocusamiento de Información Fitosanitaria (LaNGIF), se observa que las mayores heladas en el país se presentaron durante los meses de enero y diciembre, alcanzando en algunos meses hasta 25 en condiciones de heladas (Fig. 6.3).

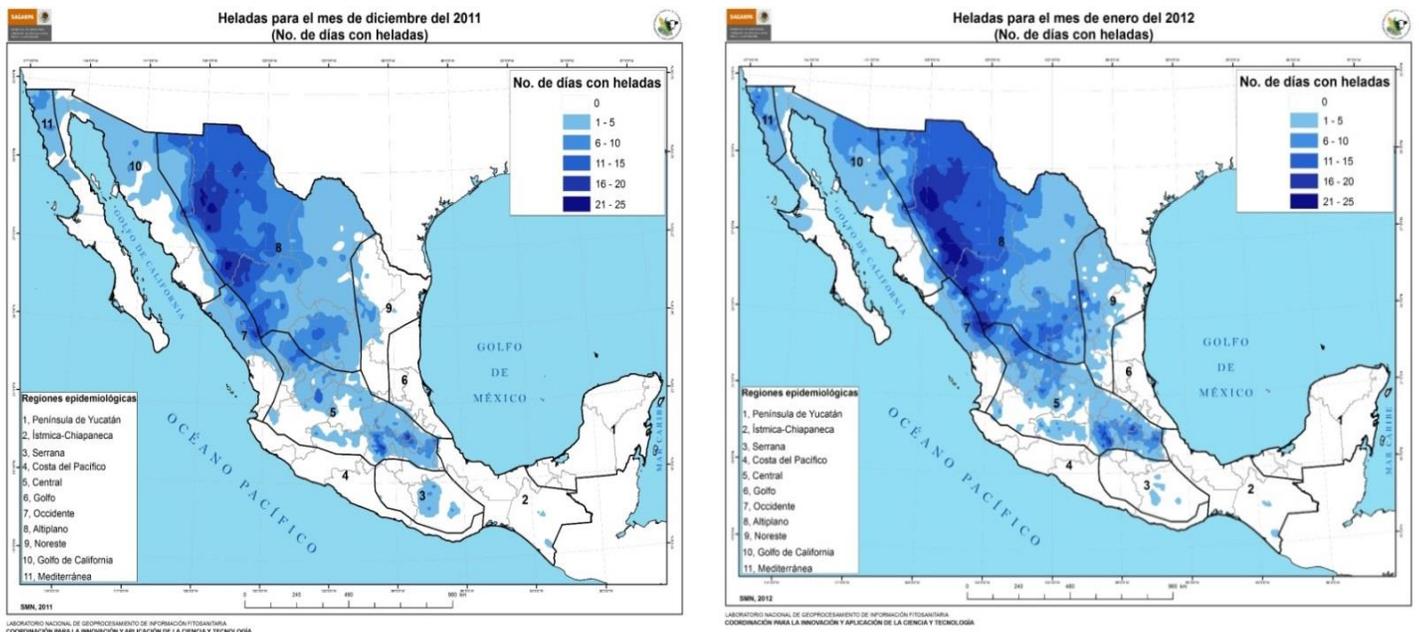
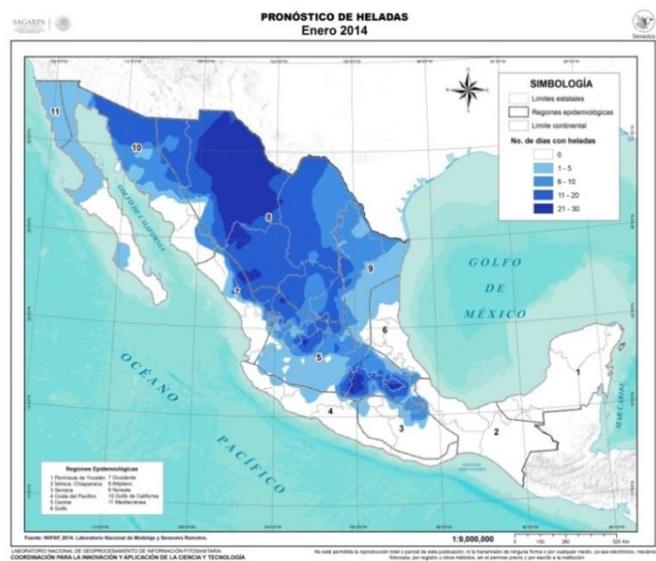
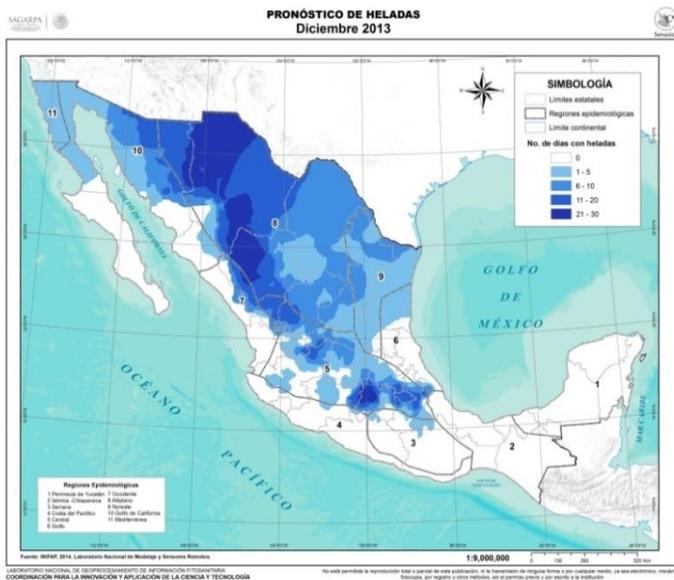


Figura 6.3 Heladas 2011-2014
Fuente: Boletines Climáticos Fitosanitarios, SINAVEF. Consultado abril, 2015



Continuación Figura 6.3 Heladas 2011-2014

Fuente: Boletines Climáticos Fitosanitarios, SINAVEF. Consultado abril, 2015

Para las zonas que se estudiaron, específicamente Sonora, se observa que los días de heladas oscilaron entre 1 y 5 para el año 2011, entre 1 y 10 para el año 2012 y entre 1 y 20 para los años 2013 y 2014. El estado ha sido susceptible a tener pérdidas de cosechas a causa de la variabilidad climática. Sin embargo, con base en la información suministrada por el SIAP se observa que en 2011 la superficie de siembra de algodón fue de 19,379.13 ha y no hubo superficie siniestrada. Para el año 2012, tampoco se reportan pérdidas de cosechas, sin embargo la superficie de siembra fue menor con 15,400.90 Ha. Para el 2013, se observa un descenso mayor de superficie sembrada y cosechada, aunque no hubo pérdidas por heladas, la superficie bajó a 4,192.90 Ha.

6.1.1.2. Maíz

El Noroeste de México es una región de clima templado semi-seco, presenta altitudes entre 200 y 1000 msnm. Las mejores condiciones de temperatura se alcanzan durante mayo a octubre en donde se alcanzan entre 1700 y 2500 unidades de calor, bajo las que se rigen para la siembra de cultivos. Las variedades de maíz (denominado grupo A) que se presentan en los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Durango son: Azul, blando de sonora, bofo, cristalino de chihuahua, chapolote, dulce, lady finger, mushito, onaveño y tabloncillo.

Se considera que el maíz, en esta región es vulnerable a sequías, heladas, incendios forestales, inundaciones y granizadas (Gómez y Esquivel, 2002). Los eventos climáticos (heladas y sequías) presentados entre los años 2011-2014 en el país, tuvieron impactos en la producción de los cultivos de maíz en la zona (Fig. 4). Para el análisis de producción perdida se consideró el concepto de *superficie siniestrada*, entendida como aquella área donde se registra pérdida total por afectación de fenómenos climáticos, plagas o enfermedades (SIAP y SAGARPA, 2007).

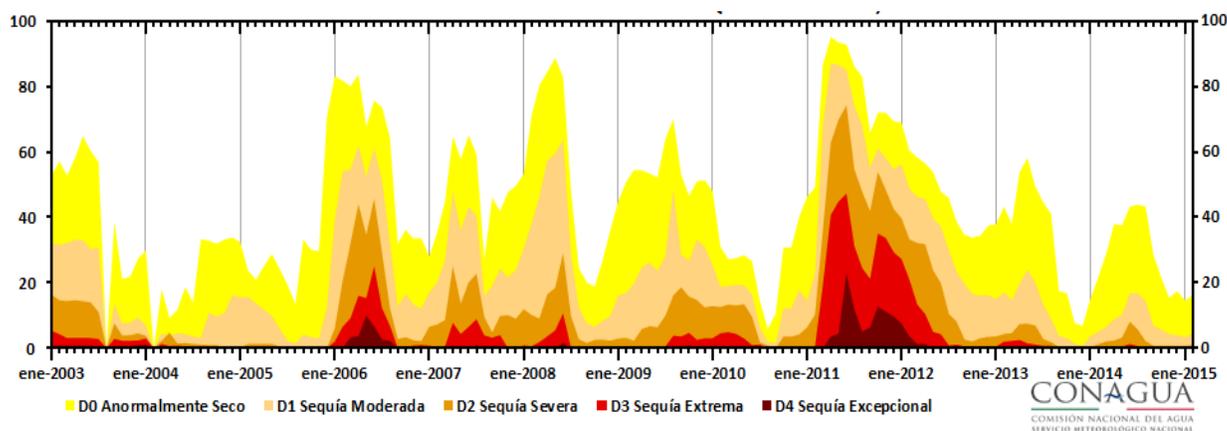


Figura 6.4 Área (%) afectada por condiciones de sequía en México
Fuente: CONAGUA

La figura 6.4 señala el porcentaje de área afectada por condiciones de sequía, es claro que los años donde se presentó más del 80% de condiciones de sequía extrema y excepcional fue durante el 2011 y hasta agosto del 2012, influyendo en la producción de maíz en diversas zonas del país.

Con base en información del SIAP, se realizó la comparación entre superficies sembrada, cosechada y siniestrada para el estado de Sinaloa encontrando que para el año 2011, la superficie sembrada sumo un total de 837,049 Ha. Sin embargo, a causa de los eventos climáticos, la superficie siniestrada fue de 21,627 ha, reduciendo la superficie cosechada en un 69% de lo sembrado, con un total de 49,895 Ha.

Para el año 2012, la superficie de siembra se redujo a 409,402 ha, sin embargo las pérdidas por condiciones climáticas y demás tan solo fueron del 5.2%, ocupando una superficie de 21,204 ha. Se atribuye esta reducción en la superficie de pérdidas a que posterior al mes de agosto de ese año, se redujo el nivel de sequía, lo que pudo influir positivamente en la producción de maíz en la zona (SIAP, 2015).

6.1.2. Control de Plagas

6.1.2.1. Gusano Rosado (*Pectinophora gossyplora*) y Picudo del Algodonero (*Anthonomus grandis*)

El gusano rosado llegó a México desde 1911, estableciéndose en la región noreste del país, es considerado una de las plagas que más daños ocasiona al cultivo (hasta 40% de las bellotas cuando no se toman medidas de control). El gusano rosado junto con el picudo del algodón han sido las plagas más representativas del cultivo. Para su control, se han usado grandes cantidades de plaguicidas (en Apatzingan se llegaron a efectuar hasta 22 aplicaciones/ ciclo para el control de picudo) (SENASICA, 2013).

Por su parte, el picudo del algodón, plaga originaria de México se considera que puede provocar pérdidas hasta en un 100% del rendimiento de las fibras y su control puede ocasionar un incremento en costos de producción mayor al 40% (SENASICA, 2015) (Fig. 6.5).

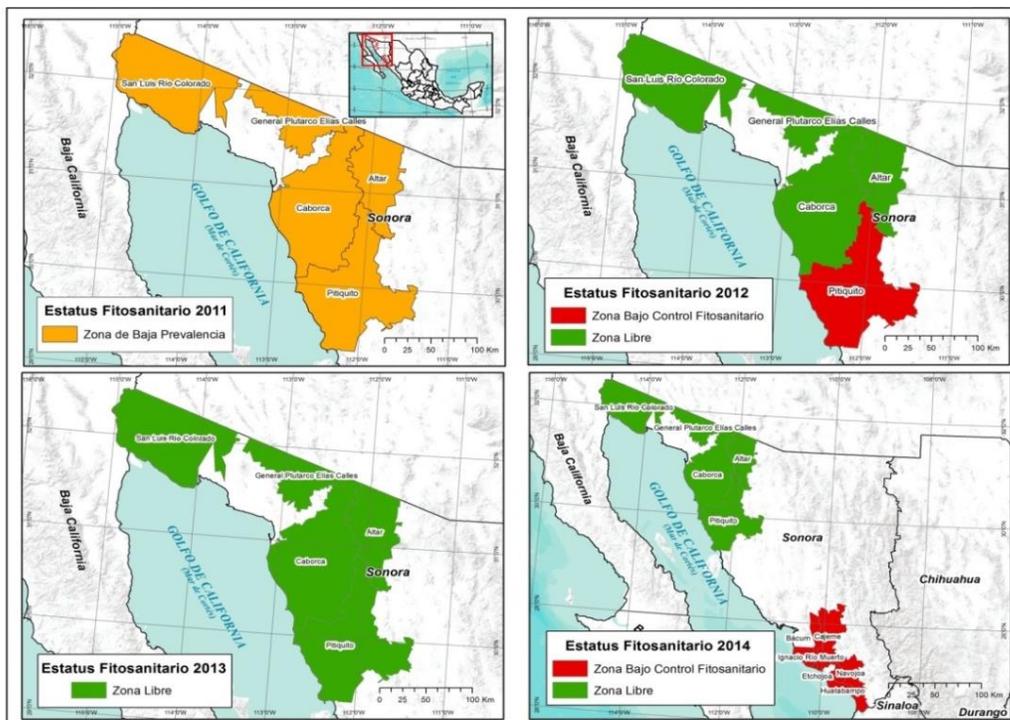


Figura 6.5 Situación Fitosanitaria del Picudo del Algodonero (*Anthonomus grandis Boheman*) 2011-2014

Fuente: Elaboró L.G. José Guillermo Rodríguez Herrera con datos de Mapa multimedia SINAVEF, consultado abril, 2015 (<http://portal.sinavef.gob.mx/mapaMultimedia/MapaMultimedia.html>)

En el año 2007, en Sonora se dio inicio al programa binacional de acciones enfocadas a la erradicación del gusano rosado, dentro de las alternativas que se usaron está la adopción de OGM. Este programa incluía el desarrollo de mapeo de los predios, trampeo para la detección de gusano y picudo, aplicación de insecticidas, control cultural y técnica del gusano estéril (liberación de palomilla estéril de gusano rosado provocando la cruce entre esta y especies nativas, reduciendo su reproducción) (SENASICA, 2013; SENASICA, 2013c). Como acción alterna, se utilizó algodón GM para el control de esta plaga (SENASICA, 2013).

De acuerdo con los informes emitidos por SENASICA en relación a la campaña, durante el año 2013 se utilizó un monitoreo de plagas con ayuda de trampas espaciales, como resultado no se encontró presencia del gusano o del picudo (SENASICA, 2013c). Para el

mismo año se redujeron los niveles de infestación del gusano en un 99.9% (Fig. 6.6). Según información de SENASICA, como resultado del programa Binacional se dejaron de aplicar más de 1.4 millones de litros de insecticidas (SENASICA, 2013). Para el año 2014, se usaron métodos de trapeo (86 trampas), muestreo y control autocida para capturas de gusano rosado en el norte de Sonora, no se registró presencia de dicha plaga (SENASICA, 2014).

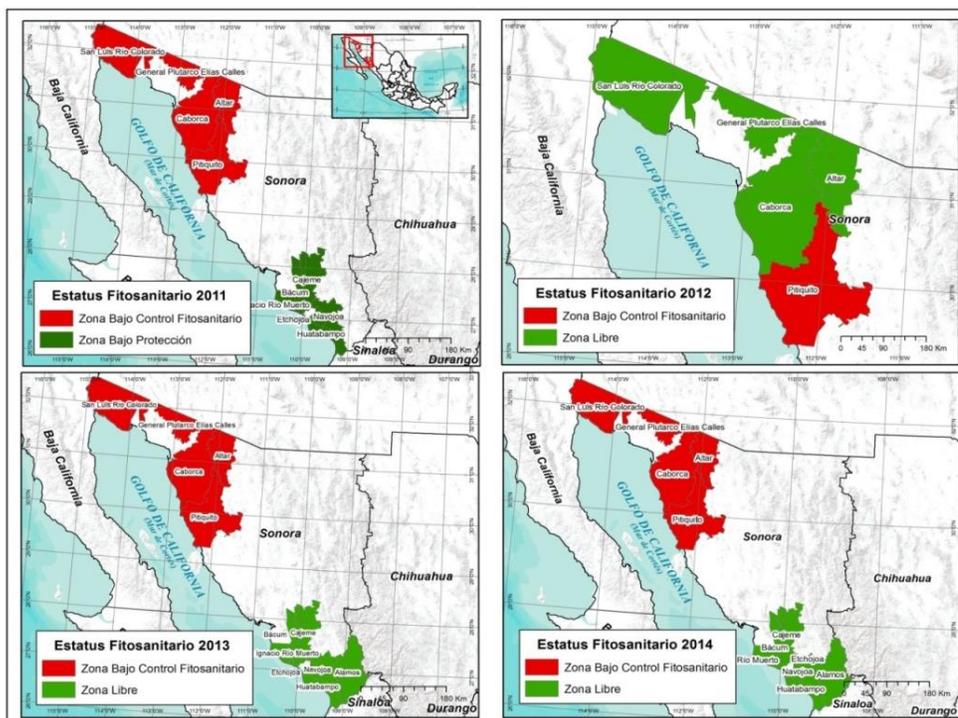


Figura 6.6 Situación Fitosanitaria del Gusano Rosado (*Pectinophora gossypiella*) 2011-2014.

Fuente: Elaboro: L.G. José Guillermo Rodríguez Herrera, con datos de Mapa multimedia SINAVEF, consultado mayo, 2015 (<http://portal.sinavef.gob.mx/mapaMultimedia/MapaMultimedia.html>)

6.1.2.2. Gusano de la mazorca (*Helicoverpa Armigera*)

El gusano de la mazorca o gusano elotero es una especie que se encuentra distribuida en algunos países de Sudamérica, Africa, Asia, Europa y Oceanía. En América Latina incluye los países de Brasil, Argentina, Paraguay y Puerto Rico. Es una especie en riesgo fitosanitario en México, que de no controlarse podría ocasionar impactos económicos notables en el país. Según información de localizada en la base de datos de SINAVEF

(mapa multimedia), actualmente el gusano de la mazorca se encuentra ausente, es decir que no se ha encontrado su presencia durante la revisión de trampas (Fig. 6.7).

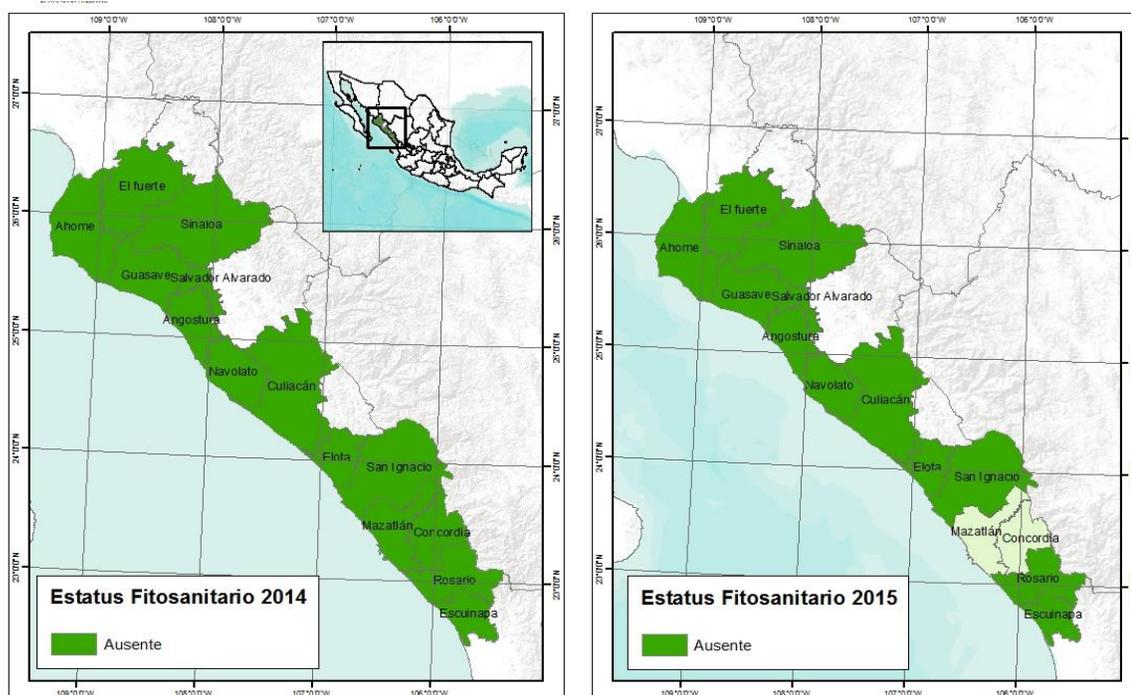


Figura 6.7 Situación Fitosanitaria del Gusano de la mazorca (*helicoverpa armigera*) durante 2014-2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de Mapa multimedia SINAVEF, consultado abril, 2015 (<http://portal.sinavef.gob.mx/mapaMultimedia/MapaMultimedia.html>)

Se han detectado plantas hospedantes (donde podría llegar a establecerse la plaga) potenciales en el país, dentro de los que se destacan el maíz, algodón, garbanzo, soya, alfalfa, tomate y chile verde, entre otros (Fig. 6.8). Con base en información de SIAP y SENASICA se encontró que los principales estados que pudieran estar en riesgo por medio de plantas hospedantes del insecto son: Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Zacatecas, equivalente a una superficie de superficie de siembra en riesgo de 139,026 Ha (SENASICA, 2014a)

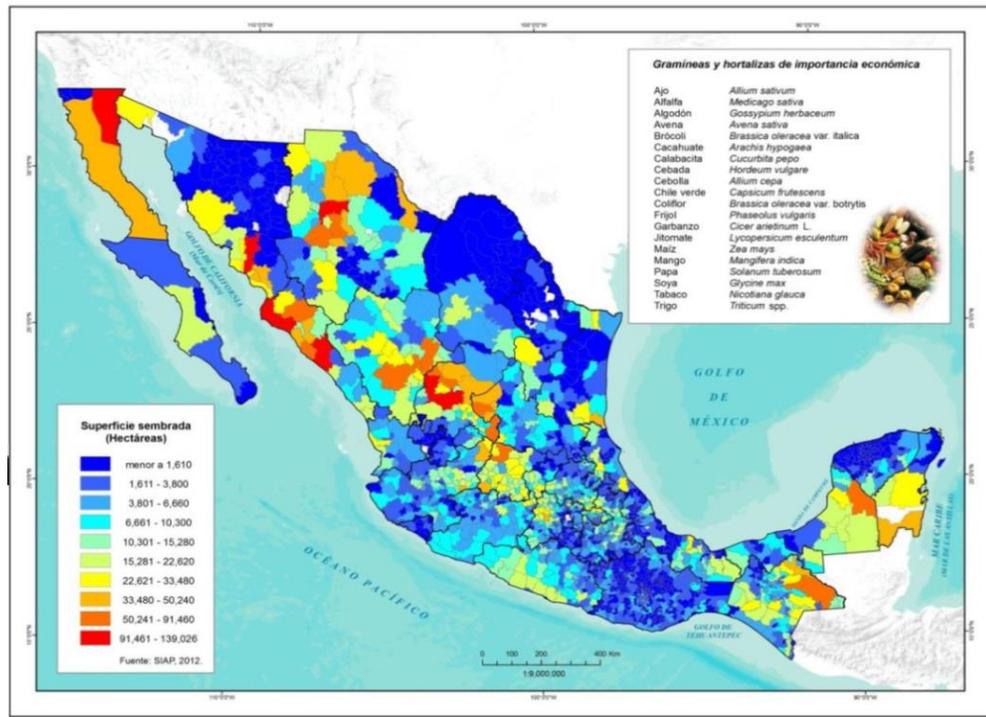


Figura 6.8 Área potencial en riesgo por hospedantes de *Helicoverpa Armigera*
Fuente: SAGARPA-SENASICA, 2014

6.1.2.3. Gusano elotero (*Helicoverpa Zea*)

El Gusano elotero es una plaga que daña el cultivo del maíz al afectar el fruto durante sus fases iniciales de formación. Con base en información del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Sinaloa (CESAVIN) este tipo de gusano ha ocasionado pérdidas de hasta un 20% de la producción. La superficie de siembra en los municipios: Ahome, El fuerte, Guasave, Sinaloa de Leyva, Angostura, Salvador Alvarado, Mocorito, Culiacán, Navolato y Elota se encuentra bajo control fitosanitario, con el fin de reducir el nivel de infestación de la plaga de 20 a 15% (CESAVESIN, 2015) (Fig. 6.9).



Figura 6.9 Situación Fitosanitaria del Gusano elotero (*Helicoverpa Zea*) 2007-2008
Fuente: Elaboración con datos de Mapa multimedia SINAVEF, consultado abril, 2015
(<http://portal.sinavef.gob.mx/mapaMultimedia/MapaMultimedia.html>)

6.2. Matriz FODA (SWOT)

6.2.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) (SWOT, por sus siglas en inglés Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) es una herramienta de planeación estratégica, utilizada para la toma de decisiones respecto a un proyecto. Permite identificar factores internos (Fortalezas y Debilidades) y externos (Oportunidades y Amenazas) en una organización o un proyecto respecto a su medio (Shariatmadari *et al.*, 2013). Este análisis permite tener un diagnóstico de determinada situación y pre visualizar un panorama a futuro. A partir del análisis de los factores, se plantean estrategias de acuerdo a lo siguiente:

Estrategias FO, que utilizan las fortalezas para maximizar las oportunidades

Estrategias DO, que minimizan las debilidades aprovechando las oportunidades

Estrategias FA, que usan las fortalezas para minimizar las amenazas

Estrategias DA, que minimizan las debilidades para evitar las amenazas (Aslan *et al.*, 2012)

6.2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la matriz FODA se utilizó la información obtenida durante el desarrollo del proyecto como bases de datos, artículos, textos y aquella información recopilada durante el trabajo de campo por medio de encuestas y entrevistas.

Las variables de entrada para la formulación de los factores internos y externos se consideraron partiendo de los tres impactos analizados: económico, ambiental y de seguridad alimentaria; así como de los posibles riesgos, beneficios y perspectivas de los OGM. Adicionalmente, se consideraron otras variables como: ciencia y tecnología, plagas, sequias y heladas para el análisis final.

Posterior a la formulación de factores, se procedió a realizar un contraste entre Fortalezas y Oportunidades (FO), Debilidades y Oportunidades (DO), Fortalezas y Amenazas (FA) y Debilidades y Amenazas (DA), con el fin de proponer estrategias de solución a la problemática detectada en el tema OGM.

6.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de obtener un diagnóstico de la situación y con base en las herramientas y metodología utilizadas en este proyecto. Se procedió a formular aquellas fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas entorno al tema Organismos Genéticamente Modificados:

6.2.3.1. Fortalezas: Se definieron considerando los beneficios de utilizar OGM en los tres ejes del proyecto: ambiental, económico y seguridad alimentaria. La información se estructuró con referencia en artículos científicos, libros y trabajo de campo realizado.

F1. Los OGM representan una alternativa para el control de insectos (lepidópteros) y malezas (Speese, 2004; Ashraf and Akram, 2009; Wang *et al.*, 2010).

F2. Mejoras en el rendimiento de los cultivos y en la calidad del producto cosechado (James, 2014; trabajo de campo)

F4. La alternativa representa beneficios económicos y ambientales, en relación a la reducción en el uso de agroquímicos (Nelson y Bullock, 2003; Areal *et al.*, 2012; Speese, 2004; Russell, 2008; Krishna y Qaim, 2012).

F5. Aporta mejoras en el contenido vitamínico de los alimentos (Qaim, 2010)

F6. Representa beneficios económicos para aquellos productores que rentan sus parcelas a las compañías para realizar experimentación con OGM (trabajo de campo).

F7. Es una alternativa económicamente viable para productores que cuentan con maquinaria propia (trabajo de campo).

6.2.3.2. Oportunidades: Se estructuraron con base en información de la literatura acerca de las perspectivas de los OGM, la reforma al campo agrícola en México y en la información obtenida en el trabajo de campo.

O1. Los nuevos desarrollos de OGM pueden aportar a que exista una mayor disponibilidad de cosechas bajo condiciones de sequía o salinidad (Aerni y Bernauer, 2006; James, 2013; Liang *et al.*, 2014).

O2. Con base en la reforma al campo agrícola en México, se espera que existan incentivos económicos al campo hacia la adopción de estrategias de control y producción en el campo, como lo es la adopción de OGM.

O3. Uso de OGM como alternativa para la remoción de contaminantes (Abhilash *et al.*, 2009)

O4. Alternativa para mejorar la producción de materias primas usadas para la producción de biocombustibles.

O5. Existe valioso capital intelectual en México desaprovechado, por lo que debería promoverse más el uso del conocimiento de investigadores nacionales en temas de C y T (trabajo de campo).

6.2.3.3. Debilidades: Estructuradas con base en la información reportada en la literatura, trabajo de campo a través de entrevistas a productores, técnicos, investigadores y miembros del sistema producto, así como aquella obtenida a través de la aplicación del cuestionario LIKERT.

D1. Acceso a un grupo específico de productores (pequeños y grandes), a excepción de los productores de subsistencia quienes tienen poco acceso económico para adoptar esta alternativa (Adenle *et al.*, 2013).

D2. Existe poco control en el manejo de aplicaciones de herbicidas dentro de los cultivos agrícolas (trabajo de campo).

D3. Costos por adopción de medidas de bioseguridad en el campo agrícola (Schaper y Parada, 2001).

D4. No se realiza una trazabilidad post-cosecha (trabajo de campo).

D5. El acceso a la información es limitado (trabajo de campo).

D6. Insuficiente manejo de información al público (Resultados Likert).

D7. Dependencia de insumos hacia compañías multinacionales (proveedores de las semillas GM) (Tironi *et al.*, 2013).

D8. México cuenta con un marco normativo en términos de bioseguridad, sin embargo, se requiere incluir la participación de la sociedad en la toma de decisiones (FAO, 2001), además de garantizar que existe una amplia difusión en la información en relación a beneficios y riesgos de los OGM.

D9. Necesidad por ampliar estudios científicos que disminuyan la incertidumbre en relación a beneficios y riesgos de los OGM (Vergrat y Brown, 2007; Xue *et al.*, 2012)

6.2.3.4. Amenazas: Considerando el debate beneficio-riesgo que existe entorno al tema de bioseguridad de OGM, se plantean posibles amenazas que pudieran causar riesgos durante el uso o liberación de OGM en cultivos agrícolas.

A1. Potencial polinización cruzada desde cultivos GM hacia cultivos no GM, ocasionando una potencial pérdida de biodiversidad (Messean *et al.*, 2006)

A2. Efectos potenciales en la salud (Chao y Krewski, 2008)

A3. Impactos al suelo y cuerpos de agua, por arrastre de agroquímicos y persistencia de toxinas Bt (García y Altieri, 2005; Vergrat y Brown, 2007; Weale, 2010).

A4. Potencial resistencia de insectos y malezas a los OGM (Vergrat y Brown, 2007)

A5. Potencial impacto a especies no blanco (FAO, 2001)

A6. Dependencia en el manejo de proveedores de semillas GM, considerando a las compañías multinacionales como únicos proveedores en el país (trabajo de campo).

6.2.3.5. Estrategias FO: utilizar las fortalezas para maximizar las oportunidades

FO1. Aprovechar la mejora en la productividad de los cultivos para ingresar a nuevos mercados.

FO2. Usar OGM como alternativa hacia la reducción de GEI, (uso para la producción de biocombustibles).

FO3. Direccionar el uso de OGM para mejorar la disponibilidad y acceso a alimentos con mejor calidad nutricional en zonas bajo condiciones extremas.

FO4. Monitorear el uso de agroquímicos en los cultivos para determinar la pertinencia e impactos al ambiente

FO5. Apoyar la investigación nacional en el desarrollo de nuevas variedades GM para remoción de contaminantes.

FO6. Usar la capacidad nacional en I+D para el desarrollo de estudios en impactos en alimentos GM en el país.

FO7. Impulso al campo agrícola, a través de la capacitación y apoyo económico para la adopción de OGM.

6.2.3.6. Estrategias DO: minimizar las debilidades, aprovechando las oportunidades

DO1. Mayor difusión de OGM: capacitaciones, cursos, conferencias abiertas al público en relación al tema.

DO2. Fomento a la investigación en centros, universidades para el desarrollo de variedades GM nacionales.

DO3. Capacitación y seguimiento a agricultores en el manejo de agroquímicos.

DO4. Desarrollar estudios de percepción pública para detectar problemas y establecer estrategias de solución en el tema de los OGM.

DO5. Proveer apoyos económicos a PyMEs para la adopción de OGM.

DO6. Mayor participación de sector salud en información sobre impactos de OGM: campañas de capacitación, foros y conferencias abiertas al público.

DO7. Ampliar el desarrollo de estudios beneficio-riesgo ambiental, económico y de salud, en el uso de OGM.

DO8. Involucrar la participación social en la toma de decisiones en el tema OGM

6.2.3.7. Estrategias FA: utilizar las fortalezas para minimizar las amenazas

FA1. Continuar con el desarrollo de estudios de evaluación y monitoreo de flujo de genes, particularmente en aquellos cultivos susceptibles a su polinización por viento.

FA2. Utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como modelos HYSPLIT y Maxent como herramienta de apoyo para determinar potenciales dispersiones de polen.

FA4. Ampliar el desarrollo de estudios beneficio-riesgo ambiental y de salud en el uso de OGM.

FA5. Desarrollar actividades de evaluación de impacto, que permitan detectar impactos potenciales en especies no objetivo (contratación de centros de investigación)

6.2.3.8. Estrategias DA: minimizar las debilidades para evitar las amenazas

DA1. Ampliar los estudios de investigación en relación a impactos de los OGM en la salud.

DA2. Evaluación de especies ante y posterior a cultivos OGM (MIA)

DA3. Trazabilidad de productos en siembra, cosecha y post-cosecha

DA4. Fomento a la investigación en centros, universidades para el desarrollo de variedades nacionales.

DA5. Desarrollar actividades de evaluación de impacto, que permitan detectar impactos potenciales en especies no objetivo (contratación de centros de investigación)

DA6. Mayor difusión de OGM: capacitaciones, cursos, conferencias abiertas al público en relación al tema.

DA7. Incentivos a PyMEs para el impulso del campo agrícola.

DA8. Estudios de percepción pública para detectar problemas y establecer estrategias de solución.

DA9. Mayor participación de sector salud en la emisión de información sobre impactos de OGM: desarrollo de campañas de capacitación, foros y conferencias abiertas al público.

Tabla 6.1A. MATRIZ FODA: Estrategias FO y DO

	Fortalezas	Debilidades
	<p>F1. Los OGM representan una alternativa para el control de insectos (lepidópteros) y malezas.</p> <p>F2. Mejoras en el rendimiento de los cultivos y en la calidad del producto cosechado.</p> <p>F4. La alternativa representa beneficios económicos y ambientales, en relación a la reducción en el uso de agroquímicos.</p> <p>F5. Aporta mejoras en el contenido vitamínico de los alimentos.</p> <p>F6. Representa beneficios económicos para aquellos productores que rentan sus parcelas a las compañías para realizar experimentación con OGM.</p> <p>F7. Es una alternativa económicamente viable para productores que cuentan con maquinaria propia.</p>	<p>D1. Acceso a un grupo específico de productores (pequeños y grandes), a excepción de los productores de subsistencia quienes tienen poco acceso económico para adoptar esta alternativa.</p> <p>D2. Existe poco control en el manejo de aplicaciones de herbicidas dentro de los cultivos agrícolas.</p> <p>D3. Costos por adopción de medidas de bioseguridad en el campo agrícola.</p> <p>D4. No se realiza una trazabilidad post-cosecha.</p> <p>D5. El acceso a la información es limitado.</p> <p>D6. Insuficiente manejo de información al público, acerca de OGM.</p> <p>D7. Dependencia de insumos hacia compañías multinacionales.</p> <p>D8. Se requiere incluir en el marco normativo, la participación de la sociedad en la toma de decisiones, además de garantizar que existe una amplia difusión en la información en relación a beneficios y riesgos de los OGM.</p> <p>D9. Necesidad por ampliar estudios científicos que disminuyan la incertidumbre en relación a beneficios y riesgos de los OGM.</p>
Oportunidades	FO	DO
<p>O1. Los nuevos desarrollos de OGM pueden aportar a que exista una mayor disponibilidad de cosechas bajo condiciones de sequía o salinidad.</p> <p>O2. Con base en la reforma al campo agrícola en México, se espera que existan incentivos económicos al campo hacia la adopción de estrategias de control y producción en el campo, como lo es la adopción de OGM.</p> <p>O3. Uso de OGM como alternativa para la remoción de contaminantes.</p> <p>O4. Alternativa para mejorar la producción de materias primas usadas para la producción de biocombustibles.</p> <p>O5. Promover el uso de conocimiento nacional en I + D</p>	<p>FO1. Aprovechar la mejora en la productividad de los cultivos para ingresar a nuevos mercados.</p> <p>FO2. Usar OGM como alternativa hacia la reducción de GEI, (uso para la producción de biocombustibles).</p> <p>FO3. Direccionar el uso de OGM para mejorar la disponibilidad y acceso a alimentos con mejor calidad nutricional en zonas bajo condiciones extremas.</p> <p>FO4. Monitorear el uso de agroquímicos en los cultivos para determinar la pertinencia e impactos al ambiente</p> <p>FO5. Apoyar la investigación nacional en el desarrollo de nuevas variedades GM para remoción de contaminantes.</p> <p>FO6. Usar la capacidad nacional en I+D para el desarrollo de estudios en impactos en alimentos GM en el país.</p> <p>FO7. Impulso al campo agrícola, a través de la capacitación y apoyo económico para la adopción de OGM.</p>	<p>DO1. Mayor difusión de OGM: capacitaciones, cursos, conferencias abiertas al público en relación al tema.</p> <p>DO2. Fomento a la investigación en centros, universidades para el desarrollo de variedades GM nacionales.</p> <p>DO3. Capacitación y seguimiento a agricultores en el manejo de agroquímicos.</p> <p>DO4. Desarrollar estudios de percepción pública para detectar problemas y establecer estrategias de solución en el tema de los OGM.</p> <p>DO5. Proveer apoyos económicos a PyMEs para la adopción de OGM.</p> <p>DO6. Mayor participación de sector salud en información sobre impactos de OGM: campañas de capacitación, foros y conferencias abiertas al público.</p> <p>DO7. Ampliar el desarrollo de estudios beneficio-riesgo ambiental, económico y de salud, en el uso de OGM.</p> <p>DO8. Involucrar la participación social en la toma de decisiones en el tema OGM.</p>

Tabla 6.1B. MATRIZ FODA: Estrategias FA y DA

	Fortalezas	Debilidades
	<p>F1. Los OGM representan una alternativa para el control de insectos (lepidópteros) y malezas.</p> <p>F2. Mejoras en el rendimiento de los cultivos y en la calidad del producto cosechado.</p> <p>F4. La alternativa representa beneficios económicos y ambientales, en relación a la reducción en el uso de agroquímicos.</p> <p>F5. Aporta mejoras en el contenido vitamínico de los alimentos.</p> <p>F6. Representa beneficios económicos para aquellos productores que rentan sus parcelas a las compañías para realizar experimentación con OGM.</p> <p>F7. Es una alternativa económicamente viable para productores que cuentan con maquinaria propia.</p>	<p>D1. Acceso a un grupo específico de productores (pequeños y grandes), a excepción de los productores de subsistencia quienes tienen poco acceso económico para adoptar esta alternativa.</p> <p>D2. Existe poco control en el manejo de aplicaciones de herbicidas dentro de los cultivos agrícolas.</p> <p>D3. Costos por adopción de medidas de bioseguridad en el campo agrícola.</p> <p>D4. No se realiza una trazabilidad post-cosecha.</p> <p>D5. El acceso a la información es limitado.</p> <p>D6. Insuficiente manejo de información al público, acerca de OGM.</p> <p>D7. Dependencia de insumos hacia compañías multinacionales.</p> <p>D8. Se requiere incluir en el marco normativo, la participación de la sociedad en la toma de decisiones, además de garantizar que existe una amplia difusión en la información en relación a beneficios y riesgos de los OGM.</p> <p>D9. Necesidad por ampliar estudios científicos que disminuyan la incertidumbre en relación a beneficios y riesgos de los OGM.</p>
Amenazas	FA	DA
<p>A1. Potencial polinización cruzada desde cultivos GM hacia cultivos no GM, ocasionando una potencial pérdida de biodiversidad.</p> <p>A2. Efectos potenciales en la salud (toxicidad-alergenicidad).</p> <p>A3. Impactos al suelo y cuerpos de agua, por arrastre de agroquímicos y persistencia de toxinas Bt.</p> <p>A4. Potencial resistencia de insectos y malezas a los OGM.</p> <p>A5. Potencial impacto a especies no blanco.</p>	<p>FA1. Continuar con el desarrollo de estudios de evaluación y monitoreo de flujo de genes, particularmente en aquellos cultivos susceptibles a su polinización por viento.</p> <p>FA2. Utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como modelos HYSPLIT y Maxent como herramienta de apoyo para determinar potenciales dispersiones de polen.</p> <p>FA4. Ampliar el desarrollo de estudios beneficio-riesgo ambiental y de salud en el uso de OGM.</p> <p>FA5. Desarrollar actividades de evaluación de impacto, que permitan detectar impactos potenciales en especies no objetivo (contratación de centros de investigación)</p>	<p>DA1. Ampliar los estudios de investigación en relación a impactos de los OGM en la salud.</p> <p>DA2. Evaluación de especies ante y posterior a cultivos OGM (MIA)</p> <p>DA3. Trazabilidad de productos en siembra, cosecha y post-cosecha</p> <p>DA4. Fomento a la investigación en centros, universidades para el desarrollo de variedades nacionales.</p> <p>DA5. Desarrollar actividades de evaluación de impacto, que permitan detectar impactos potenciales en especies no objetivo (contratación de centros de investigación)</p> <p>DA6. Mayor difusión de OGM: capacitaciones, cursos, conferencias abiertas al público en relación al tema.</p> <p>DA7. Incentivos a PyMEs para el impulso del campo agrícola.</p> <p>DA8. Estudios de percepción pública para detectar problemas y establecer estrategias de solución.</p> <p>DA9. Mayor participación de sector salud en la emisión de información sobre impactos de OGM: desarrollo de campañas de capacitación, foros y conferencias abiertas al público.</p>

6.2.4. CONCLUSIONES CAPÍTULO 6

El desarrollo de un análisis FODA, con base en el uso de literatura, variables climáticas, ambientales y económicas proporciona una alternativa adecuada hacia un diagnóstico del problema, permitiendo establecer estrategias de solución en pro de clarificar la situación de los OGM en el país.

Los OGM son una alternativa adicional para el control de plagas en los cultivos agrícolas, sin embargo, se requiere realizar análisis más detallados en relación al control en las aplicaciones de insecticidas y herbicidas que permitan soportar su impacto en la reducción de emisiones contaminantes en el ambiente.

El desconocimiento de información por parte del público es uno de los mayores problemas detectados en el país, por lo tanto conviene que las instituciones involucradas en el tema de los OGM realicen campañas, conferencias, foros abiertos y amplíen sus métodos de difusión, de tal forma que se brinde un panorama claro e imparcial, que sirva de base para una futura toma de decisiones por parte del consumidor.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Existe un debate a nivel mundial en relación al impacto a la salud y al medio ambiente en el uso de los OGM. Por lo que, se hace necesario ampliar el desarrollo de investigaciones y uso de instrumentos de evaluación del riesgo, que aporten alternativas de solución para la toma de decisiones en el uso de los OGM.
2. La adopción de cultivos GM en las zonas de estudio representa una alternativa económicamente viable para el control de plagas, a través de la reducción en el número de aplicaciones de agroquímicos.
3. El uso de herramientas SIG y el modelo HYSPLIT, junto con ciertas variables climáticas permitieron corroborar el cumplimiento de la LBOGM en zonas restringidas así como, estimar desde una perspectiva espacial el riesgo potencial de dispersión de polen GM a cultivos convencionales.
4. El desarrollo de OGM representa una alternativa para incrementar el rendimiento en los cultivos agrícolas y mejorar la disponibilidad de alimentos. Sin embargo, esta opción debe analizarse según el lugar y tipo de cultivo; En México, la situación del maíz, genera una disyuntiva entre mejorar su disponibilidad al sembrar con OGM o proteger la diversidad de razas de maíz de una potencial pérdida como resultado del uso de OGM.
5. El estudio de percepción pública permitió detectar desconocimiento acerca de la información relacionada con riesgos e impactos potenciales de los OGM. Por lo tanto, conviene implementar acciones de difusión y capacitación que incluyan un panorama completo e imparcial de la situación de los OGM, permitiendo al

consumidor decidir desde una visión completa, la pertinencia o no en el consumo de alimentos con contenido GM.

6. La utilización del análisis FODA proporciona una alternativa importante de diagnóstico del impacto de los OGM, ya que permite contrastar criterios de salud, medio ambiente y económico de éstos, facilitando la formulación de estrategias o alternativas de solución a la problemática existente.

REFERENCIAS

Abhilash, P.C., Jamil, S., Singh, N., (2009). Transgenic plants for enhanced biodegradation and phytoremediation of organic xenobiotics. *Biotechnology Advances*. 27, 474-488.

Abreu, P., M. Aglietta, M. Ahlers, E.J. Ahn, I. F. M. Albuquerque. (2011). Description of atmospheric conditions at the Pierre Auger Observatory using the Global Data Assimilation System (GDAS). *Astroparticle Physics* 35: 591–607.

ACSA. (2012). *Biotecnología. Evaluación de nuevas técnicas de cultivo de plantas: la cisgénesis y la intragénesis*. Agencia de Salud Pública de Catalunya.

Adenle, A.A., (2011). Global capture of crop biotechnology in developing world over a decade. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 9, 83-95.

Adenle, A. A., Jane Morris, E., & Payaril, G. (2013). Status of development, regulation and adoption of GM agriculture in Africa: Views and positions of stakeholder groups. *Food Policy*(43), 159-166.

Aheto, D. W., H. Reuter, and B. Breckling. (2011). A modeling assessment of geneflow in smallholder agriculture in West Africa. *Environmental Sciences Europe* 23: 9.

Ahmad, P., M. Ashraf, M. Younis, X. Hu, A. Kumar, N. A. Akram, and F. AL-Qurainy. (2012). Role of transgenic plants in agriculture and biopharming. *Biotechnology Advances* 30: 524-540.

Aerni, P., & Bernauer, T. (2006). Stakeholder Attitudes Toward GMOs in the Philippines, Mexico, and South Africa: The Issue of Public Trust. *World Development*, 34(3), 557-575.

Agrobio. (2015). Recuperado en Mayo de 2015. <http://agrobio.org.co/fend/index.php?op=YXA9I2JXbDQmaW09I016UT0=#>

Agrobio-México. (s.f). AgroBio-México. Recuperado en Abril de 2015. http://www.agrobiomexico.org.mx/index.php?option=com_k2&view=item&id=31:fases-de-liberaci%C3%B3n&Itemid=34

Agrobio-México. (2012). AgroBio-México. Recuperado en Junio de 2015 de <http://www.agrobiomexico.org.mx/descargables/PipelineJune2012.pdf>

Agrobio-México. (2011). AgroBio-México. Recuperado en Abril de 2015. <http://www.agrobiomexico.org.mx/publicaciones/AGROBIOinfografiaAlgodon.pdf>

Agrobio-México. (2015). AgroBio-México. Recuperado el Enero de 2015, de http://www.agrobiomexico.org.mx/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=94&Itemid=28

Alam, K., S. Qureshi, and T. Blaschke. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric Environment* 45: 4641–4651.

Apel, A. (2010). The costly benefits of opposing agricultural biotechnology. *New Biotechnology*. 27, 635-640.

Areal, F.J. Riesgo, L., Gómez-Barbero, M., Rodríguez-Cerezo, E. (2012). Consequences of a coexistence policy on the adoption of GMHT crops in the European Union. *Food Policy*. 37, 401-411.

ArgenBio. (2015). <http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=311>. Recuperada en Julio de 2015.

Arritt, R. W., C. A. Clark, A. S. Goggi, H. Lopez-Sanchez, M. E. Westgate, and J. M. Riese. (2007). Lagrangian numerical simulations of canopy air flow effects on maize pollen dispersal. *Field Crops Research* 102: 151–162.

Artega, R. (2013). ¿Quién pierde y quién gana con el maíz transgénico? FORBES, <http://www.forbes.com.mx/quien-pierde-y-quien-gana-con-el-maiz-transgenico/>. Obtenido de FORBES.

Ashraf, M., and N.A. Akram. (2009). Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: An analytical comparison. *Biotechnology Advances* 27: 744-752.

Aslan, I., Çınar, O., & Kumpikaite, V. (2012). Creating strategies from tows matrix for strategic sustainable development of Kipaş Group. *Journal of Business Economics and Management*, 95-110.

Aumaitre, A., Aulrich, K., Chesson, A., Flachowsky, G., & Piva, G. (2002). New feeds from genetically modified plants: substantial equivalence, nutritional equivalence, digestibility, and safety for animals and the food chain. *Livestock production science*, 74(3), 223-238.

Aylor, D.E., N. P. Schultes, and E. J. Shields. (2003). An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agricultural and Forest Meteorology* 119: 111–129.

Azadi, H., Ho, P., (2010). Genetically modified and organic crops in developing countries: A review of options for food security. *Biotechnology Advances*. 28, 160-168.

Baltazar, M. B., J. J. Sánchez-Gonzalez, L. De la Cruz-Larios, and J.B. Schoper. (2005). Pollination between maize and teosinte: an important determinant of gene flow in Mexico. *Theoretical and Applied Genetics* 110: 519–526.

Bannert, M., and P. Stamp. (2007). Cross-pollination of maize at long distance. *European Journal of Agronomy* 27: 44–51

Bazuin, S., Azadi, H., & Witlox, F. (2011). Application of GM crops in Sub-Saharan Africa: Lessons learned from Green Revolution. *Biotechnology Advances*(29), 908-912.

Beckwith, J. A., Hadlock, T., & Suffron, H. (2003). Public perceptions of plant biotechnology—a focus group study. *New Genetics and Society*, 22(2), 93-109.

Bolívar Zapata, F. G. (2007). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. México: El Colegio Nacional.

Bolivar-Zapata, F.G. 2011. Por un uso Responsable de los Organismos Genéticamente Modificados. Comité de Biotecnología. Academia Mexicana de las Ciencias.

Breckling, B., Reuter, H., Middelhoff, U., Windhorst, W., (2011). Risk indication of genetically modified organisms (GMO): Modelling environmental exposure and dispersal across different scales: Oilseed rape in Northern Germany as an integrated case study. *Ecological Indicators*. 11, 936-941.

Brooke, A. (2012). Elizabeth Fitting: The Struggle for Maize: Campesinos, Workers, and Transgenic Corn in the Mexican Countryside, *Hum Ecol* 40, 331–333.

Brookes, G., & Barfoot, P. (2013). *GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2011*. Dorchester, UK: PG Economics Ltd.

Bullock, D.S., and M. Desquilbet. (2002). The economics of non-GMO segregation and identity preservation. *Food Policy*. 27: 81-99.

Bunting, M.J., and D. Middleton. (2005). Modelling pollen dispersal and deposition using HUMPOL software, including simulating windroses and irregular lakes. *Review of Palaeobotany and Palynology* 134: 185–196.

Cassman, K., & Grassini, P. (2013). Can there be a green revolution in Sub-Saharan Africa without large expansion of irrigated crop production? *Global Food Security*(2), 203-209.

CESAVESIN. (2015). CESAVESIN. Recuperado el Junio de 2015, de Campaña de Manejo Fitosanitario de Maíz: http://www.cesavesin.org.mx/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=59

Chao, E., and D. Krewski. (2008). A risk-based classification scheme for genetically modified foods I: Conceptual development. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 52: 208–222

Chen, J., W. Xu, J. Velten, Z. Xin, and J. Stout. (2012). Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *Journal of Soil and Water Conservation* 67: 354-364.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (s.f). *Resoluciones de Ensayos de Productos Genéticamente Modificados en México de 1988 al 11 de Octubre de 2005* (p. 27). (s.f.).

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2008). *Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México*. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2009). Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2010). Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2011). Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2012). Informe anual de la situación general de bioseguridad en México. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2013). Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México. México: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2014). Informe anual de la situación general sobre la bioseguridad en México. México, DF: CIBIOGEM.

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2015). Recuperado el Junio de 2015, de <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/resoluciones/permisos>

CIBIOGEM Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. (2015 a). Resoluciones CIBIOGEM. Recuperado el Junio de 2015, de Resoluciones CIBIOGEM: <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/resoluciones/permisos>

CIMMYT Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2014). Recuperado el 9 de Septiembre de 2014, <http://www.cimmyt.org/es/quienes-somos/nuestra-historia>

Clive, J. (2012). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications Briefs 44: 1-11.

CNCUB – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2012). Biodiversidad Mexicana. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usuarios/maices/razas2012.html>. Consultado mayo, 2015.

CNN – CNN Expansión (2015). Recuperado en Junio de 2015. <http://www.cnnexpansion.com/economia/2014/08/15/pena-nieto-va-por-reforma-al-campo>

CNUMAD Conferencias de Naciones Unidas sobre el Medio ambiente y el Desarrollo. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro.

COFEPRIS Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2008). Procedimiento de Evaluación de Inocuidad de Organismos Genéticamente Modificados

destinados al uso o consumo humano, procesamiento de alimentos, biorremediación y salud pública. México: Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

Colombia – Colombia.com (2015). Recuperado en Junio de 2015. <http://www.colombia.com/actualidad/especiales/tlc-con-estados-unidos/que-es-el-tlc/>

COLPOS Colegio de Postgraduados. (2015). Colegio de Postgraduados. Recuperado en Junio de 2015, de Colegio de Postgraduados: http://www.colpos.mx/wb/index.php/conocenos/linea-de-tiempo#.VYIsh_I_Oko

Cominelli E., Tonelli, C., (2010). Transgenic crops coping with water scarcity. *New Biotechnology*. 27, 473-477.

CONABIO Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (2012). CONABIO Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Recuperado el 2015, de Áreas de interés para la generación de corredores biológicos: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/areacb2012gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

CONAPO Consejo Nacional de Población. (2010). Índice de Marginación por entidad federativa y municipio. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio. Recuperado Mayo, 2015

Decreto 1840. (1994). Bogotá, DC, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Decreto 3075. (1997). Bogotá, DC, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Decreto 4525. (2005). Decreto 4525 de 2005, Por el cual se reglamenta la Ley 740 de 2002. Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

DOF- Diario Oficial de la Federación. (2005). Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. México, Ciudad de México. 1-44.

DOF- Diario Oficial de la Federación. (2008). (última modificación 2009). Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, pp. 30, México.

DOF- Diario Oficial de la Federación. (2012). Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz. México, Ciudad de México. Segunda Sección.

Draxler, R.R., and G.D. Hess. (1997). Description of the HYSPLIT_4 modeling system. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring. 24 pp.

EFSA - European Food Safety Authority. (2006). Guidance document of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. *EFSA Journal*(99), 1-100.

EFSA - European Food Safety Authority. (2010). Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. European Food Safety Authority.

EFSA - European Food Safety Authority. (2012). Scientific opinion addressing the safety assessment of plants developed through cisgenesis and intragenesis. *EFSA Journal*.

Efstathiou, Ch., S. Isukapalli, and G. Panos. (2011). A mechanistic modeling system for estimating large-scale emissions and transport of pollen and co-allergens. *Atmospheric Environment* 45: 2260-2276.

Eklöf, M., A. Broström, M. J. Gaillard, P. Pilesjö. (2004). OPENLAND3: a computer program to estimate plant abundance around pollen sampling sites from vegetation maps: a necessary step for calculation of pollen productivity estimates. *Review of Palaeobotany and Palynology* 132: 67-77.

Escudero, M., A. Stein, R. R. Sraxler, X. Querol, A. Alastuey, S. Castillo, and A. Avila. (2006). Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated trajectory model (HYSPLIT) model. *Journal of Geophysical Research* 111.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2000). Safety aspects of genetically modified foods of plant origin: report of a Joint FA.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2001). Los organismos modificados genéticamente, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente. FAO.

FAO y OMS. (2006). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)-Organización Mundial de la Salud (OMS). *Codex Alimentarius*. 3er. Edición, pp. 41.

FCCYT- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (2013). Ranking Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. p. 207. México, DF.

Felger, R. S., D. F. Austin, T.R. Van-Devender, J. J. Sánchez-Escalante, and M. Costea. 2012. Convolvulaceae of Sonora, Mexico. I. *Convolvulus*, *Cressa*, *Dichondra*, *Evolvulus*, *Ipomoea*, *Jacquemontia*, *Merremia*, and *Operculina*. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 6 (2): 459-527.

Fernández Aguirre, H. (2001). Panorama económico del algodón en México. Evolución de la siembra y la problemática del TLC en la comercialización. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 8, 190-201.

Financiera Rural. (2014). Panorama del Algodón. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Fonseca, A. E., and M. E. Westgate. (2005). Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Review of Palaeobotany and Palynology* 132: 67–77. *Field Crops Research* 94: 114–125.

Fonseca A. E., M. E. Westgate, L. Grass, and D. L. Dornbos. (2003). Tassel morphology as an indicator of potential pollen production in maize. *Crop Management*. <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/research/2003/tassel/>. Revisado: 20 de Julio de 2013.

Frankema, E. (2014). *Africa and the Green Revolution A Global Historical Perspective*. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences.

Frewer, L. J., van der Lans, I. A., Fischer, A. R., Reinders, M. J., Menozzi, D., Zhang, X., ... & Zimmermann, K. L. (2013). Public perceptions of agri-food applications of genetic modification—a systematic review and meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 30(2), 142-152

Fyfe, R. (2006). GIS and the application of a model of pollen deposition and dispersal: a new approach to testing landscape hypotheses using the POLLANDCAL models. *Journal of Archaeological Science* 33: 483–493.

Galindo-Mendoza, M. G., Lara y Bretón, L. E., Contreras-Servin, C., Olvera Vargas, L. A., Cervantes Limón, D., Domínguez Ornelas, M. A., & Martínez Carrillo, J. L. (2014). Huanglonbing y psílido asiático de los cítricos: un acercamiento metodológico multidisciplinario. San Luis Potosí: CIACYT - LANGIF- UASLP.

Galindo-Mendoza, M. G. (2003). La reorganización económica y espacial de la agroindustria azucarera mexicana en el marco del tratado de libre comercio, problemática, implicaciones y alternativas. En: *La reorganización económica y espacial de la agroindustria azucarera mexicana en el marco del tratado de libre comercio, problemática, implicaciones y alternativas* (pág. 413). México: UNAM.

Garcia, M.A., Altieri, M.A., (2005). *Transgenic Crops: Implications for Biodiversity and Sustainable Agriculture*. *Bulletin of Science, Technology & Society*. 25, 335-353.

Gilbert, L., K. Jackson, and S. Di Gregorio (2014). *Tools for Analyzing Qualitative Data: The History and Relevance of Qualitative Data Analysis Software*. *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. 221-236.

Godheja, J. (2013). Impact of GMO'S on environment and human health. *Recent Research in Science and Technology* 5 (5): 26-29.

Goggi, A. S., P. Caragea, H. Lopez-Sanchez, M. Westgate, R. Arritt, and C. Clark. (2006). Statistical analysis of outcrossing between adjacent maize grain production fields. *Field Crops Research* 99: 147–157.

Gómez Rojas, J.C. y Esquivel Mota, M (2002). *Agroclimatología del maíz de México*. *Revista Geográfica* No. 60, México, D.F., Instituto Panamericano de Geografía e Historia, OEA

Helander, M., Saloniemi, I., Saikkonen, (2012). Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in Plant Science*. In press, corrected proof.

Hellin, J., O. Erenstein, T. Beuchelt, C. Camacho, and D. Flores. (2013). Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research* 153: 12-21.

Herman, R.A., Storer, N.P., Phillips, A.M., Prochaska, L.M., Windels, P. (2007). Compositional assessment of event DAS-59122-7 maize using substantial equivalence. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 47, 37–47.

Herman, R.A. (2010). Ecological risk assessment for transgenic crops: separating the seed from the chaff. *Trends in Biotechnology*. 28, 159-160.

Herman, R., Garcia-Alonso, M., Layton, R., & Raybould, A. (2013). Bringing policy relevance and scientific discipline to environmental risk assessment for genetically modified crops. *Trends in Biotechnology*, 31(9).

Hernández-Ceballos, M. A., H. García-Mozo, J. A. Adame, E. Domínguez-Vilches, J. P. Bolívar, B. A. De la Morena, R. Pérez-Badía, and C. Galán. (2011). Determination of potential sources of *Quercus* airborne pollen in Cordoba city (southern Spain) using back-trajectory analysis. *Aerobiología* 27: 261-276.

Hodson de Jaramillo, E., & Carrizosa P, M. S. (2007). Normativa relacionada con bioseguridad de organismos genéticamente modificados (OGM). Bogotá, D.C, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Holst-Jensen, A. (2009). Testing for genetically modified organisms (GMOs): Past, present and future perspectives. *Biotechnology Advances*. 27, 1071-1082.

Hothorn, L. A., & Oberdoerfer, R. (2006). Statistical analysis used in the nutritional assessment of novel food using the proof of safety. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 44(2), 125-135.

Houshyani, B. (2012). Application of omics technologies for environmental risk assessment of genetically modified plants - *Arabidopsis* and modified defence mechanisms as a model study. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

IARC - International Agency for Research on Cancer. (2015). IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. En I. WHO, IARC Monographs (pág. 2). Lyon: International Agency of Research on Cancer - World Health Organization.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2013). <http://www.inecc.gob.mx/calibre-herramientas-analisis/582-calibre-tipos-modelos>. Revisado: 30 de Octubre de 2013.

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Perspectiva estadística-Sonora*.

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/sin/territorio/clima.aspx?tema=me&e=25>. Revisado: 30 de Octubre de 2013.

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013a). Perspectiva estadística-Sinaloa.

INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013b). Perspectiva estadística-Sonora.

INIA - Instituto Nacional de Innovación Agraria (2006). INIA en el desarrollo de Plantas y otros Organismos Genéticamente Modificados. Gobierno de Chile.

INE - Instituto Nacional de Ecología. (2015). Recuperado el Julio de 2015, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/400/cap4.html>

ITAM - Instituto Tecnológico Autónomo de México. (1995). La propuesta agraria y agrícola de los generales Álvaro Obregón y Plutarco Elías Calles. ESTUDIOS: Filosofía, historia, letras, 41.

Jacobsen, E. y van der Vossen, E. (2009). Plant Disease Resistance: Breeding and Transgenic Approaches. Pathogenesis.

James, C. (2013). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2013. ISAAA Brief No.46. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Ithaca, NY: ISAAA).

James, C. (2014). Global Status of Commercialized Biotech/ GM Crops: 2014. Ithaca, NY: The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA).

Jarosz, N., B. Loubet, B. Durand, A. McCartney, X. Foueillassar, and L. Huber. (2003). Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. *Agricultural and Forest Meteorology* 119: 37–51

König, A., A. Cockburn, R.W.R. Crevel, E. Debruyne, R. Grafstroem, U. Hammerling, I. Kimber, I. Knudsen, H.A. Kuiper, A.A.C.M. Peijnenburg, A.H. Penninks, M. Poulsen, M. Schauzu, and J.M. Wal. (2004). Assessment of the safety of foods derived from genetically modified (GM) crops. *Food and Chemical Toxicology* 42, 1047–1088.

Kos, M., (2012). Multitrophic effects of plant resistance: from basic ecology to application in transgenic crops, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

Krishna, V.V., Qaim, M., (2012). Bt Cotton and sustainability of pesticide reductions in India. *Agricultural Systems*. 107, 47-55.

Kuiper, H. A., Kleter, G. A., Noteborn, H. P., & Kok, E. J. (2002). Substantial equivalence—an appropriate paradigm for the safety assessment of genetically modified foods?. *Toxicology*, 181, 427-431.

Leon de Palacios, A. M. (1975). Plutarco Elias Calles. Ediciones INAP, 169.

Letourneau, D., Burrows, B. E., (2002). Genetically Engineered Organisms Assessing environmental and human health effects. CRC. Printeolin USA.

Levidow, L., Boschert, K., (2008). Coexistence or contradiction? GM crops versus alternative agricultures in Europe. *Geoforum*. 39, 174-190.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. (2012). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, pp. 114. México.

Ley Federal de Protección al Consumidor (2012). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, pp. 87. México.

Ley Federal de Sanidad Vegetal (2007). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, pp. 35. México.

Liang, C., Prins, T., van de Wiel, C., & Kok, E. (2014). Safety aspects of genetically modified crops with abiotic stress tolerance. *Trends in Food Science & Technology*(40), 115-122.

Luna V, S., J. Figueroa M., B. Baltazar, M., R. Gomez L., R. Townsend, and J. B. Schope. (2001). Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Science* 41: 1551–1557.

Lundry, D.R., Ridley, W.P., Meyer, J.J., Riordan, S.G., Nemeth, M.A., Trujillo, W.A., Breeze, M.L., Sorbet, R., (2008). Composition of grain, forage, and processed fractions from second-generation glyphosate-tolerant soybean, MON 89788, is equivalent to that of conventional soybean (*Glycine max* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56, 4611–4622. Pusztai, A., Bardocz, S., & Ewen, S. W. B. (2003). 16 Genetically Modified Foods: Potential Human Health Effects. *Food Safety*, 347.

Macek, T., Demnerova, K., Mackova, M., (2008). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in Biotechnology*. 26, 146-152.

Makita, R. (2012). Fair Trade and organic initiatives confronted with Bt cotton in Andhra Pradesh, India: A paradox. *Geoforum*, 1232-1241.

Marceau, A., S. Saint-Jean, B. Loubet, and X. Foueillassar, L. Huber. (2012). Biophysical characteristics of maize pollen: Variability during emission and consequences on cross-pollination risks. *Field Crops Research* 127: 51–63.

Melgarejo, L.M., Sánchez, J., Chaparro, A., Newmark, F., Santos-Acevedo, M., Burbano, C., Reyes, C., (2002). Aproximación al estado actual de la Bioprospección en Colombia, *Cargraphics*, Serie de Documentos Generales INVEMAR. 10.

Messean, A., Angevin, F., Gómez Barbero, M., Menrad, K., & Rodríguez Cerezo, E. (2006). New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture. España: European Commission.

Messeguer, J., (2003). Gene flow assessment in transgenic plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 73: 201-212.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Recuperado el Febrero de 2015, de <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/quienes-somos/Paginas/Quienes-somos.aspx>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2015). Recuperado el Febrero de 2015, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Recuperado el Febrero de 2015, de <http://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Paginas/institucional-objetivos-funciones.aspx>

Molesini, B., Pii, Y. y Pandolfini, T. (2012). Fruit improvement using intragenesis and artificia micro RNA. *Trends in Biotechnology*, 30(2).

Monsanto. (s.f). Recuperado en Junio de 2015 de <http://www.monsanto.com/global/lan/productos/pages/semillas.aspx>

Nelson, G., Bullock, D., (2003). Simulating a relative environmental effect of glyphosate-resistant soybeans. *Ecological Economics*. 45, 189- 202.

NOM-056-FITO-1995. (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.

NOM-164-SEMARNAT/SAGARPA-2013. (2013). Que establece las características y contenido del reporte de resultados de la o las liberaciones realizadas de organismos genéticamente modificados, en relación con los posibles riesgos para el medio ambiente y la diversidad biológica y, adicionalmente, a la sanidad animal, vegetal y acuícola

OMC - Organización Mundial del Comercio. (2015). Recuperado el Junio de 2015, de: https://www.wto.org/spanish/thewto_s/whatis_s/tif_s/fact4_s.htm

OMC - Organización Mundial del Comercio. (2015a). Recuperado el Junio de 2015 de: https://www.wto.org/spanish/tratop_s/sps_s/spsund_s.htm

Paoletti, C., Flamm, E., Fellous, M., Kuipier, H., (2008). GMO risk assessment around the world: Some examples. *Trends in Food Science & Technology*. 19, S70-S78.

Parayil, G. (2003). Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization. *Research Policy*(32), 971-990.

Pasken, R., and J. Pietrowicz. (2005). Using dispersion and mesoscale meteorological models to forecast pollen concentrations. *Atmospheric Environment* 39: 7689–7701.

Pérez Hernández, M., Bernal Rojas, A., & Otero Arnaiz, A. (s.f.). Documento base de la especie *Gossypium hirsutum* L. para el análisis de riesgo ambiental. INE - SEMARNAT.

Peña, L. (2005). *Transgenic plants: Methods and protocols*. Totowa, N.J.: Humana Press.

Pichardo, B. (2006). La revolución verde en México. *Agraria* (4), 40-68.

PMA – Programa Mundial de Alimentos. (2015). Revisado en Junio de 2015 de <http://es.wfp.org/qui%C3%A9nes-somos>

Poltonieri, P., & Reça, I. B. (2015). Transgenic, cisgenic and novel plant products: Challenges in regulation and safety assessment. *Applied Plant Genomics and Biotechnology*.

PROCAMPO. Lista de beneficiarios 2013. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/procampo/Beneficiarios/Paginas/2013.aspx>. Recuperado Mayo de 2015

Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del convenio sobre la diversidad biológica (2000). Secretaría del Convenio de Diversidad Biológica, pp.30. Montreal.

PROY-NOM-001-SAG/BIO-2014. (2014). Especificaciones generales de etiquetado de organismos genéticamente modificados que sean semillas o material vegetativo destinados a siembra, cultivo y producción agrícola.

Pushpangadan, P., T. P. Ijiru, V. M. Dan, A. Thomas, S. Avinash, and V. George. (2012). Recent Advances of Agricultural Biotechnology in the Light of Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B. Biological Sciences* 82: 381-386.

Pusztai, A., Bardocz, S., & Ewen, S. W. B. (2003). 16 Genetically Modified Foods: Potential Human Health Effects. *Food Safety*, 347.

Qaim, M., 2010. Benefits of genetically modified crops for the poor: household income, nutrition, and health. *New Biotechnology*. 27, 552-557.

Renneberg, R. (2008). *Biotecnología para principiantes*. Editorial Reverte. España.

Resolución 000946. (17 de Abril de 2006). Bogotá, DC, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario .

Resolución 001063. (22 de Marzo de 2005). Bogotá, DC, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario.

Resolución 00148. (18 de Enero de 2005). Bogotá, DC, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario.

Resolución 005109. (29 de Diciembre de 2005). Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de la Protección Social.

Resolución 0227. (01 de Febrero de 2007). Bogotá, DC, Colombia: Ministerio de la Protección Social.

Ricroch, A., J. B. Bergé, and A. Messéan. (2009). Revue bibliographique sur la dispersion des transgènes à partir du maïs génétiquement modifié. *Comptes Rendus Biologies* 332: 861–875

Rivera AL, Gómez-Lim, M., Fernández, F., Loske, A.M. (2012). Physical methods for genetic plant transformation. *Physics of Life Reviews*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plrev.2012.06.002>

Russell, A.W., (2008). GMOs and their contexts: A comparison of potential and actual performance of GM crops in a local agricultural setting *Geoforum*. 39, 213-222.

Ruane, J., Sonnino, A., (2011). Agricultural biotechnologies in developing countries and their possible contribution to food security. *Journal of Biotechnology*. 156, 356-363.

SAGARPA y ONU. (2014). Análisis de la cadena de valor en la producción de algodón en México. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, México.

Russell, A.W. (2008). GMOs and their contexts: A comparison of potential and actual performance of GM crops in a local agricultural setting *Geoforum*. 39, 213-222.

Schaper, M., Parada, S., (2001). Organismos genéticamente modificados: su impacto socioeconómico en la agricultura de los países de la Comunidad Andina, Mercosur y Chile. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Serie Medio Ambiente y Desarrollo.

SAGARPA - Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2010) La Sanidad Vegetal en México: Memoria Histórica, pp. 76-81, México.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2013). El cultivo del algodón en México reflexiones sobre aspectos fitosanitarios. México.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2013^a). Medidas de Bioseguridad para la liberación experimental al ambiente de maíz genéticamente modificado. 1-9.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2013^b). Medidas de Bioseguridad para maíz genéticamente modificado en programa piloto. 1-5.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2013^c). Programa de trabajo de la campaña contra plagas reglamentadas del algodón, a operar con recursos del subcomponente de sanidad vegetal del programa de prevención y manejo de riesgos 2013, en el estado de Sonora.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2014). Campaña contra plagas reglamentadas del algodón. Informe mensual No. 5. p. 6.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2014^a). Gusano de la Mazorca: *Helicoverpa armigera* (Hübner). Ficha técnica No. 47.

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2015). Recuperado el Junio de 2015, de SENASICA: Plagas Reglamentadas del Algodón: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4520>

SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (s.f). Estatus general de solicitudes 2008-2015. <http://www.senasica.gob.mx/default.asp?doc=25576>. Recuperado Mayo, 2015

Shariatmadari, M., Homayoun Sarfaraz, A., & Hedayat, P. (2013). Using SWOT analysis and SEM to prioritize strategies in Foreign. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 99, 886-892.

SIAP - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2015). Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> Recuperado en Mayo de 2015.

SIAP y SAGARPA -Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2007). Normatividad para integrar, validar, analizar y enviar estadísticas agrícolas mediante el módulo agrícola 2007.

SINAVEF - Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. (s.f). Resumen del Boletín Climático Fitosanitario Nacional. <http://portal.sinavef.gob.mx/climatologiaBoletin.html>. Consultado abril, 2015.

SINAVEF - Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. (s.f). Mapa Multimedia. <http://portal.sinavef.gob.mx/mapaMultimedia/MapaMultimedia.html>. Consultado abril, 2015

SISPRO - Sistema Producto Algodón. (2012). Plan Rector Sistema Producto Algodón. México: Sistema Producto Algodón, A.C.

Speese, J., Kuhar, T., Bratsch, A.D., Nault, B.A., Barlow, V.M., Cordero, R.J., Shen, Z.X., (2004). Efficacy and economics of fresh-market Bt transgenic sweet corn in Virginia. *Crop Protection*. 24, 57-64.

Stuart, M., Lapworth, D., Hart, A., Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater. (2012). *Science of The Total Environment*. 416, 1-21.

Sunnu, A., F. Resch, and G. Afeti. (2013). Back-trajectory model of the Saharan dust flux and particle mass distribution in West Africa. *Aeolian Research* 9: 125–132.

Tejada, M., (2009). Evolution of soil biological properties after addition of glyphosate, diflufenican and glyphosate+diflufenican herbicides. *Chemosphere*. 76, 365-373.

Tironi, M., Salazar, M., & Valenzuela, D. (2013). Resisting and accepting: Farmers' hybrid epistemologies. *Technology in Society*(35), 93-104.

Twardowski, T., & Malyska, A. (2012). Social and legal determinants for the marketing of GM products in Poland. *New Biotechnology*, 29(3), 249-254.

Tzotzos, G.T., G. P. Head, and R. Hull. (2009). *Genetically Modified Plants. Assessing safety and Managing Risk: Chapter 5. Risk Perception and Public Attitudes to GM*. Academic Press. 115-146.

Ueland, Ø., Gunnlaugsdottir, H., Holm, F., Kalogeras, N., Leino, O., Luteijn, J. M., Magnússon, S.H., Odekerken, G., Pohjola, M.V., Tjihuis, M.J., Tuomisto, J.T., White, B.C. & Verhagen, H. (2012). State of the art in benefit–risk analysis: Consumer perception. *Food and Chemical Toxicology*, 50(1), 67-76.

UN – Naciones Unidas. (2015 a). Recuperado el Junio de 2015 de: http://unfccc.int/portaol_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php

UN – Naciones Unidas. (2015). Recuperado el Mayo de 2015, <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). UNESCO. Recuperado el Junio de 2015, de UNESCO: <http://www.unesco.org/most/FULL1B.PDF>

UNICAN- Universidad de Cantabria. (s.f). Revisado en Junio de 2015 de <http://ocw.unican.es/ciencias-sociales-y-juridicas/integracion-economica-europea/material-de-clase-1/modulo-2/2.3-el-plan-marshall-y-la-organizacion-europea-dec>

Valderrama-Fonseca, A. M., Arango Isaza, R., & Afanador Kafuri, L. (2005). Transformación de plantas mediada por *Agrobacterium*: "Ingeniería Genética Natural Aplicada". *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 58(1), 2569-2585.

Van Aken, B., (2009). Transgenic plants for enhanced phytoremediation of toxic explosives. *Food biotechnology/Plant biotechnology*. 20, 231-236.

Varzakas, T. H., Chrysoschoidis, G., & Argyropoulos, D. (2007). Approaches in the risk assessment of genetically modified foods by the Hellenic Food Safety Authority. *Food and chemical toxicology*, 45(4), 530-542.

Vergragt, P.J., Brown, H.S., (2007). Genetic engineering in agriculture: New approaches for risk management through sustainability reporting.. *Technological Forecasting and Social Change*. 75, 783-798.

Viner, B., R. and W. Arritt. (2010). Increased pollen viability resulting from transport to the upper boundary layer. *Field Crops Research* 119: 195–200.

Wang F., D.S. Chen, S.Y. Cheng, J.B. Li, M.J. Li, and Z.H. Ren. (2010). Identification of regional atmospheric PM10 transport pathways using HYSPLIT, MM5-CMAQ and synoptic pressure pattern analysis. *Environmental Modelling & Software* 25: 927-934.

Wang, Y.Z., Bell, J., Cheng, X., Bouton, J., (2007). Biotechnological improvement of forage crops, in: Li, X., Xue, J., Yang, W. (Eds.), *Biotechnology and Sustainable Agriculture 2006 and Beyond*. Springer, The Netherlands, pp. 333-338.

Weale, A., (2010). Ethical arguments relevant to the use of GM crops. *New Biotechnology*. 27, 582-587.

Wen, D., J. C. Lin, D. B. Millet, A. F. Stein, and R. R. Draxler. (2012). A backward-time stochastic Lagrangian air quality model. *Atmospheric Environment* 54: 373-386.

Wenke, L., (2009). Effects of Bt transgenic crops on soil ecosystems: a review of a ten-year research in China. *Front. Agric. China*. 3, 190-198.

Wolt, J. D. (2009). Advancing environmental risk assessment for transgenic biofeedstock crops. *Biotechnol Biofuels* 2: 27.

Xue, K., Yanga, J., Liub, B., Xue, D., (2012). The integrated risk assessment of transgenic rice *Oryza sativa*: A comparative proteomics approach. *Food Chemistry*. 135, 314-318.

Yang, J., Wang, Z.-R., Yang, D.-L., Yang, Q., Yan, J., He, M.F. (2009). Ecological risk assessment of genetically modified crops based on cellular automata modeling. *Biotechnology Advances* (27), 1132-1136.

Yang, X. Q., S. P. S. Kushwaha, S. Saran, J. Xu, and P. S. Roy. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering* 51: 83-87.

Zaid, A., Hughes, H.G., Porceddu, E., Nicholas, F., (2004). *Glosario de Biotecnología para la agricultura y la alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación- FAO, Roma.

Zang, N., He, S., Liu, Q., (2009). Efficient production of transgenic plants using the bar gene for herbicide resistance in sweetpotato. *Scientia Horticulturae*. 122, 649-653.

Anexos

Anexo 1. Estancia de Investigación Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT y Marco Normativo Colombia

Objetivo: Identificar y conocer las etapas involucradas en el proceso de desarrollo de arroz y yuca genéticamente modificadas aplicados en CIAT.

Objetivos específicos:

1. Observación de técnicas de desarrollo de arroz y yuca GM, ciclo de vida, métodos de control y producción.
2. Conocimiento del marco regulatorio interno para la realización de actividades relacionadas con el desarrollo de organismos genéticamente modificados.

Logros:

- Se adquirió conocimiento en relación a las medidas de bioseguridad aplicadas en la Plataforma de transformación de OGM en arroz y yuca como son: señalización, uso de bata, gafas, guantes, zapatos, manuales, SOP, canecas para descarte de material GM, entre otros.

- Se conocieron las medidas de bioseguridad usadas en invernaderos: poster con información, uso de batas, extractores, limpieza del sitio, uso de canecas y distinción de colores dependiendo del material a descartar.

- En campo, se conocieron las medidas de bioseguridad tanto para cultivos de arroz como de yuca GM. Para los cuales se usan barreras de pasto elefante, evitando así posible dispersión de flujo de polen a otros cultivos, además, se hace descarte del material que se usa para experimentación. Se deja descansar el terreno por 6 meses. El personal usa equipo de protección durante la siembra, cuidado, cosecha y post-cosecha del cultivo. Se tiene control del personal que entra al lote. En el caso de los campos de arroz, se usan señalizaciones en la puerta del lote y se controla posible diseminación de semillas de arroz en drenajes, a través del uso de una malla que atrapa las semillas.



Figura A1. Plantas GM en invernadero

Fuente: Fotos archivo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2014, derechos reservados

-Se comprendió que para llevar a cabo el proceso de transformación, dependiendo de las construcciones que se deseen lograr, es importante considerar la densidad óptica (OD). Esto permite conocer cuánto creció la bacteria y ajustar el OD de acuerdo al protocolo. En el caso en que se encuentre por encima de lo requerido, se realiza una dilución con medio hasta lograr el óptimo deseado.

- Se entendió que la transformación en arroz se lleva a cabo a partir de callos que pueden venir de embriones maduros o inmaduros. Para la selección de los mejores, se usa el estéreo con el fin de detectar los callos a utilizar, que deben tener forma y visualizarse con cierta textura sólida y no se deben seleccionar aquellos que se ven acuosos. Aunque generalmente se ha estado aplicando la transformación a partir de callos y embriones, actualmente se están desarrollando nuevos protocolos y pruebas de transformación a partir de las semillas de arroz.

- Para el proceso de transformación de la yuca se observó que los callos son más pequeños y para poder visualizarlos deben colocarse sobre una malla. Se conoció la forma en que se realiza subcultivo de callo embriogénico friable (CEF), seleccionando los mejores callos y transferirlos a medios con componentes, de tal forma que las plantas se desarrollen sin presión. Adicionalmente, se comprendió que es importante la fase de co-cultivo en la que se realiza la recuperación del tejido, ya que de allí depende el porcentaje de transformación que se obtenga.

- Se conoció el proceso de extracción de ADN, a partir de las hojas en el caso de arroz y de hojas y tallos para el caso de la yuca. Se comprendió que para ambos procesos, se manejan cantidades diferentes para preparación de buffer de extracción y en el desarrollo de lavados de pellet. Se comprendió que la aplicación de PCR es utilizada para identificar que las plantas son transgénicas, permitiendo realizar ensayos con estas. Además, es importante el uso de controles y marcadores. Los controles se usan para diferenciar el tamaño de la banda y la cantidad de copias de una muestra. Es importante realizar el proceso de digestión en el gel de agarosa, agregando ciber con el fin de visualizar el recorrido de las muestras; posterior a este se realiza el southern y lavados de depurinación (para terminar de cortar el ADN), denaturación (para abrir el ADN) y neutralización.



Figura A2. Extracción de ADN

Fuente. Fotos archivo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2014, derechos reservados

- Se conoció la forma de la obtención de CEF a partir de las yemas axilares de la planta. El proceso denominado embriogénesis somática, se inicia a partir de plantas in vitro y consiste en extraer yemas de las plantas y colocarlas en medio líquido. Para posteriormente dejarlas en oscuridad por 21 días, para lo cual se colocan en una caja rotulada con el nombre de la variedad, el medio, quien lo realizó y la fecha en que se realizó.

- Además, se conocieron las diferentes construcciones que se han realizado para yuca y arroz. Se tuvo la oportunidad de realizar extracción de embriones inmaduros de arroz.

- Se conoció lo relacionado con guías para importación y exportación de OGM fundamentado en los siguientes pasos:

Acuerdo de transferencia de material (MTA) → Exportador → ICA (permiso importación, certificado fitosanitario) → Envío material (ICA inspección) → Envío final → Barreras de contención

- Se tuvo la oportunidad de hablar con representantes de instituciones participantes en el desarrollo de la regulación en Colombia, lo que permitió ampliar el conocimiento de las actividades y participación de ministerio de salud y agricultura en el marco normativo de Bioseguridad de OGM en Colombia.

Situación OGM en Colombia

La siembra de organismos genéticamente modificados u organismos vivos modificados (OVM) como se conocen en Colombia, se ha dado a partir del año 2002 con la siembra de clavel azul. Posteriormente, hacia el año 2003 se realizaron las primeras siembras de algodón GM y más tarde en el 2007, se autorizaron las siembras de maíz GM. Hacia el año 2009 se aprobó de forma comercial la producción de rosas azules GM (Agrobio , 2015).Las características de los OGM en Colombia han sido:

Clavel y rosas azules: color azul a los pétalos

Algodón: resistencia a insectos (RI), tolerancia a herbicidas (TH) y RI + TH

Soya: tolerancia a herbicidas

Maíz: resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas y RI+TH

En relación a la superficie de siembra de cultivos de algodón y maíz, con base en información de la Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola (Agrobio) y del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la tendencia en hectáreas de siembra ha crecido a través de los años. Particularmente en siembras del maíz la superficie se incrementó de 2.4 a 26.6% para el 2013. Sin embargo para el caso de siembras de algodón, las superficies han fluctuado, alcanzando picos altos como en el caso del 2011 con una superficie sembrada de 49334 ha. Sin embargo, para el año 2013 la superficie se redujo a 26913 ha.

Proceso evaluación de solicitudes

El proceso consiste en primer lugar en radicar la solicitud con los documentos requeridos, incluida información del OVM ya sea para uso como alimento humano, animal o procesamiento, además de una evaluación del riesgo. Posteriormente, la entidad competente revisa si se cumple

con los requisitos. De ser así, se realiza una evaluación de riesgos potenciales, mediante un análisis caso por caso y se procede a elaborar un informe, que será presentado ante el Comité Técnico Nacional CTN Bio. Dicho Comité examina las medidas para evitar, prevenir mitigar y corregir los riesgos potenciales. Se realizan estudios de bioseguridad y ensayos de campo y posteriormente el CTN Bio recomienda al ICA la autorización o rechazo de la solicitud (Figura A.1).

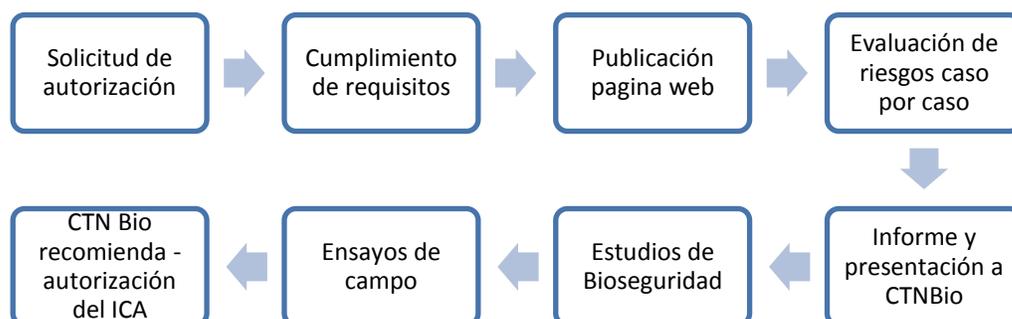


Figura A5. Proceso de evaluación de solicitudes para experimentación con OGM

Marco Regulatorio OGM en Colombia

Colombia establece su marco regulatorio bajo el convenio de diversidad biológica y el protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología como ejes centrales. A partir de estos se establecen:

- a) Decreto 4525 de 2005. Por el que se reglamenta la Ley 740 de 2002 y se determina el marco regulatorio de los organismos vivos modificados (OVM). Este decreto aplica al “movimiento transfronterizo, manipulación y utilización de los OVM que pueda tener efectos adversos al medio ambiente, diversidad biológica, salud humana y agricultura” (Decreto 4525, 2005).

- b) Resolución 0227 de 2007. Contempla las disposiciones en relación al funcionamiento del “Comité Técnico Nacional de Bioseguridad (CTN Bio) para OVM con uso en salud o alimentación humana” (Resolución 0227, 2007).

- c) Resolución 000946 de 2006. En el que se establece “el procedimiento para el trámite de solicitudes de todos los OVM, con uso agrícola, pecuario, pesquero, plantaciones forestales comerciales y agroindustria”. Adicionalmente estipula el “reglamento del CTN Bio con usos agrícolas, pecuarios, pesqueros, plantaciones forestales comerciales y agroindustria” (Resolución 000946, 2006).

d) Resoluciones aplicables al sector agropecuario: Adicional al marco regulatorio mencionado anteriormente, aplican de forma específica para este sector:

- i) Resolución 001063 de 2005, relacionada con las normas aplicables a registro de personas que realicen actividades con organismos genéticamente modificados, en el ámbito de salud y producción pecuaria (Resolución 001063, 2005).
- ii) Resolución 00148 de 2005, que establece “normas para producción, importación, exportación, distribución y comercialización de semillas para siembra” y control de estas (Resolución 00148, 2005).
- iii) Resolución 1840 de 1994, por la que se “reglamenta el artículo 65 de la Ley 101 de 1993” y que tiene que ver con el control de especies animales, vegetales, material genético animal y semillas e insumos agropecuarios (Decreto 1840, 1994).

e) Resoluciones aplicables al sector salud y alimentos: Para este sector, aplican las resoluciones generales y además:

- i) Resolución 005109 de 2005, relacionada con el reglamento técnico sobre requisitos de rotulado o etiquetado (Resolución 005109, 2005).
- ii) Decreto 3075 de 1997, que “regula actividades que puedan generar factores de riesgo por consumo de alimentos” (Decreto 3075, 1997) .
- iii) Codex – CAX/GL 46-2003, que establecen directrices de inocuidad en alimentos producidos mediante el uso de microorganismos de ADN recombinante (Hodson de Jaramillo & Carrizosa P, 2007)
- iv) Codex – CAC/GL 44-2003, que establece principios para el análisis de riesgos en alimentos obtenidos por medios biotecnológicos modernos (Hodson de Jaramillo & Carrizosa P, 2007).
- v) Codex – CAX/GL 45-2003, que se refiere a “directrices para evaluar la inocuidad de alimentos, usando plantas de ADN recombinante” (Hodson de Jaramillo & Carrizosa P, 2007).

Comités Técnicos Nacionales de Bioseguridad

Los Comités Técnicos Nacionales de Bioseguridad (CTN Bio) se crean en Colombia en el 2005, conforme al artículo 18 del Decreto 4525 del mismo año. La función de estos es la de recomendar a la autoridad competente la expedición o negación de las solicitudes relacionadas con actividades con OVM (organismos vivos modificados). Para tal fin, se estructuraron tres comités: con fines agrícolas, ambientales y uso en salud o alimentación (Decreto 4525, 2005).

- a) Comité Técnico Nacional de Bioseguridad para OVM con fines exclusivamente agrícolas, pecuarios, pesqueros, plantaciones forestales comerciales y agroindustria
- b) Comité Técnico Nacional de Bioseguridad para OVM con fines ambientales
- c) Comité Técnico Nacional de Bioseguridad para OVM con uso en salud o alimentación humana exclusivamente

Entidades en materia de bioseguridad de OVM en Colombia

En Colombia se reconoce a los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) como Organismos Vivos Modificados (OVM), por lo que cuando se indique referencia a OVM se maneja un concepto proporcional al de los OGM. Las instituciones relacionadas con el ámbito de bioseguridad de OVM en Colombia tendrán funciones de examinar solicitudes relacionadas con el artículo 2 del Decreto 4525 de 2005, que se refiere al movimiento transfronterizo, tránsito, manipulación y utilización de OVM, que representen efectos adversos o riesgos para el medio ambiente, diversidad biológica, salud humana y producción agropecuaria (Decreto 4525, 2005).

a) MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural es el órgano principal en materia de formulación y evaluación de políticas hacia la promoción del desarrollo de procesos agropecuarios, forestales, pesqueros y de desarrollo rural en el país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015). Esta institución participa dentro de los CTN examinando solicitudes relacionadas con OVM para uso “agrícola, pecuario, pesquero, plantaciones forestales comerciales y agroindustriales”, que puedan ocasionar efectos potenciales a la biodiversidad (Decreto 4525, 2005).

b) MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL

Este Ministerio se encarga de “orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio” así como la definición de políticas entorno al desarrollo de actividades dirigidas al uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y ambiente del país (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2015). Dentro de sus funciones, este Ministerio examina solicitudes que involucren actividades con OVM y que puedan tener efectos potenciales o representar riesgos para el medio ambiente (Decreto 4525, 2005).

c) MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL

Tiene como funciones formular, coordinar, ejecutar y evaluar las políticas en materia de salud, pensiones, riesgos profesionales, entre otros (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Su participación dentro del CTN se basa en la examinación y opinión en relación a solicitudes involucradas con OGM, que puedan representar potenciales riesgos o tener efectos adversos a la salud o alimentación humana (Decreto 4525, 2005).

Anexo 2. Formato Plantilla Revisión por Jueces – Cuestionario tipo Likert

DIMENSIÓN EVALUADA																		
Ej. (Divulgación de la información): Ej. (Suficiencia y credibilidad en la información difundida).																		
Marque con una X dando clic en el cuadro correspondiente, si el reactivo cumple o no con el factor evaluado																		
REACTIVO	¿Identifica las actitudes de los actores involucrados en torno al debate de los OGM?				¿El reactivo pertenece a la dimensión que se pretende evaluar?				¿Evalúa más de una dimensión?				Redacción: ¿Tiene errores ortográficos y de redacción como son puntuación y acentos?		Lenguaje: Está escrito en un lenguaje adecuado para ser comprendido fácilmente por el encuestado.		Situación: Contiene situaciones poco cercanas a la cotidianidad de la población objetivo.	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	¿Qué otra dimensión evalúa? Haga clic aquí para escribir texto.				¿Qué haría para mejorarlo? Haga clic aquí para escribir texto.				Observaciones: Haga clic aquí para escribir texto.									

Observaciones generales sobre la dimensión:

Anexo 3. Cuestionario tipo Likert

Escala: 1. Totalmente en desacuerdo 2. Algo en desacuerdo 3. Ni en acuerdo, ni en desacuerdo

4. Algo de acuerdo 5. Totalmente de acuerdo

En general considero que respecto a los organismos genéticamente modificados (información):	1	2	3	4	5
1. La difusión acerca de las ventajas y desventajas en su uso es insuficiente.	<input type="checkbox"/>				
2. La información emitida por los medios de comunicación (periódicos, internet, radio y televisión) acerca del tema es confiable.	<input type="checkbox"/>				
3. La información emitida por las instituciones involucradas en el tema es suficiente.	<input type="checkbox"/>				
4. La participación ciudadana en el desarrollo de regulación en el tema es escasa.	<input type="checkbox"/>				
5. La regulación existente en México para el manejo de estos es suficiente.	<input type="checkbox"/>				

Considero que los organismos genéticamente modificados aplicados en la agricultura:	1	2	3	4	5
6. Impulsan el desarrollo de ésta en el país.	<input type="checkbox"/>				
7. Incrementan el rendimiento en los cultivos.	<input type="checkbox"/>				
8. Aumentan la resistencia de los cultivos en condiciones extremas.	<input type="checkbox"/>				
9. Ayudan a mejorar la calidad del maíz en México.	<input type="checkbox"/>				
10. Pueden afectar cultivos aledaños.	<input type="checkbox"/>				

Considero que los organismos genéticamente modificados (medio ambiente)	1	2	3	4	5
11. Reducen la aplicación de insecticidas.	<input type="checkbox"/>				
12. Incrementan la aplicación de herbicidas.	<input type="checkbox"/>				
13. Pueden causar infertilidad en el suelo.	<input type="checkbox"/>				
14. Son tan seguros para el ambiente como cuando se siembra de forma tradicional.	<input type="checkbox"/>				
15. Pueden eliminar insectos benéficos para el cultivo.	<input type="checkbox"/>				
16. Reducen el impacto de contaminantes en el ambiente (por ejemplo insecticidas y herbicidas)	<input type="checkbox"/>				
17. Pueden generar resistencia de insectos a insecticidas	<input type="checkbox"/>				

Considero que el uso de información visible (etiqueta) en productos con contenido genéticamente modificado:	1	2	3	4	5
18. Es conveniente para que el consumidor pueda elegir entre adquirirlos o no	<input type="checkbox"/>				
19. Puede ocasionar que este tipo de productos se cataloguen como inseguros	<input type="checkbox"/>				

En relación al consumo, considero que los transgénicos:	1	2	3	4	5
20. Ayudan a reducir la escasez de alimentos en el mundo.	<input type="checkbox"/>				
21. Tienen un mejor contenido vitamínico.	<input type="checkbox"/>				
22. Contienen nuevas toxinas para humanos.	<input type="checkbox"/>				
23. Pueden ocasionar alergias en el consumidor.	<input type="checkbox"/>				
24. Son igual de seguros que los productos convencionales.	<input type="checkbox"/>				
25. Es suficiente la investigación respecto a impactos en la salud humana.	<input type="checkbox"/>				
26. Pueden causar problemas de salud en humanos.	<input type="checkbox"/>				
27. Mejoran las condiciones de salud del consumidor.	<input type="checkbox"/>				
28. Mejoran la nutrición de la población	<input type="checkbox"/>				
29. Son confiables para el consumo animal	<input type="checkbox"/>				
30. Tienen una vida útil mayor a la de otros productos de consumo	<input type="checkbox"/>				

ROBAYO-AVENDANO, Angélica y GALINDO-MENDOZA, María G. (2014). Análisis de la probabilidad de dispersión de polen de maíz genéticamente modificado usando el modelo HYSPLIT. *Agrociencia*. vol.48, n.5, pp. 511-523. ISSN 1405-3195.

Resumen

El desarrollo de Organismos Genéticamente Modificados (OGM) se ha convertido en una alternativa eficiente para el control de plagas en el sector agrícola. Sin embargo, su aplicación en cultivos de maíz (Zea mays L.) ha generado preocupación por proteger la riqueza genética de parientes silvestres. Es por ello que las evaluaciones en este tipo de cultivos se han orientado entre otros aspectos, a controlar probables dispersiones de polen de maíz Genéticamente Modificado (GM) hacia parientes silvestres. Las investigaciones en campo han aportado el establecimiento de distancias de aislamiento, para evitar un posible cruce polínico entre variedades de maíz. Aunque estos valores se han asumido como parámetros para el establecimiento de criterios de bioseguridad, sigue latente la necesidad por respaldar en mayor medida las distancias de aislamiento adoptadas. Con base en ello, el objetivo de este estudio fue analizar de forma espacial la dispersión de partículas de polen de maíz GM. Para ello se utilizaron datos históricos de nueve liberaciones autorizadas para el año 2010 en el estado de Sinaloa (México). Se emplearon datos de floración, velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa. Adicionalmente, se aplicaron simulaciones progresivas de dispersión de polen, considerando un tiempo de viabilidad de la partícula de dos horas. Los resultados arrojaron una tendencia de las dispersiones en direcciones sur-este y sur-oeste con probables distancias de recorrido de 2.2 a 20 km en el intervalo de mayor concentración de partículas, probando que estas pueden recorrer distancias mayores a los 300 y 500 m asumidos como medidas de bioseguridad.

Palabras clave: HYSPLIT, maíz, polinización