

INFORMACIÓN CONFIDENCIAL



Science For A Better Life

SOLICITUD DE PERMISO DE LIBERACIÓN AL AMBIENTE DE ALGODÓN GLYTOL® TWINLINK® - GLT (GHB614 x T304-40 x GHB119; OECD: BCS-GHØØ2-5 x BCS-GHØØ4-7 x BCS-GHØØ5-8) EN ETAPA COMERCIAL, EN LAS REGIONES AGRÍCOLAS DE CHIHUAHUA, COAHUILA, DURANGO Y SONORA, PARA EL CICLO AGRICOLA PRIMAVERA – VERANO 2018 Y POSTERIORES.

Compañía:

**Bayer de México, S.A. de C.V.
Boulevard Miguel de Cervantes Saavedra No. 259
Ampliación Granada
11520 México, D.F.
Tel. (55) 57 28 30 00**

México, D.F., a 23 de octubre de 2017



GlyTol®



TwinLink®





CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
A. Nombre, denominación o razón social de quien promueve.....	8
B. Nombre de los responsables del seguimiento a las pruebas de campo (Se autoriza de acuerdo al artículo 5 del Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados para recibir notificación vía electrónica).	8
C. Otras personas involucradas en las pruebas de campo y que tengan capacidad de decisión sobre éstas.....	8
 1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PERMISO DE LIBERACIÓN EXPERIMENTAL Y DEL PERMISO DE LIBERACIÓN EN PROGRAMA PILOTO, O COPIA SIMPLE DE CADA UNO DE LOS REFERIDOS PERMISOS.	 9
 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE REALIZARÁ LA LIBERACIÓN, LA CUAL CONSISTIRÁ EN LO SIGUIENTE:	 10
2.1 Descripción geográfica	13
2.1.1 Clima.....	14
2.1.2 Suelo.....	14
2.1.4. Agricultura.....	15
2.1.5. Áreas Naturales Protegidas	16
2.2 Municipio o municipios donde se encuentra cada uno de dichos polígonos	17
2.3 Estado o estados donde se ubica cada uno de dichos polígonos	18
 3. REFERENCIA Y CONSIDERACIONES SOBRE EL REPORTE DE LOS RESULTADOS DE LA O LAS LIBERACIONES EXPERIMENTALES Y PILOTO EN MATERIA DE DESEMPEÑO AGRONÓMICO, EFECTIVIDAD BIOLÓGICA, IMPACTO AL AMBIENTE (ORGANISMOS NO BLANCO) Y COSTO BENEFICIO.	 19
3.1 Equivalencia agronómica y fenotípica.....	23
3.2 Efectividad sobre organismos blanco.	29
3.3 Organismos no blanco (ONB).....	31
3.4 Costo beneficio.....	33
3.6 Referencia bibliográfica sobre los datos presentados.....	35
 4. INSTRUCCIONES O RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS DE TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y, EN SU CASO, MANEJO	 38



5. CONDICIONES PARA SU LIBERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN, EN CASO DE SER NECESARIAS. 43

5.1. Plan de seguimiento durante la liberación.	46
5.2. Estrategias de monitoreo posteriores a la liberación del OGM.....	47
Estrategias para la detección del OGM y su presencia posterior en la zona o zonas donde se pretenda realizar la liberación y zonas vecinas, una vez concluida la liberación.....	47
Medidas para la erradicación del OGM en zonas distintas a las permitidas.....	48

6. CONSIDERACIONES SOBRE LOS RIESGOS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON QUE SE CUENTE PARA CONTENDER CON EL PROBLEMA PARA EL CUAL SE CONSTRUYÓ EL OGM, EN CASO DE QUE TALES ALTERNATIVAS EXISTAN 49

6.1. Algodón GlyTol® TwinLink® (GLT)	49
6.2. Inocuidad y especificidad de las proteínas expresadas por el algodón GLT	49
6.2.1. Inocuidad de la proteína 2mEPSPS	50
6.2.2. Inocuidad de la proteína PAT/bar	50
6.2.3. Inocuidad y especificidad de las proteínas Cry1Ab y Cry2Ae	51
6.3. Cambios fenotípicos e incremento del potencial como maleza	53
6.4. Plantas voluntarias de algodón GLT	56
6.5. Flujo génico del algodón GLT a especies relacionadas	60
6.5.1. Mecanismos necesarios para el intercambio genético.	61
6.5.2. Vigor de híbridos interespecíficos y fertilidad	62
6.5.3. Potencial de cruce y transferencia de genes	65
6.6. Manejo de maleza en el cultivo del algodón	66
6.6.1. Algodón genéticamente modificado tolerante a herbicidas	67
6.6.1.1. Algodón tolerante a glifosato	68
6.6.1.2. Algodón tolerante a glufosinato de amonio.....	68
6.6.2. Impacto del uso de algodón tolerante a herbicidas.....	69
6.6.3. Manejo de maleza en algodón convencional.....	73
6.6.3.1. Control preventivo	73
6.6.3.2. Control cultural	73
6.6.3.3. Control manual.....	74
6.6.3.4. Control mecánico	74
6.6.3.5. Control químico	74



6.6.4. Resistencia de maleza a herbicidas	79
6.6.5. Manejo de resistencia de maleza a herbicidas	83
6.6.5.1. Evaluación del riesgo de desarrollo de resistencia.	83
6.6.5.2. Plan de manejo de resistencia de maleza	85
6.6.5.3. Seguimiento del plan de manejo de resistencia de maleza	86
6.6.5.4. Plan de acción en caso de presentarse resistencia	87
6.7. Plagas del cultivo de algodón	87
Complejo bellotero (<i>Helicoverpa zea</i>)/ tabacalero (<i>Heliothis virescens</i>)	88
Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>)	89
Gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>)	90
Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i>)	93
Picudo del algodón (<i>Anthonomus grandis</i> Boheman)	94
Conchuela del algodón (<i>Chlorochroa ligata</i> Say).	95
Chinche Lygus (<i>Lygus</i> spp.)	96
<i>Thrips.</i> 97	
Pulgón del algodón (<i>Aphis gossypii</i>)	98
6.7.1. Algodón genéticamente modificado resistente a insectos.	98
6.7.2. Impacto del uso de algodón resistente a insectos	99
6.7.3. Manejo de insectos en algodón convencional	101
6.7.4. Resistencia de insectos a insecticidas	103
6.7.5. Manejo de la resistencia de insectos	106
6.7.5.1. Alta dosis – refugio	106
6.7.5.2. Introducción de una segunda toxina insecticida	107
6.7.5.3. Línea base de susceptibilidad	108
6.7.5.4. Monitoreo de resistencia	108
6.7.5.5. Monitoreo de sobrevivencia inusual	109
6.7.5.6. Capacitación.	110
6.7.5.7. Uso de otras prácticas	111
6.8. Conclusión	111
g) Literatura consultada	111



LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Permisos experimentales otorgados a Bayer para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.	9
Cuadro 2. Permisos piloto otorgados a Bayer para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	9
Cuadro 3. Superficie y cantidad de semilla de algodón GLT solicitada.	12
Cuadro 4. Estados y municipios para liberación liberación en programa comercial de algodón GLT en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	17
Cuadro 5 . Datos y fechas de entrega de reportes.	19
Cuadro 6. Evaluaciones realizadas por permisos de liberación de algodón TwinLink® GlyTol® en Chihuahua, Coahuila y Durango.	20
Cuadro 7. Tratamientos de equivalencia agronómica y fenotípica.....	24
Cuadro 8. Muestreo de carga realizado en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera, 2012.	25
Cuadro 9. Variables de calidad de fibra en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2012.....	25
Cuadro 10. Muestreo de carga realizado el 27 de agosto de 2010 en la Comarca Lagunera....	26
Cuadro 11. Muestreo de carga realizado el 8 de septiembre de 2010 en la Comarca Lagunera.	26
Cuadro 12. Rendimiento estimado en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.	27
Cuadro 13. Variables de calidad de algodón hueso en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.....	27
Cuadro 14. Variables de calidad de fibra en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.....	27
Cuadro 15. Rendimiento de algodón hueso, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el ensayo realizado en Delicias, Chih., 2010.....	28
Cuadro 16. Rendimiento de algodón hueso, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el ensayo realizado en Delicias, Chih., 2011.....	28
Cuadro 17. Tratamientos generales utilizados para la evaluación de la efectividad biológica.	30
Cuadro 18. Tratamientos evaluados en ensayos experimentales o pilotos.	32
Cuadro 19. Tratamientos evaluados en el ensayo experimental ubicado en Ahumada, Chihuahua durante el ciclo PV-2014.	34
Cuadro 25. Prácticas agronómicas.	45
Cuadro 26. Plan de capacitaciones en Chihuahua y la Comarca Lagunera.	46
Cuadro 27. Resumen de pruebas eco-toxicológicas de la proteína Cry1Ab sobre organismos no blanco.	51
Cuadro 28. Resumen de pruebas eco-toxicológicas de la proteína Cry2Ae sobre organismos no blanco.	52
Cuadro 94. Especies de <i>Gossypium</i> reportadas en la literatura para el Norte de México.....	60
Cuadro 30. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.	70
Cuadro 31. Espectro de control de maleza del herbicida glufosinato de amonio.	71
Cuadro 32. Espectro de control de maleza del herbicida glifosato.	72
Cuadro 33. Ingrediente activo, formulación, dosis, categoría toxicológica y grupo químico de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.	76
Cuadro 34. Herbicidas recomendados para el control de maleza en el cultivo de algodón en Chihuahua y Coahuila.....	76



Cuadro 35. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.	77
Cuadro 36. Ventajas y desventajas de los métodos de manejo de maleza.	78
Cuadro 37. Muestreo y umbral económico de gusano bellotero y tabacalero en algodón.	88
Cuadro 38. Muestreo y umbral económico de gusano cogollero en algodón.	89
Cuadro 39. Muestreo y umbral económico de gusano soldado en algodón.	90
Cuadro 40. Muestreo y umbral económico de gusano rosado en algodón.	91
Cuadro 41. Acuerdos por los que se declaran zonas libres de gusano rosado en México.	91
Cuadro 42. Resultados de monitoreo de gusano rosado en la región del Valle de Mexicali, B.C. – San Luis Río Colorado, Son. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, periodo 2007 – 2011.	92
Cuadro 43. Muestreo y umbral económico de mosquita blanca en algodón.	93
Cuadro 44. Muestreo y umbral económico del picudo del algodón.	94
Cuadro 45. Muestreo y umbral económico de la conchuela del algodón.	96
Cuadro 46. Muestreo y umbral económico de la chinche lygus en algodón.	97
Cuadro 47. Rendimiento. Daño por trips en el cultivo del algodón.	98
Cuadro 48. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales insecticidas recomendados para el control de insectos plaga en algodón.	101
Cuadro 49. Ingrediente activo, categoría toxicológica y grupo químico de los principales insecticidas recomendados para el control de insectos plaga en algodón (PLM, 2014).	102
Cuadro 50. Los 20 artrópodos más importantes, para los cuales se han registrado casos de resistencia en la agricultura y la salud pública.	104
Cuadro 115. Información necesaria para investigación de supervivencia inusual.	109



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Polígono propuesto para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa Piloto en la región agrícola de Chihuahua norte.....	10
Figura 2. Polígono propuesto para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa Piloto en la región agrícola de Chihuahua sur.....	11
Figura 3. Polígono propuesto para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa Piloto en la región agrícola de Coahuila y Durango (Comarca Lagunera).....	11
Figura 4. Polígonos propuestos para la liberación de algodón GLT en etapa comercial en Chihuahua y la Comarca Lagunera.....	12
Figura 5. Regiones Ecológicas Nivel IV presentes dentro de los polígonos de liberación propuestos.....	13
Figura 6. Climas característicos en los polígonos de liberación propuestos.....	14
Figura 7. Tipo de suelo predominante en las regiones agrícolas de Chihuahua y la Comarca Lagunera.....	15
Figura 8. Tipos de agricultura en el polígono de liberación en el estado de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	16
Figura 9. Áreas Naturales Protegidas adyacentes al polígono de liberación.....	17
Figura 10. Municipios donde se ubican los polígonos propuestos para la liberación en programa comercial de algodón GLT en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	18
Figura 11. Estados donde se ubica el polígono para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa piloto en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango.....	18
Figura 12. Ruta de movilización de Lubbock, Texas a Almacén en Delicias, Chihuahua y parcelas de Chihuahua y Comarca.....	39
Figura 13. Almacén de Bayer de México ubicado en Delicias, Chihuahua.....	40
Figura 14. Reducción en el uso de herbicidas y la carga ambiental derivado del uso del algodón GM tolerante a herbicidas en Estados Unidos, Australia, Argentina y Sudáfrica 1997-2015 (Brookes y Barfoot, 2017).....	70
Figura 15. Incremento cronológico en el número de malezas resistentes a herbicidas pertenecientes a distintos grupos (Heap, 2017).....	81
Figura 16. Número de especies resistentes a herbicidas por cultivo (Heap, 2017).....	82
Figura 17. Número de especies resistentes a herbicidas individuales (Heap, 2015).....	82
Figura 18. Análisis de riesgo de resistencia de malezas a herbicidas.....	84
Figura 19. Estrategia de Manejo de Resistencia de Maleza “Diversidad es el futuro”.....	86
Figura 20. Gusano bellotero (<i>Helicoverpa zea</i>).....	88
Figura 21. Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>).....	89
Figura 22. Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>).....	90
Figura 23. Gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>).....	91
Figura 24. Gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>).....	92
Figura 25. Mosquita blanca (<i>Bemisia argentifolii</i>).....	94
Figura 26. Picudo del algodonerero (<i>Anthonomus grandis</i>).....	95
Figura 33. Conchuela del algodón (<i>Chlorochroa ligata</i> Say).....	96
Figura 34. Chinche Lygus (<i>Lygus</i> spp.).....	97
Figura 29. Pulgón del algodón (<i>Aphis gossypii</i>).....	98
Figura 30. Reducción en el uso de insecticidas y la carga ambiental derivado del uso del algodón GM resistente a insectos 1996-2015 (Brookes y Barfoot, 2015).....	100
Figura 31. Configuración del refugio para algodón GLT.....	107



A. Nombre, denominación o razón social de quien promueve.

Bayer de México, S.A. de C.V.
Miguel de Cervantes Saavedra No. 259
Col. Granada
11520 México, D. F.

RFC: **BME820511SU5**

B. Nombre de los responsables del seguimiento a las pruebas de campo (Se autoriza de acuerdo al artículo 5 del Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados para recibir notificación vía electrónica).

Nombre	Correo electrónico
IBQ. Bitia Osorio Trejo	bitia.osorio@bayer.com
Ing. Nicolás Díaz	nicolas.diaz@bayer.com
M.Sc. Josefina Perea Díaz	josefina.perea@bayer.com
M.C. Nahum Torres Arredondo	nahum.torres@bayer.com
Ing. Salvador de la Cruz Epigmenio	salvador.delacruz@bayer.com

C. Otras personas involucradas en las pruebas de campo y que tengan capacidad de decisión sobre éstas.

Nombre	Correo electrónico
Ing. Abraham Sandoval Rodríguez	abraham.sandoval@bayer.com
Ing. Gerardo González Velez	gerardo.gonzalez@bayer.com



1. DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PERMISO DE LIBERACIÓN EXPERIMENTAL Y DEL PERMISO DE LIBERACIÓN EN PROGRAMA PILOTO, O COPIA SIMPLE DE CADA UNO DE LOS REFERIDOS PERMISOS.

Las variedades de algodón de Bayer con tecnología GlyTol® TwinLink®, han sido liberadas tanto en etapa experimental como en programa piloto en las regiones agrícolas de Chihuahua y La Comarca Lagunera (Coahuila y Durango). En el [cuadro 1](#) y [cuadro 2](#), se presentan los permisos otorgados a Bayer para liberaciones experimentales y pilotos respectivamente con información detallada.

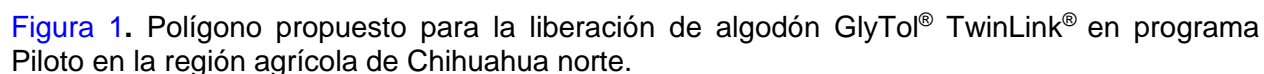
Cuadro 1. Permisos experimentales otorgados a Bayer para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

No. Permiso	No. Solicitud	Etapas	Fecha de emisión	Superficie autorizada (ha)
B00.04.03.02.01.- 2698	079_2010	Experimental	8-Abril-2011	5
B00.04.03.02.01.- 4035	128_2011	Experimental	30-Mayo-2012	10
B00.04.03.02.01.- 4036	127_2011	Experimental	30-mayo-2012	10
B00.04.03.02.01.- 0115	052_2013	Experimental	17-enero-2014	100

Cuadro 2. Permisos piloto otorgados a Bayer para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

No. Permiso	No. Solicitud	Etapas	Fecha de emisión	Superficie autorizada (ha)
B00.04.03.02.01.- 387	032_2014	Piloto	27-Enero-2015	5,000
B00.04.03.02.01.- 1183	011_2015	Piloto	17-Marzo-2016	10,000

Las liberaciones comerciales de algodón GlyTol® TwinLink® se harán en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango, durante el ciclo agrícola primavera-verano. Adicionalmente en la [figura 1, 2 y 3](#) se pueden apreciar gráficamente los polígonos propuestos.



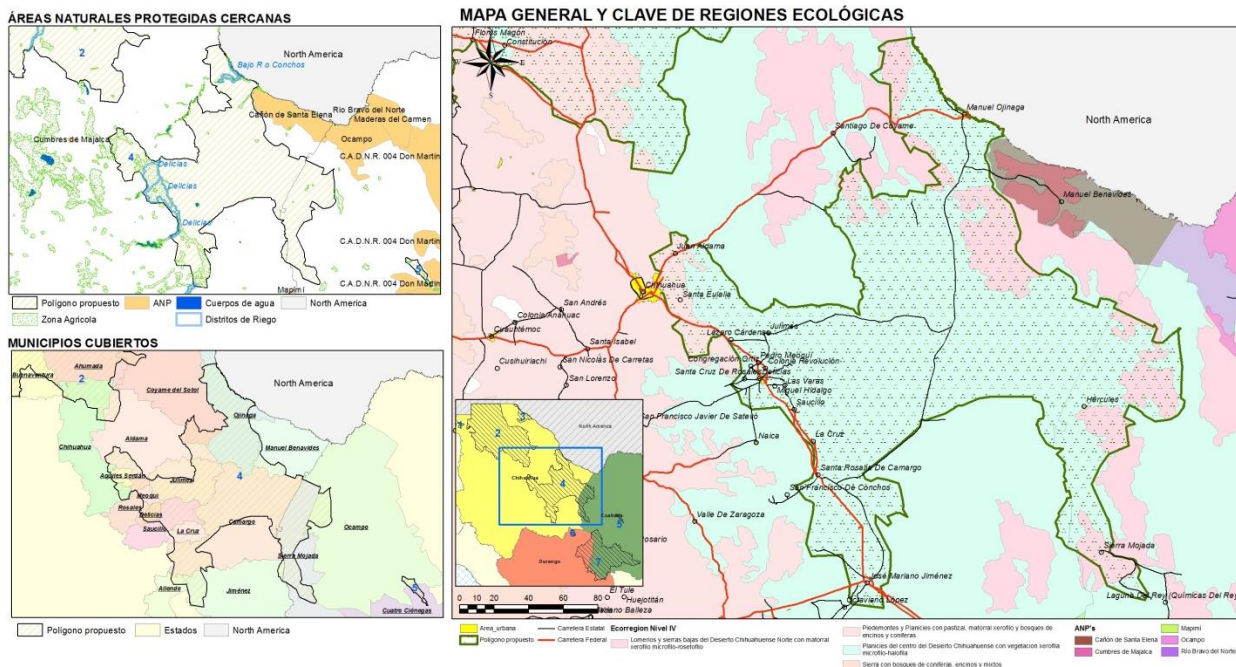


Figura 2. Polígono propuesto para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa Piloto en la región agrícola de Chihuahua sur.

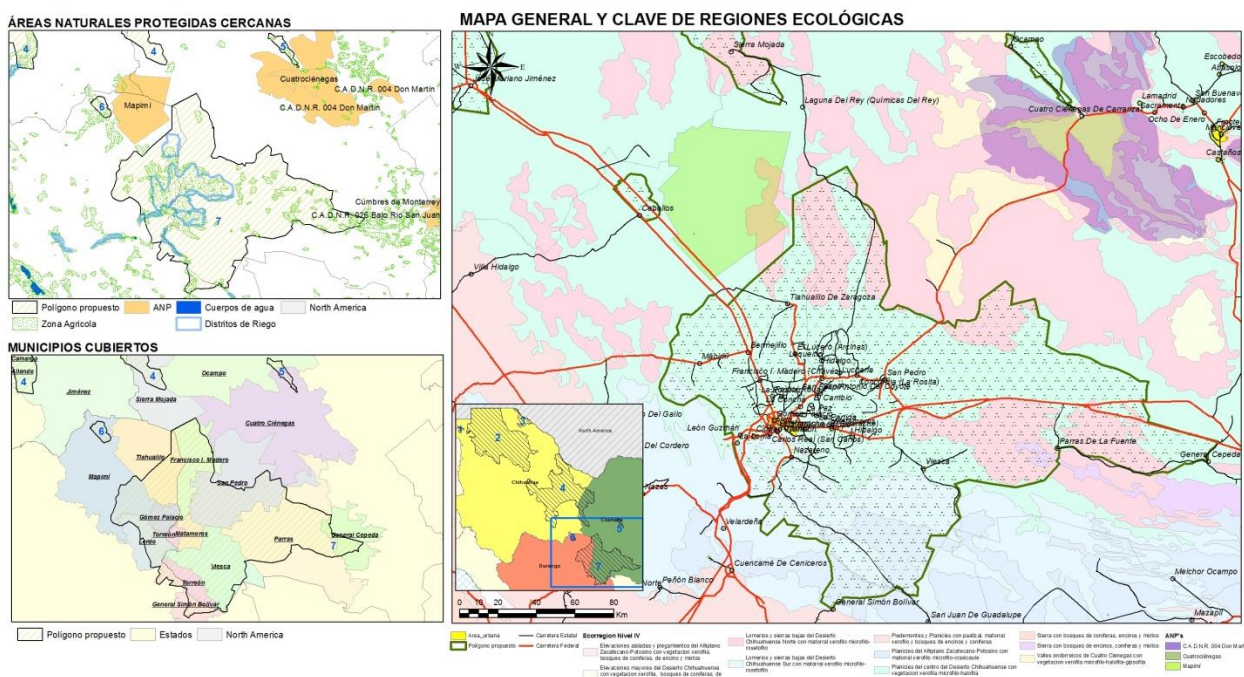


Figura 3. Polígono propuesto para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa Piloto en la región agrícola de Coahuila y Durango (Comarca Lagunera).

La liberación del algodón GlyTol® TwinLink® en etapa comercial excluye a las Áreas Naturales Protegidas: Janos, Médanos de Samalayuca, Campo Verde, Cumbres de Majalca, Cañón de Santa Elena, Ocampo, Maderas del Carmen, CADNR004, Mapimí y Cuatrociénegas.



Figura 4. Polígonos propuestos para la liberación de algodón GLT en etapa comercial en Chihuahua y la Comarca Lagunera.

La superficie y cantidad de semilla solicitada para la liberación en etapa comercial se presentan en el **cuadro 3**. La estimación de dichas cantidades se realizó tomando en cuenta la superficie histórica sembrada y el potencial de siembra de algodón en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango.

Cuadro 3. Superficie y cantidad de semilla de algodón GLT solicitada.

Superficie (ha)	Densidad de siembra (kg/ha)	Cantidad de semilla (kg)
250,000	17	4,250,000

2.1 Descripción geográfica

Los polígonos propuestos para la liberación se encuentra situados dentro de las regiones ecológicas Nivel I “Desiertos de America del Norte” y “Elevaciones Semiáridas Meridionales”, comprenden a su vez, en la región de Chihuahua, Coahuila y Durango, regiones ecológicas Nivel IV, que han sido determinadas con base en criterios de topoformas, datos de vegetación primaria, límites de unidades geológicas y límites de suelos en escala 1:1 000 000 (Figura 5)

- ✓ 10.2.4.1 Planicies del centro del Desierto Chihuahuense con vegetación xerófila micrófila-halófila
- ✓ 10.2.4.2 Lomeríos y Sierras bajas del Desierto Chihuahuense Norte con matorral xerófilo micrófilo-rosetófilo
- ✓ 10.2.4.4 Elevaciones mayores del Desierto Chihuahuense con vegetación xerófila, bosques de coníferas, de encinos y mixtos
- ✓ 10.2.4.6 Lomeríos y sierras bajas del Desierto Chihuahuense Sur con matorral xerófilo micrófilo-rosetófilo
- ✓ 10.2.4.7 Planicies del Altiplano Zacatecano-Potosino con matorral xerófilo micrófilo-crasicaule
- ✓ 12.1.2.1 Piedemontes y Planicies con pastizal, matorral xerófilo y bosques de encinos y coníferas

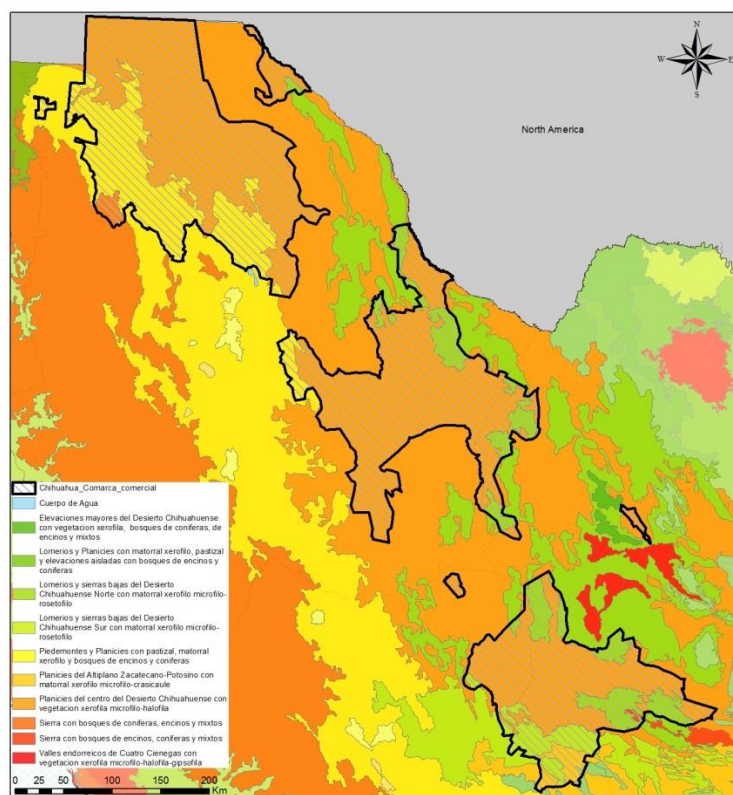
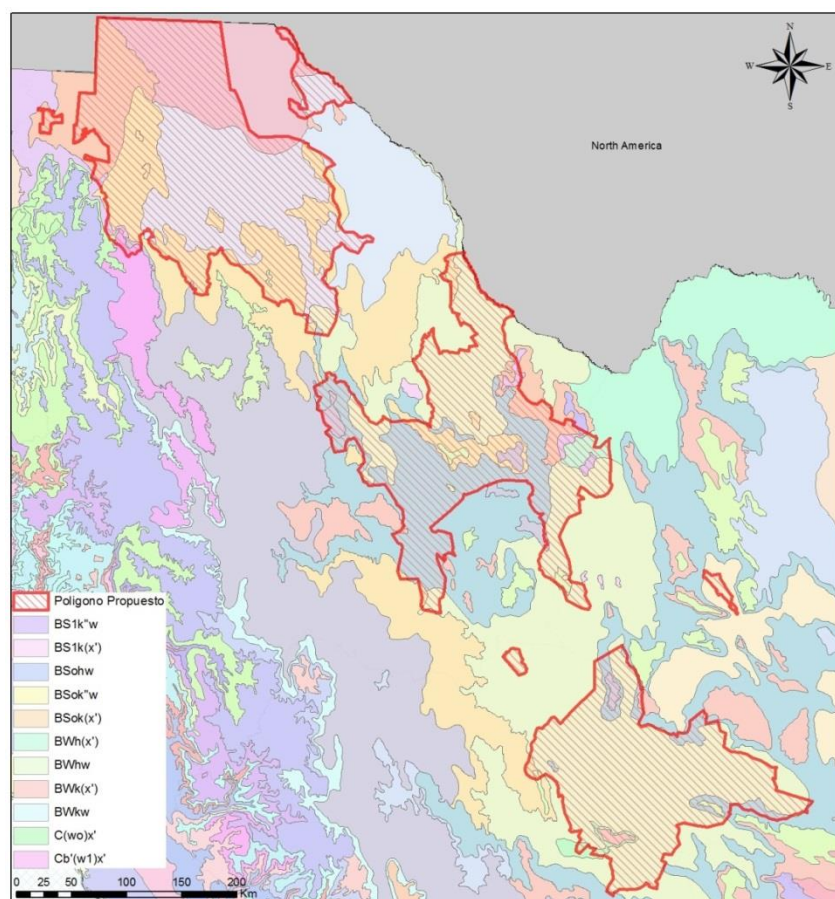


Figura 5. Regiones Ecológicas Nivel IV presentes dentro de los polígonos de liberación propuestos.

Como se observa en la [figura 5](#), las regiones ecológicas más representativas de los polígonos propuestos corresponden a las regiones ecológicas: **12.1.2.1** Piedemontes y Planicies con Pastizal, matorral xerófilo y bosques de encinos y coníferas y **10.2.4.1** Planicies del centro del Desierto Chihuahuense con vegetación xerófila micrófila-halófila.

2.1.1 Clima

Los climas característicos en los polígonos de liberación propuestos pertenecen al grupo B de climas secos ([Figura 6](#)).



[Figura 6](#). Climas característicos en los polígonos de liberación propuestos.

2.1.2 Suelo

El suelo es un factor que influye de manera determinante en la actividad agrícola de la región. Las zonas agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango se localizan principalmente en suelos del tipo Calcisol, los cuales son característicos de las zonas áridas y semiáridas, frecuentemente asociados a materiales parentales ricos en bases (depósitos aluviales, coluviales y eólicos). En los Calcisoles se desarrollan preferentemente los matorrales xerófilos

con arbustos y pastos efímeros. Su potencial agrícola puede ser alto, siempre y cuando se cuente con infraestructura de riego, fertilización y un adecuado drenaje que evite la potencial salinización y el encostramiento superficial originado por el arrastre de las sales y los altos índices de evaporación (figura 7)

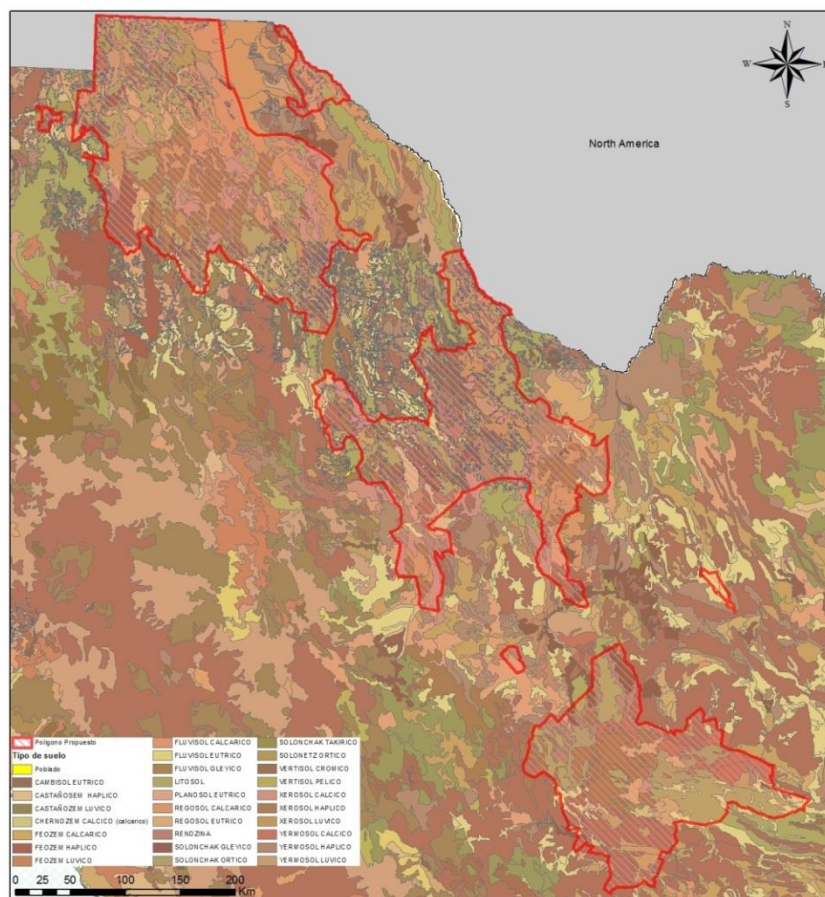


Figura 7. Tipo de suelo predominante en las regiones agrícolas de Chihuahua y la Comarca Lagunera.

2.1.4. Agricultura

El estado de Chihuahua tiene una superficie agrícola dispersa de aproximadamente 910,700 hectáreas, cuyos principales cultivos son avena (forraje), maíz y algodón. Así mismo, La Comarca Lagunera (Coahuila y Durango) posee una superficie agrícola de 52,500 hectáreas cuyos principales cultivos son sorgo, maíz (forraje) y algodón. Respecto al tipo de agricultura, en ambas regiones podemos encontrar agricultura de riego y de temporal. ha para cultivo (figura 8).

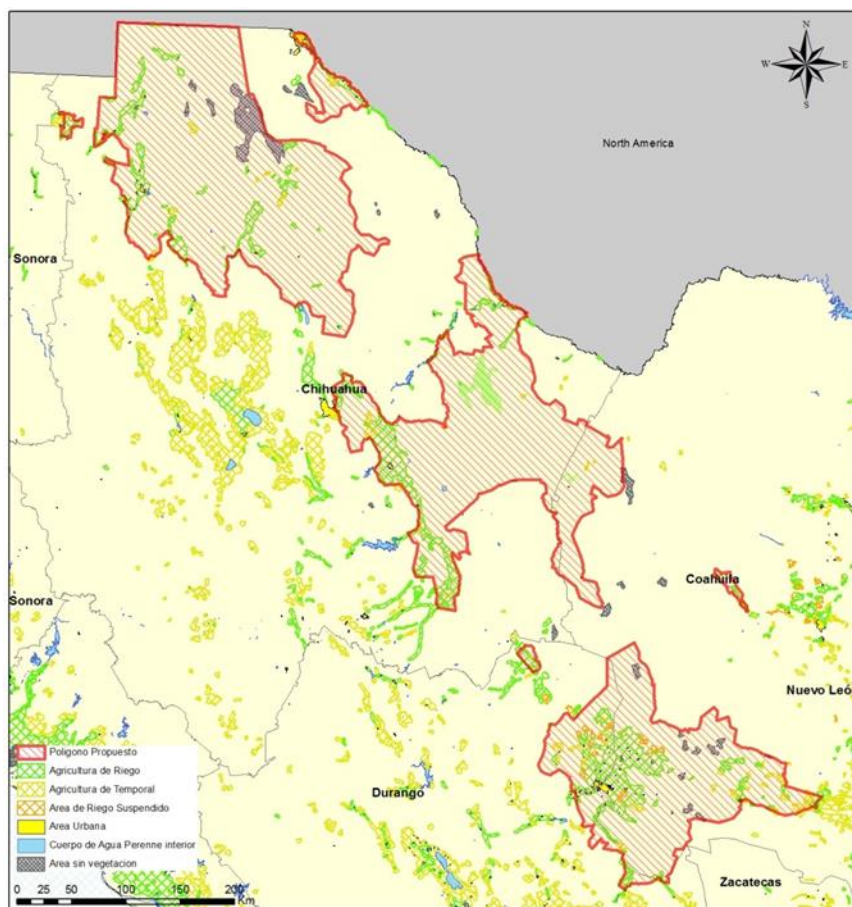


Figura 8. Tipos de agricultura en el polígono de liberación en el estado de Chihuahua, Coahuila y Durango.

2.1.5. Áreas Naturales Protegidas

La liberación del algodón GlyTol® TwinLink® se hará exclusivamente dentro del polígono especificado en la solicitud, el cual excluye a las Áreas Naturales Protegidas: Janos, Médanos de Samalayuca, Campo Verde, Cumbres de Majalca, Cañón de Santa Elena, Ocampo, Maderas del Carmen, CADNR004, Mapimí y Cuatrociénegas. Asimismo, con fundamento en lo establecido en el Artículo 89 de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y los artículos 48 y 49 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Bayer establecerá los controles y cumplirá con las medidas de bioseguridad necesarios para que la liberación de algodón genéticamente modificado sea sólo en las zonas autorizadas.

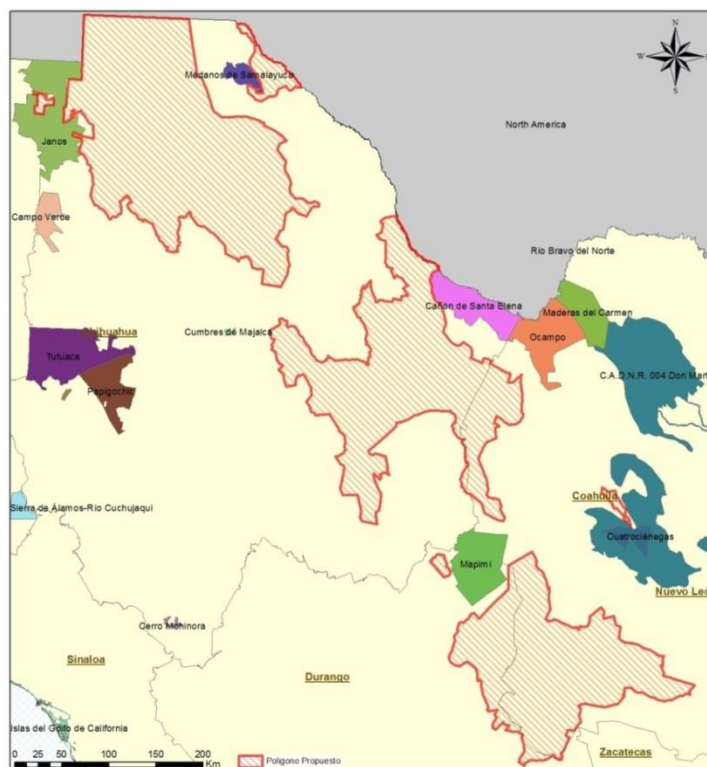


Figura 9. Áreas Naturales Protegidas adyacentes al polígono de liberación.

2.2 Municipio o municipios donde se encuentra cada uno de dichos polígonos

El polígono donde se realizará la liberación está ubicado en las regiones algodoneras de Chihuahua, Coahuila y Durango (**Figura 10**). Los municipios comprendidos son:

Cuadro 4. Estados y municipios para liberación en programa comercial de algodón GLT en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

Estado	Municipios
Chihuahua	Ahumada, Aldama, Allende, Aquiles Serdán, Ascensión, Buenaventura, Camargo, Casas Grandes, Chihuahua, Coyame del Sotol, Delicias, Galeana, Guadalupe, Ignacio Zaragoza, Janos, Jiménez, Juárez, Julimes, La Cruz, Manuel Benavides, Meoqui, Nuevo Casas Grandes, Ojinaga, Praxedis G. Guerrero, Rosales, Saucillo
Coahuila	Cuatro Ciénegas, Francisco I. Madero, General Cepeda, Matamoros, Ocampo, Parras, San Pedro, Sierra Mojada, Torreón, Viesca
Durango	General Simón Bolívar, Gómez Palacio, Lerdo, Mapimí, Tlahualilo
Sonora	Agua Prieta



Figura 10. Municipios donde se ubican los polígonos propuestos para la liberación en programa comercial de algodón GLT en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango

2.3 Estado o estados donde se ubica cada uno de dichos polígonos

El polígono donde se realizará la liberación está ubicado en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango, así como una porción reducida de la zona agrícola en municipio de Agua Prieta en Sonora. El polígono se muestra a continuación ([Ver figura 11](#)).

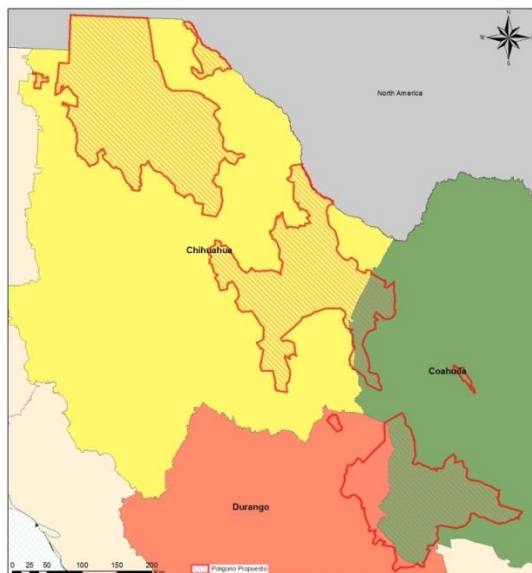


Figura 11. Estados donde se ubica el polígono para la liberación de algodón GlyTol® TwinLink® en programa piloto en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango.



3. REFERENCIA Y CONSIDERACIONES SOBRE EL REPORTE DE LOS RESULTADOS DE LA O LAS LIBERACIONES EXPERIMENTALES Y PILOTO EN MATERIA DE DESEMPEÑO AGRONÓMICO, EFECTIVIDAD BIOLÓGICA, IMPACTO AL AMBIENTE (ORGANISMOS NO BLANCO) Y COSTO BENEFICIO.

Conforme a lo dispuesto en el artículo 53 de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados; así como el artículo 18 de su Reglamento. El reporte contendrá lo siguiente:

De conformidad con lo establecido en los Artículos 46 y 53 de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados; 18 del Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y en la Guía para la Integración de Solicitudes de Permisos de Liberación al Ambiente de Organismos Genéticamente Modificados en etapa Comercial, competencia de la SAGARPA: Caso Algodón; se enlistan ([Cuadro 5](#)) y anexan a la presente solicitud, los Reportes de Resultados de las liberaciones experimentales y pilotos previas. Los varios estudios de evaluación generados en cada una de las liberaciones contenidos en los Reportes de Resultados se enlistan en el [Cuadro 6](#).

[Cuadro 5](#) . Datos y fechas de entrega de reportes.

No. Permiso	No. Solicitud	Fecha de entrega del Reportes de Resultados
1) Etapa experimental B00.04.03.02.01.- 2698	079_2010	13 de julio de 2011
2) Etapa experimental B00.04.03.02.01.- 4035	128_2011	
3) Etapa experimental B00.04.03.02.01.- 4036	127_2011	15 de noviembre de 2013
4) Etapa experimental B00.04.03.02.01.- 0115	052_2013	14 de septiembre de 2016
5) Etapa piloto B00.04.03.02.01.- 387	032_2014	16 de mayo de 2017
6) Etapa piloto B00.04.03.02.01.- 1183	011_2015	7 de junio de 2017

En el siguiente cuadro se incluyen los estudios de evaluaciones realizadas para cada uno de los seis permisos en soporte de la presente solicitud. Posteriormente, se hacen resúmenes para la la información de efectividad biológica, impacto en organismos no blanco y análisis de costo-beneficio en cada una de las secciones respectivas.



Cuadro 6. Evaluaciones realizadas por permisos de liberación de algodón TwinLink® GlyTol® en Chihuahua, Coahuila y Durango

No. Permiso/Región/No. de Solicitud. Reportes de evaluaciones.	
1) Etapa experimental. B00.04.03.02.01.-2698. Chihuahua. Solicitud 079_2010.	
Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink® x Glytol® en el ciclo agrícola P-V 2011 en Delicias, Chihuahua	
2) Etapa experimental. B00.04.03.02.01.-4035. Chihuahua. 128_2011	
Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink® GlyTol® en el ciclo agrícola P-V 2012 en Delicias, Chihuahua	
3) Etapa experimental. B00.04.03.02.01.- 4036. Comarca Lagunera. 127_2011.	
Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink® GlyTol® en el ciclo agrícola P-V 2012 en la Comarca Lagunera	
4) Etapa experimental. B00.04.03.02.01.- 0115. Chihuahua-Comarca Lagunera. 052_2013	
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.	
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.	
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.	
Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® (GLT) en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.	
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.	
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014	
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.	



Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.
Garzón T. J. A; Aldaba M. J. L. 2014. Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.
Garzón T. J. A; Aldaba M. J. L. 2014. Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.
Garzón T. J. A; Aldaba M. J. L. 2014. Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.
Garzón T. J. A; Aldaba M. J. L. 2014. Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.
5) Etapa piloto, B00.04.03.02.01.- 387. Chihuahua, Coahuila y Torreón. 032_2014
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.
Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.



6) Etapa piloto. B00.04.03.02.01.- 1183. Chihuahua. 011_2015
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.
Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink® GlyTol® en el ciclo agrícola P-V 2010 en la Comarca Lagunera.
Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink® GlyTol® en el ciclo P-V 2010 en Delicias, Chihuahua

Las evaluaciones que se realizaron del cultivo de algodón GlyTol® TwinLink® siguieron los objetivos en los protocolos planteados en el protocolo de los ensayos experimentales y pilotos, siendo realizados bajo la supervisión del personal de Bayer y el investigador responsable.

Los estudios que a continuación se presentan como una sinópsis, cubren tales objetivos como:

- 1) Efectividad biológica: Control de lepidópteros plaga y maleza en el cultivo del algodón sin que los herbicidas sean tóxico a éste,
- 2) Seguridad ambiental para organismos no blanco.
- 3) Beneficio económico de la tecnología GLT con estimaciones costo-beneficio.



3.1 Equivalencia agronómica y fenotípica.

El evento apilado GHB614 x T304-40 x GHB119 (GlyTol® TwinLink®), porta los genes *cry1Ab* y *cry2Ae*, los cuales le proporcionan resistencia contra el ataque de insectos lepidópteros y los genes *bar* y *2mepsps*, los cuales le confieren tolerancia a la aplicación de los herbicidas Glufosinato de amonio y Glifosato, respectivamente.

De tal forma, las variedades GLT han sido evaluadas con su contraparte convencional en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango, donde se han efectuado diversas comparaciones del comportamiento agronómico y fenotípico de la modificación genética del algodón GlyTol® TwinLink® representa una ventaja competitiva solamente dentro del agroecosistema del cultivo mismo. Así, para los diversos estudios realizados en 2011, 2012, 2014, 2015 y 2016, se considera que el algodón GLT ya fuera de ese ambiente es equivalente a su contraparte convencional y no exhibe características diferentes en su capacidad de adaptación, dispersión, desarrollo fenológico y germinación

La tecnología que se evaluó fue: el algodón GLT con una variedad específica para cada estudio dependiendo del año de su realización. El algodón GlyTol® TwinLink® contiene los genes *cry1Ab* de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* y *cry2Ae* de *Bacillus thuringiensis* subsp. *dakota* que le confieren resistencia específica al ataque de ciertos insectos lepidópteros plaga como gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saunders) y gusano tabacalero (*Heliothis virescens* Fabricius). El algodón GlyTol® TwinLink® puede requerir aplicaciones complementarias de insecticidas para el control de insectos plaga difíciles como gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner), por lo tanto, se debe mantener un monitoreo constante de plagas en el cultivo para determinar si es necesaria la aplicación complementaria de insecticidas para asegurar el nivel de control deseado. Además, el algodón GLT confiere tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio mediante la expresión de las proteínas PAT de *Streptomyces hygroscopicus* y *2mepsps* del maíz, permitiendo el uso de dos mecanismos de acción herbicida para un manejo más eficiente de la maleza en el cultivo de algodón. Por otro lado, la variedad convencional contra la que se compara el GLT fue la FM 989, en la cual se empleó un manejo convencional para control de insectos plaga y malezas en cualquiera de los estudios realizados.

A continuación se presenta una síntesis de los estudios donde se realizaron valoraciones fenotípicas, expresadas en resultados de parámetros de equivalencia agronómica y fenotípica. En cada estudio se utilizaron las siguientes variedades: FM 2334 GLT para algodón transgénico; y se compararon con la variedad convencional FM 989 (Cuadro 7). Para ésta última se realizó un manejo convencional para manejo de insectos plagas y malezas. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:



Cuadro 7. Tratamientos de equivalencia agronómica y fenotípica.

No.	Tratamiento	Manejo de plagas blanco	Manejo de maleza	Dosis de herbicida (l/ha)
1	Algodón convencional	Manejo regional con base a umbral económico	Manejo regional: Deshierbes el 29 de junio, 12 de julio, 19 de julio, 2 de agosto y 16 de agosto de 2014	-
2	GLT1	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Faena® Fuerte 360 (1452g.i.a/ha de glifosato): aplicaciones el 29 de junio y 12 de julio de 2014	4.0
3	GLT2	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Finale® Ultra (560 g.i.a/ha de glufosinato de amonio): aplicaciones el 29 de junio y 12 de julio de 2014	2.0

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.

Evaluación de la equivalencia agronómica y fenotípica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.

Para todos estos estudios arriba referidos, se encontró que las variables agronómicas y fenotípicas del algodón GlyTol® TwinLink® y el convencional se comportaron de manera similar, mostrando que no existieron diferencias en las características fenotípicas y fenológicas que pudieran ocasionar que el algodón GlyTol® TwinLink® se desarrollara de manera diferente o incrementará su capacidad competitiva con respecto al algodón convencional. Las diferencias observadas respecto a precocidad fueron debidas a la variedad y no a los atributos biotecnológicos conferidos por el inserto y sus elementos.

En otro estudio de 2012 se realizó un muestreo de carga de los tratamientos con la variedad transgénica y convencional. Es éste caso, existieron diferencias estadísticas en las variables evaluadas, las cuales no estuvieron asociadas al tipo de algodón, sino más bien, a las condiciones particulares de cada tratamiento. Los valores estimados de rendimiento fluctuaron de 1,943.8 a 3,318.8 kg/ha y los rendimientos estadísticamente más altos correspondieron a los tratamientos 1 y 2 con la variedad convencional. Las variables de calidad de fibra (micronaire y longitud) se comportaron de manera similar y fueron estadísticamente iguales en el caso de la resistencia (cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Muestreo de carga realizado en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera, 2012.

Tratamiento	No. de plantas	Cuadros	Bellotas chicas	Bellotas medianas	Bellotas grandes	Capullos
1	12.0 a	51.5 ab	0.5 b	0.7 d	1.2 d	0a
2	9.7 ab	53.7 a	0.5 b	1.0 cd	2.5 cd	0a
3	8.7 bc	36.0 bc	2.0 b	4.0 abc	13.7 a	0a
4	6.5 c	31.7 c	2.0 b	4.2 ab	10.2 ab	0a
5	9.50 a	41.5 abc	1.0 b	1.0 cd	2.2 cd	0a
6	10.00 a	48.5 abc	3.2 a	2.0 bcd	6.0 bcd	0a
7	10.00 a	40.7 abc	3.0 a	5.2 a	8.5 abc	0a

Cuadro 9. Variables de calidad de fibra en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2012.

Tratamiento	Micronaire	Longitud	Resistencia
1	4.20 b	1.25 ab	34.00 a
2	4.25 ab	1.23 b	32.43 a
3	4.26 a	1.26 b	34.05 a
4	4.24 ab	1.23 b	33.03 a
5	4.23 b	1.26 ab	33.65 a
6	4.21 ab	1.28 a	32.50 a
7	4.22 ab	1.24 ab	32.38 a

En el año 2012 en Delicias, Chihuahua los resultados de la variable altura fueron iguales a los obtenidos en 2010 y 2011. Los siguientes estudios de otros años para la misma tecnología y región se presentan a continuación ya que consideramos que podrían aportar información útil para la evaluación positiva de esta solicitud.

En 2010 se hizo una una comparación entre varios tratamientos con tecnología GlyTol® TwinLink™ y un testigo convencional, mediante dos muestreos de carga en los que evaluó: altura de planta, nudos totales, cuadros, flores, bellotas chicas, bellotas medianas, bellotas grandes y capullos ([cuadros 10 y 11](#)). En términos generales observó que hubo un comportamiento similar entre la variedad convencional (tratamiento 1 y 2) y la transgénica (tratamiento 3 -7).

Así mismo, se hizo una comparación entre el rendimiento de todos los tratamientos evaluados, el cual fluctuó de 2, 477.4 a 3, 001.6 kg/ha. El mayor rendimiento se observó en el tratamiento 1, sin embargo, en todos los casos los valores fueron estadísticamente iguales ([cuadro 12](#)). Respecto a las variables peso de fibra, fibra + semilla, % de fibra e índice de semilla el análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas significativas ([cuadro 13](#)).

En las variables correspondientes a calidad de fibra, solamente se observó diferencia estadística en lo que respecta a longitud de fibra ($Pr > F = 0.0135$), estimándose el promedio más alto en el tratamiento 1 y los tratamientos más bajos en los tratamientos 4, 5 y 6 ([cuadro 14](#)).

Cuadro 10. Muestreo de carga realizado el 27 de agosto de 2010 en la Comarca Lagunera.

Tratamiento	Altura de planta	Nudos totales	Cuadros	Flores	Bellotas chicas	Bellotas medianas	Bellotas grandes	Capullos
1	57.8	11.6	0.9	0.0	0.8	1.2	3.5	0.0
2	60.9	10.7	1.1	0.3	1.6	1.7	2.4	0.0
3	55.0	11.2	1.1	0.2	1.2	1.4	2.1	0.0
4	60.9	12.1	0.9	0.3	1.7	1.7	3.3	0.0
5	61.7	11.6	1.6	0.2	1.6	2.0	3.6	0.0
6	54.9	11.1	2.3	0.4	1.2	1.7	2.0	0.0
7	59.0	11.2	1.6	0.5	1.8	1.3	2.3	0.0

uadro 11. Muestreo de carga realizado el 8 de septiembre de 2010 en la Comarca Lagunera.

Tratamiento	Altura de planta	Nudos totales	Cuadros	Flores	Bellotas chicas	Bellotas medianas	Bellotas grandes	Capullos
1	61.2	11.4	0.1	0.0	0.5	0.6	2.2	2.2
2	65.0	11.8	0.1	0.0	0.5	0.6	2.7	1.9
3	60.5	11.4	0.1	0.0	0.5	0.6	2.8	1.3
4	58.3	11.6	0.1	0.0	0.7	0.7	2.2	2.6
5	61.3	11.0	0.1	0.0	0.3	0.6	2.1	1.7
6	57.1	10.4	0.1	0.0	0.6	0.7	2.1	1.6
7	59.0	11.5	0.1	0.0	0.4	0.9	3.1	1.3

Cuadro 12. Rendimiento estimado en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.

Tratamiento	1a pizca (kg/ha)	2da pizca (kg/ha)	Rendimiento total (kg/ha)
1	2, 086.7 a	914.9 a	3, 001.6 a
2	1, 901.7 a	884.0 a	2, 785.7 a
3	1, 644.7 a	853.2 a	2, 497.9 a
4	1, 788.6 a	822.4 a	2, 611.0 a
5	1, 881.1 a	801.8 a	2, 682.9 a
6	1, 788.6 a	884.0 a	2, 672.7 a
7	1, 552.2 a	952.2 a	2, 477.4 a

Cuadro 13. Variables de calidad de algodón hueso en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.

Tratamiento	Peso de fibra	Fibra + semilla	% de fibra	Índice de semilla
1	72.73	198.28	36.68	11.00
2	74.45	201.08	36.98	10.65
3	64.28	182.35	35.24	11.30
4	66.10	186.18	35.46	10.85
5	70.58	196.83	35.84	11.10
6	69.38	192.28	35.95	11.10
7	67.33	192.20	35.01	11.20

Cuadro 14. Variables de calidad de fibra en el ensayo realizado en la Comarca Lagunera en 2010.

Tratamiento	Micronaire	Longitud	Resistencia
1	4.46 a	1.23 a	32.93 a
2	4.48 a	1.22 a	32.35 a
3	4.04 a	1.21 abc	33.25 a
4	4.25 a	1.19 c	32.73 a
5	4.24 a	1.20 c	32.20 a
6	4.24 a	1.20 c	32.28 a
7	4.34 a	1.20 c	33.03 a

En 2010 se hizo una evaluación en Delicias, Chihuahua y no se encontraron diferencias estadísticas en la variable altura de planta, entre el tratamiento con algodón convencional limpio todo el ciclo (tratamiento 1) y los tratamientos GLT. A partir de la segunda aplicación y hasta el final del ciclo de cultivo, se observaron diferencias significativas únicamente en el

tratamiento con la variedad convencional enhierbado todo el ciclo, lo cual se debió a la competencia ejercida por la maleza. En la variable rendimiento en hueso, se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, debidas principalmente al bajo rendimiento obtenido en el tratamiento enhierbado (tratamiento 2), mientras que en el porcentaje de fibra, todos los tratamientos resultaron estadísticamente iguales ([cuadro 15](#)).

Cuadro 15. Rendimiento de algodón hueso, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el ensayo realizado en Delicias, Chih., 2010.

Tratamientos	Rendimiento en hueso (kg/ha)	Fibra (%)	Rendimiento de fibra (kg/ha)
1	2387.5 b	40.0	955
2	4799.4 a	41.8	2006.2
3	4829.3 a	41.4	1999.3
4	4812.5 a	41.6	2002
5	4795.8 a	41.6	1995.1
6	4801.7 a	41.8	2007.1
7	4878.9 a	41.8	2039.4

En otra evaluación en 2011 se observaron similares resultados respecto a la altura de los tratamientos evaluados. Se detectaron diferencias significativas entre el tratamiento convencional enhierbado todo el ciclo (tratamiento 1) con respecto a los demás, ya que la competencia por luz con la maleza incrementó el fototropismo y en consecuencia su altura. De igual manera, el rendimiento más bajo se obtuvo en este tratamiento y el porcentaje de fibra fue estadísticamente igual en todos los tratamientos ([cuadro 16](#)).

Cuadro 16. Rendimiento de algodón hueso, porcentaje de fibra y rendimiento de fibra en el ensayo realizado en Delicias, Chih., 2011.

Tratamientos	Rendimiento en hueso (kg/ha)	Fibra (%)	Rendimiento de fibra (kg/ha)
1	1283.4 b	38.0	487.7
2	4298.3 a	40.1	1723.6
3	4306.2 a	40.7	1752.6
4	4311.5 a	40.6	1750.5
5	4309.4 a	40.6	1749.6
6	4301.2 a	40.8	1754.9
7	4299.7 a	40.8	1754.3

Como conclusiones generales a los estudios arriba presentados se encontró que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los parámetros tales población inicial y final de plantas, altura inicial de la planta, número de nudos por planta; bellotas por planta;



incidencia de enfermedades, tolerancia al chorreado, vigor, días a primera flor; días a primera bellota y días a primer capullo.

3.2 Efectividad sobre organismos blanco.

Los estudios presentados a continuación incluyen la información representativa de las evaluaciones de efectividad biológica del algodón GLT en tres regiones agrícolas distintas de Ahumada, Buenaventura y la Comarca.

Las variedades de algodón de Bayer con la tecnología GlyTol® TwinLink® se han liberado en Chihuahua desde el año 2011. En dichas liberaciones se ha confirmado la efectividad biológica respecto al ataque de las plagas blanco y la tolerancia a la aplicación total de los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio. De la misma manera, se ha evaluado la efectividad de éste sobre la maleza asociada al cultivo de algodón en la región.

Cada uno de estos estudios fue realizado bajo las siguientes hipótesis:

- 1) La Tecnología GlyTol® TwinLink® confiere resistencia al ataque de lepidópteros plaga mediante la expresión de las proteínas Cry1Ab y Cry2Ae, por lo que el algodón GLT estará protegido contra estas plagas a diferencia del algodón convencional.
 - 2) La tecnología GlyTol® TwinLink® confiere tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, por lo tanto, dicho herbicida se pueden aplicar sobre el algodón GLT sin ocasionar fitotoxicidad a diferencia de cuando son aplicados en algodón convencional.
 - 3) Los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio aplicados en post-emergencia al cultivo y a la maleza, ejercen un excelente control contra maleza de hoja ancha y angosta presentes en el cultivo de algodón
- Herbicida Finale® Ultra (Solución acuosa; glufosinato de amonio 24.5%, (280 g/l). El glufosinato de amonio es un herbicida derivado del ácido fosfínico para aplicación en post-emergencia, actúa por contacto y controla especies de maleza de hoja ancha y angosta. El mecanismo de acción de este herbicida es mediante la inhibición de la enzima glutamina sintetasa (GS), la cual cataliza la síntesis de glutamina esencial para la síntesis de aminoácidos en las plantas.
 - Herbicida Faena Fuerte 360® (Concentrado soluble, Glifosato 35.6% a 363 g/l). El glifosato es un herbicida perteneciente al grupo químico de las glicinas para aplicación en post-emergencia, actúa de forma sistémica y controla especies de maleza de hoja ancha y angosta. El mecanismo de acción de este herbicida es mediante la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) bloqueando la biosíntesis de aminoácidos aromáticos (triptófano, tirosina y fenilalanina), componentes esenciales de las proteínas.
 - Los tratamientos evaluados en general fueron los siguientes, con variaciones en dosis dependiendo de la región agrícola o maleza identificada a controlar ([Cuadro 17](#)).



Cuadro 17. Tratamientos generales utilizados para la evaluación de la efectividad biológica.

No.	Tratamiento	Manejo de plagas blanco	Manejo de maleza	Dosis de herbicida (l/ha)
1	Algodón convencional	Manejo regional con base a umbral económico	Manejo regional: Deshierbes	-
2	GLT1	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Aplicaciones de Faena® Fuerte 360	4.0
3	GLT2	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Aplicaciones de Finale® Ultra	2.0

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.

Evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.

En general, como conclusiones de los diferentes estudios de efectividad biológica se presentan las siguientes:

- 1) Inventarios de maleza: Antes de las aplicaciones de deshierbes o aspersiones de herbicidas conforme a las dosis de los tratamientos, se hicieron los inventarios de diferentes especies de maleza de las parcelas, entre las cuales se encontraron las siguientes: *correhuela* (*Ipomoea purpurea* (L.)), *quelite* (*Amaranthus palmeri* S. Watson), *trompillo* (*Solanum elaeagnifolium* Cav.), *hierba amargosa* (*Helianthus ciliaris* D.C.), *torito* (*Tribulus terrestris* L.), *cadillo* (*Xanthium strumarium* L.), *verdolaga* (*Portulaca oleracea* L.), *hierba de la golondrina* (*Euphorbia micromera* Engelm.), *coquillo* (*Cyperus esculentus* L.), *zacate pinto* (*Echinochloa colona* (L.)), *zacate Johnson* (*Sorghum halepense* (L.)), *zacate pegarropa* (*Setaria verticillata* (L.)) y *zacate chino* (*Cynodon dactylon* (L.)).

Nota: Las especies pueden variar dependiendo de la zona del estudio.

- 2) Se logró un buen control de las malezas presentes en el ensayo con la aplicación de glifosato (Faena® Fuerte 360 a 4.0 L/ha) o glufosinato de amonio (Finale® Ultra 2.5 L/ha) en el algodón ST5032 GLT, en comparación con el manejo convencional donde se realizaron en promedio dos deshierbes manuales
- 3) No se presentaron daños fitotóxicos en el algodón GlyTol® Twinlink® debidos a la aplicación de los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, con lo cual se confirmó su tolerancia a dichos herbicidas.
- 4) Si bien las poblaciones de plagas blanco fueron bajas, esto no es limitante para evaluar la efectividad del algodón GLT puesto que los resultados muestran que se observaron daños en follaje y en cuadros por acción de gusano bellotero y tabacalero en el tratamiento convencional, lo cual no se observa en el algodón GLT.
- 5) Bajo las condiciones de este experimento, la tecnología GlyTol® Twinlink® representó una buena alternativa para el manejo de maleza en ls regiones agrícolas de Chihuahua y Comarca Lagunera.

Adicionalmente, en el estudio realizado en Delicias, Chihuahua en 2012 “Evaluación del comportamiento agronómico y la eficacia del algodón TwinLink x Glytol en el ciclo agrícola P-V 2012 en Delicias, Chihuahua” con algodón convencional FM 989 y algodón GLT”, se confirmó la efectividad de la tecnología sobre los organismos blanco y malezas (sin causar toxicidad al cultivo) con los herbicidas glifosato y glufosinato. Asimismo, se hizo un muestreo de poblaciones de insectos no blanco y no se encontraron diferencias entre las poblaciones de la variedad convencional y de la transgénica.

3.3 Organismos no blanco (ONB).

En los siguientes estudios presentados, las poblaciones de ONB se registraron para cada fecha de muestreo en ambos tratamientos con variedades de algodón tanto GLT como Convencional. Los tratamientos se muestran en el Cuadro 18. Las conclusiones definidas con base en los resultados son que las poblaciones son similitas tanto en el convencional como en el GLT y éstas no se ven afectadas al estar en contacto con el cultivo genéticamente modificado, ya que debido a su especificidad, los efectos insecticidas en el GLT sólo tiene actividad para los

organismos a los cuales va dirigido. Los diferentes estudios de esta naturaleza donde se abundan en detalles y conclusiones se muestran a continuación.

Cuadro 18. Tratamientos evaluados en ensayos experimentales o pilotos.

No.	Tratamiento	Manejo de plagas blanco	Manejo de maleza	Dosis de herbicida (l/ha)
1	Algodón convencional	Manejo regional con base a umbral económico	Manejo regional: Deshierbes	-
2	GLT1	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Aplicaciones de: Faena® Fuerte 360	4.0
3	GLT2	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Aplicaciones de: Finale® Ultra (560 g.i.a/ha de glufosinato de amonio.	2.0

- **Monitoreo de organismos no blanco (ONB) asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.**
- **Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.**
- **Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.**
- **Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2015.**
- **Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.**
- **Monitoreo de organismos no blanco asociados a la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.**

Como conclusiones generales con estos estudios están las siguientes:

- a) En el muestreo y comparación de organismos no blanco, se evaluaron un número definido de especies de insectos plaga no blanco y otras más de especies de depredadores durante un periodo específico. Los diferentes grupos analizados



mostraron una preferencia similar hacia ambas tecnologías, ya que no se detectaron diferencias estadísticas significativas en los análisis estadísticos realizados, lo que represento un 100% de similitud entre las tecnologías evaluadas.

- b) Los índices de diversidad de Margalef y de equidad de Shannon-Wiener se comportaron con alta similitud entre las tecnologías GLT y convencional, sin detectar diferencias marcadas entre los valores obtenidos
- c) La información obtenida sobre la presencia de ONB en ambas tecnologías muestra que se ha manejado de manera óptima la generación de un posible riesgo para dichos organismos debido al uso del algodón GLT puesto que las poblaciones monitoreadas no se ven afectadas al estar en contacto con el cultivo genéticamente modificado, ya que debido a su especificidad solo tiene efectos en los organismos a los cuales va dirigido.

3.4 Costo beneficio.

En específico, los principales beneficios del uso del algodón GlyTol® TwinLink® son:

- Reducción significativa en el uso de insecticidas.
- Menor impacto en las poblaciones de insectos benéficos y otros ONB.
- Disminuye la presión de selección de insectos resistentes a los insecticidas químicos.
- Disminución de la contaminación del suelo y mantos freáticos al reducir el uso de herbicidas residuales.

Con la introducción de los cultivos genéticamente modificados con resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas a nuestros sistemas agrícolas, se han generado una serie de inquietudes sobre el posible impacto que esta nueva tecnología pueda ejercer sobre la sanidad vegetal y el medio ambiente, por lo que es importante realizar un análisis comparativo entre el algodón GLT y convencional, para aclarar cualquier cuestionamiento derivado de su uso.

A continuación se describen los siguientes estudios realizados en Ahumada y Buenaventura, Chihuahua y en la Comarca Lagunera durante los años de 2014, 2015 y 2016. La hipótesis que planteada en los tres estudios referidos es que el beneficio económico y ambiental por el uso del algodón GLT es mayor que cuando se utiliza algodón convencional.

Las tecnologías que se evaluaron fueron dos: el algodón GLT con una variedad específica para cada estudio. El algodón GlyTol® TwinLink® contiene los genes *cry1Ab* de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* y *cry2Ae* de *Bacillus thuringiensis* subsp. *dakota* que le confieren resistencia específica al ataque de ciertos insectos lepidópteros plaga como gusano rosado (*Pectinophora gossypiella* Saunders) y gusano tabacalero (*Heliothis virescens* Fabricius). El algodón GlyTol® TwinLink® puede requerir aplicaciones complementarias de insecticidas para el control de insectos plaga difíciles como gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner), por lo tanto, se debe mantener un monitoreo constante de plagas en el cultivo para determinar si es

necesaria la aplicación complementaria de insecticidas para asegurar el nivel de control deseado. Así mismo, el algodón GLT confiere tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio mediante la expresión de las proteínas PAT de *Streptomyces hygroscopicus* y 2mepsps del maíz, permitiendo el uso de dos mecanismos de acción herbicida para un manejo más eficiente de la maleza en el cultivo de algodón. Por otro lado, la variedad convencional fue la FM 989, en la cual se empleó un manejo convencional de para control de insectos plaga y malezas en cualquiera de los estudios realizados.

La variedad utilizada en los ensayos contenían la tecnología GLT. La variedad utilizada como comparativo fue FM 989, empleando en ésta un manejo convencional de insectos y malezas (Cuadro 19).

Cuadro 19. Tratamientos evaluados en el ensayo experimental ubicado en Ahumada, Chihuahua durante el ciclo PV-2014.

No.	Tratamiento	Manejo de plagas blanco	Manejo de maleza	Dosis de herbicida (l/ha)
1	Algodón convencional	Manejo regional con base a umbral económico	Manejo regional: Deshierbes realizados: 5	-
2	GLT1	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Dos aplicaciones de Faena® Fuerte 360.	4.0
3	GLT2	Tecnología TwinLink® Sin aplicación de insecticidas para insectos blanco	Dos aplicaciones de Finale® Ultra.	2.0

La metodología utilizada es con base en un balance costo-beneficio, comparando los sistemas productivos del algodón GLT contra el algodón convencional, para abordar tanto un costo-beneficio económico como un costo-beneficio ambiental. De tal forma, para el costo-beneficio económico se realizó análisis comparativo del manejo del cultivo, insumos (costo de semilla convencional y biotecnológica, agroquímicos aplicados, fertilizantes, costos de aplicación, etc.), rendimiento del cultivo y costo del manejo de plagas.

Para estimar el rendimiento de fibra se tomaron como referencia el porcentaje de fibra de una muestra de 40 capullos por cada tratamiento, que fueron pesados y despepitados individualmente. Los rendimientos se reportan en kg/ha.



Respecto al enfoque ambiental, éste se midió utilizando el índice de impacto ambiental (EIQ por sus siglas en inglés), cuyos valores pueden ser usados para comparar diferentes pesticidas y programas de manejo de plagas para determinar cuál programa o pesticida tiene un menor impacto ambiental. Para el cálculo del EIQ se toman en cuenta 3 componentes: el componente agricultor, el componente consumidor y el componente ecológico. Dentro del componente ecológico se miden efectos acuáticos y terrestres referidos a la toxicidad y vida media de pesticidas presentes en el suelo, agua, plantas y su efecto en peces, aves, abejas e insectos benéficos (J. Kovach, C. Petzoldt, J. Degni, J. Tette, 1992).

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en etapa experimental en Buenaventura, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® (GLT) en algodón en etapa experimental en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2014.

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2015.

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en Ahumada, Chihuahua, durante el ciclo agrícola PV-2016.

Evaluación del costo-beneficio de la tecnología GlyTol® TwinLink® en algodón en programa piloto en La Comarca Lagunera, durante el ciclo agrícola PV-2016.

3.6 Referencia bibliográfica sobre los datos presentados

- Alibhai, M., & Stallings, W. (2001). Closing down on glyphosate inhibition—with a new structure for drug discovery. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 98(6), 2944-2946.
- Amrhein N, Deus B, Gehrke P, Steinrücken HC. 1980. The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. *Plant Physiol.* 66: 830-834.
- Aronson, A., Beckman, W., & Dunn, P. (1986). *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. *Microbiol. Rev.*, 50, 1-24.
- Bartlett, S., Grossman, A., Chua, N., Edelman, M., Hallick, R., & Chua, N. (1982). *Methods in chloroplast molecular biology*. Elsevier.
- Bentley, R. (1990). The shikimate pathway--a metabolic tree with many branches. *Crit Rev Biochem Mol Biol.*, 25(5), 307–384.
- Boocock MR, Coggins JR. 1983. Kinetics of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase inhibition by glyphosate. *FEBS Letters*. 154(1):127-133.
- Bravo, A., Hendrickx, K., Jansens, S., & Peferoen, M. (1992). Immunocytochemical Analysis of Specific Binding of *Bacillus thuringiensis* Insecticidal Crystal Proteins to Lepidopteran and Coleopteran Midgut Membranes. *J. Invertebr. Pathol.*, 60, 247-254.



- Brookes, G. y Barfoot, P. 2006. Global impact of biotech crops: socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use, *Agbioforum* 9 (3), p 139-151. Available on the worldwide web at www.agbioforum.org
- Brookes, G., y Barfoot, P. 2008. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects 1996-2006. *AgBioForum*, 11(1), 21-38.
- Brookes, G. y Barfoot, P. 2009. Global impact of biotech crops: income and production effects 1996-2007, *Agbioforum* 12 (2), p 184-208. Available on the worldwide web at www.agbioforum.org
- Brookes, G. and Barfoot, P. 2012. Economic impact of GM Crops: The global income and production effects 1996-2012.
- Brookes, G. y Barfoot, P. 2013. Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2013: Impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops Food*. 2015;6(2):103-33.
- Brookes, G. y Barfoot, P. 2016. GM Crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2014. PG Economics Ltd, UK, Mayo 2016.
- Chaparro, G. A. (2011). Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 231–251.
- Clive, J. 2012. Informe 54. Resumen ejecutivo. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012, ISAAA 2012.
- Clive, J. 2016. Informe 52. Resumen ejecutivo. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016, ISAAA 2016.
- De Beuckeleer, M. (2003). *Description of the amino acid sequence of the double mutant maize 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (2m EPSPS)*. Bayer CropScience Internal report. 5 pages. M-234186-01-1.
- Della-Cioppa, G., Bauer, S., Taylor, M., Rochester, D., Klein, B., Shah, D., Kishore, G. (1987). Targeting a herbicide-resistant enzyme from *Escherichia coli* to chloroplasts of higher plants. *Bio/Technology*, 5, 579-584.
- Ebersold, H., Geiser, P., & Ettlinger, L. (1978). The action of the d-endotoxin of *Bacillus thuringiensis*: an electron microscope study. *Experientia*, 34, 1672.
- Eschenburg, S., Healy, M., Priestman, M., Lushington, G., & Schonbrunn, E. (2002). How the mutation glycine96 to alanine confers glyphosate insensitivity to 5-enolpyruvyl shikimate-3-phosphate synthase from *Escherichia coli*. *Planta*, 216, 129–135.
- Forlani, G., Parisi, B., & Nielsen, E. (1994). 5-enol-pyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase from *Zea mays* cultured cells. *Plant Physiol.*, 105, 1107-1114.
- Franz, J., Mao, M., & Sikorski, J. (1997). *Glyphosate: A Unique Global Herbicide ACS Monograph 189* (1st Edition ed.). Washington, D.C.: American Chemical Society.
- Gupta, B., Dow, J., Hall, T., & Harvey, W. (1985). Electron probe X-ray microanalysis of the effects of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* crystal protein insecticide on ions and electrogenic K⁺-transporting epithelium of the larval midgut in the lepidopteran, *Manduca sexta* in vitro. *J. Cell Sci.*, 174, 137-152.
- Hérouet C. 2004. Assessment of the toxicity and allergenicity of the PAT protein (*bar* gene). Bayer CropScience. Internal report. 41 pages. #C045036.
- Hérouet C., Esdaile D.J., Mallyon B.A., Debruyne E., Schulz A., Currier T., Hendrick K., van der Klis R.J., Rouan D. 2005. Safety evaluation of the phosphinothricin acetyltransferase proteins encoded by the *pat* and *bar* sequences that confer tolerance to glufosinate-ammonium herbicide in transgenic plants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 41: 134–149. C047049.
- Herouet-Guicheney, C., Rouquié, D., Freyssinet, M., Currier, T., Martone, A., Zhou, J., Rouan, D. (2009). Safety evaluation of the double mutant 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase

- (2mEPSPS) from maize that confers tolerance to glyphosate herbicide in transgenic plants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 54, 143-153.
- Kishore, G., & Shah, D. (1988). Amino acid biosynthesis inhibitors as herbicides. *Annual Review of Biochemistry*, 57, 627-663.
- Kovach, C. Petzoldt, J. Degni, J. Tette, 1992. "A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides," New York's Food and Life Sciences Bulletin, No. 139, 1992, pp. 1-8.
- Lebrun, M., Sailland, A., & Freyssinet, G. (1997). *Mutant 5-enol pyruvylshikimate-3-phosphate synthase, gene encoding for said protein and transformed plants containing said gene*. International patent publication W0 97/04103-A2. 06.02.97. 25 pages.
- Lebrun M., Sailland A., Freyssinet G., Degryse E. 2003. Mutated 5- enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase, gene coding for said protein and transformed plants containing said gene. US patent US6566587B1 (20-MAY-2003). BAYER CROPSCIENCE SA (FR).
- Mahafey, H., Taheripour, F. y Tyner, W.E., 2016. Evaluating the economic and environmental impacts of a global GMO ban. *Journal of Environmental Protection*, 2016, 7, 1522-1546.
- Mitsky, T.A. 1993. Comparative alignment of CP4 EPSPS to known allergenic and toxic proteins using Fasta algorithm. 700 Chesterfield Parkway North, St Louis, MO, USA 63198. Monsanto Report No. MSL: 12820. Monsanto Company.
- OECD. (1999). Consensus document on general information concerning the genes and their enzymes that confer tolerance to phosphinothricin herbicide. *Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 11*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. (2002a). Series on harmonization of regulatory oversight in biotechnology No. 25. *Module II: Herbicide biochemistry, herbicide metabolism and the residues in glufosinate ammonium (Phosphinothricin)-tolerant transgenic plants. ENV/JM/MONO(2002)14*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Percival, A.e., Wendel, J. F., & Stewart, J.M. 1999. Taxonomy and germoplas resources; Cotton; Origin, History, Technology and Production. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc
- Rouquié, D. 2007. Cry1Ab protein - In vitro digestibility in simulated gastric fluid. Study number SA 07110. Bayer CropScience. December 05, 2007. 56 pages. DART number: M-295272-01-1.
- Rouquié, D. 2008. Cry2Ae protein - In vitro digestibility in simulated gastric fluid. Study number SA 08126. Bayer CropScience. October 09, 2008. 55 pages. DART number: M-308906-01-1.
- SAGARPA. 2016. <http://www.gob.mx/sagarpa>
- SIAP 2017. Anuario estadístico de producción. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/agricultura/>
- Sikorski, J., & Gruys, K. (1997). Understanding glyphosate's molecular mode of action with EPSP synthase: Evidence favoring an allosteric inhibitor model. *Accounts of Chemical Research*, 30, 2-8.
- Silva C. C. 2005. Algodón Genéticamente Modificado. AgroBio. Bogota, Colombia. Bioseguridad (s.f.).
- Steinrücken H.C., Amrhein N. 1980. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimate acid-3-phosphate synthase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 94(4): 1207-1212.
- Thompson, C., Movva, N., Tichard, R., Cramer, R., Davies, J., & Lauwereys, M. (1987). Characterization of the herbicide-resistance gene bar from *Streptomyces hygroscopicus*. *EMBO J.*, 6, 2519–2523.
- Walsh CT, Benson TE, Kim DH, Lees WJ. 1996. The versatility of phosphoenolpyruvate and its vinyl ether products in biosynthesis. *Chemistry & Biology*. 3: 83-91.



- Wehrmann, A., Van Vliet, A., Opsomer, C., Botterman, J., & Schulz, A. (1996). The similarities of bar and pat gene products make them equally applicable for plant engineers. *Nature Biotechnology*, 14, 1274-1278.
- Zhou, M., Xu, H., Wei, X., Ye, Z., Wei, L., Gong, W., Zhu, Z. (2006). Identification of a glyphosate-resistant mutant of rice 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase using a directed evolution strategy. *Plant Physiology*, 140, 184-195.

4. INSTRUCCIONES O RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS DE TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y, EN SU CASO, MANEJO

Bayer de México S.A. de C.V. tiene un protocolo para la movilización de material genéticamente modificado que es llevado a cabo en forma muy rigurosa antes de proceder a cualquier envío e incluye medidas para garantizar la calidad y trazabilidad de la semilla que se va a mandar al país de destino, siguiendo las medidas y procedimientos que se indican a continuación, con el objetivo de asegurar que el algodón GlyTol® TwinLink® será manejado de manera responsable desde su origen hasta su destino final.

- a) Una vez que se cuenta con el permiso de liberación al ambiente correspondiente, se consulta el “Modulo de Requisitos Fitosanitarios” (<http://www.senasica.gob.mx/?id=5145>) y se imprimen las “Medidas Fitosanitarias de Importación” de acuerdo al tipo de producto, origen y procedencia del mismo. A la par de lo anterior, el departamento de Comercio Internacional deberá de realizar la “solicitud del trámite de importación SENASICA” en la VU.- Ventanilla única (<http://www.ventanillaunica.gob.mx/>).
- b) **Importación y almacenaje de la semilla.** La importación de la semilla se realizará siguiendo el procedimiento establecido en el documento **SOP-IMM-001 Importación de semilla** en dónde se describe la metodología, evaluación y los controles del proceso de importación.

Posteriormente se informa de la importación de la semilla de acuerdo al registro **RG-CMM-003 Plan de importación**. Una vez iniciadas las importaciones se hace un monitoreo de las cantidades y lotes a través del registro **RG-CMM-022 Variedades por número de lote**.

Una vez que se cuenta con la liberación de importación, el Departamento de Logística coloca la orden de compra (purchase order) para el país exportador en SAP.

Con el permiso de siembra y el “Certificado de Importación” generado a través de la VU.- Ventanilla única (<http://www.ventanillaunica.gob.mx/>), el Departamento de Comercio Internacional comienza el proceso de importación. De igual manera, realiza la liberación y el envío a la Aduana correspondiente de la cantidad de semilla solicitada, acompañando el embarque con la documentación de rigor y la establecida en la MFI.

- c) **La movilización** se realizará vía terrestre a partir del origen de la semilla en Lubbock, Texas y posteriormente se ingresará a México a través de la aduana de Cd. Juárez, Chihuahua. En caso de ser necesario se utilizarán las aduanas de Nuevo Laredo, Matamoros y Reynosa en Tamaulipas, San Luís Río Colorado y Nogales en Sonora, Mexicali, B.C. u Ojinaga en Chihuahua; de ser así, se notificará dicho cambio al SENASICA.

En la aduana de entrada al país, la semilla será recibida por el Agente Aduanal de Bayer de México.

Previo a la movilización de la semilla, el responsable del traslado constatará que:

- No se produjeron pérdidas accidentales durante el proceso de descarga y liberación.
- Los envases no sufrieron deterioro que impida su transporte y que éstos estén correctamente identificados.
- El movimiento de la semilla será realizado el mismo día de la liberación de aduana. En caso que no hubiera posibilidad de movilizar la semilla ese mismo día, la misma será almacenada temporalmente en instalaciones aprobadas por Bayer para tal fin.
- Los documentos para la movilización serán archivados en la empresa Bayer para ser consultados por las personas autorizadas.

Una vez realizado lo anterior la semilla será transportada vía terrestre al almacén de Bayer de México conforme a la siguiente ruta de movilización.

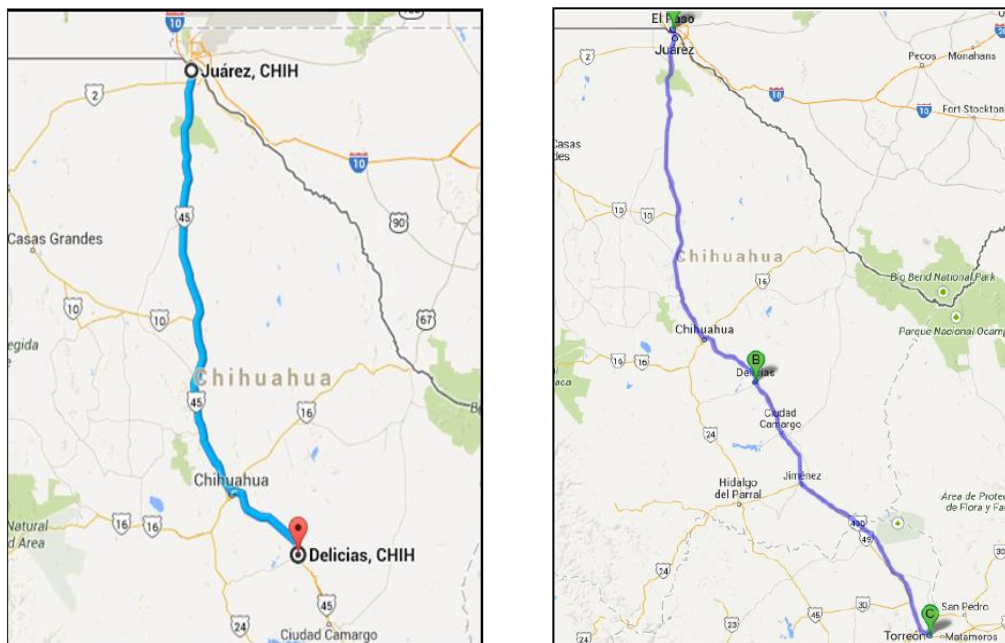


Figura 12. Ruta de movilización de Lubbock, Texas a Almacén en Delicias, Chihuahua y parcelas de Chihuahua y Comarca.



Solicitud de permiso para la liberación al ambiente de algodón GlyTol® TwinLink® en programa comercial en las regiones agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Durango, ciclo P-V 2017.

Origen: Lubbock, Estados Unidos de Norteamérica

Destino: Almacén Bayer, Delicias, Chihuahua.

Carreteras: Mex 045 y 045 D

Distancia: 436 km

Puntos intermedios: Cd. Juárez - Ahumada 117 km, Ahumada – El Sueco 86.7 km, El Sueco – Sacramento 126 km, Sacramento – Chihuahua 21.8 km y Chihuahua – Delicias 85 km.

Cuando la semilla llega a su destino, el responsable del almacén revisa el embarque y procede a darle ingreso en el sistema SAP y en físico.



Figura 13. Almacén de Bayer de México ubicado en Delicias, Chihuahua.

Después de que la semilla es ingresada a la bodega se deberá proceder a actualizar los respectivos inventarios, registrando el número de sacos que ingresan, el estado de los mismos y la persona responsable de la actividad.

Los materiales a utilizar con fines experimentales deberán ser almacenados en un lugar separado, con acceso restringido y bajo llave e indicando claramente: semilla regulada, la variedad, el evento, el lote. Los materiales no experimentales podrán ser almacenados en el mismo sitio donde se tienen convencionales, pero separados y correctamente identificados.

Las personas autorizadas para ingresar a la bodega deberán llenar el formato de registro de entrada y salida de personal e indicar el motivo y cada vez que se realicen ingresos y salidas de semilla, se deberá actualizar en el sitio de SharePoint correspondiente indicando las cantidades que se retiran, destino y la persona que retira.



Todos los envases individuales estarán etiquetados y la etiqueta deberá colocarse de manera que se preserven estos datos durante el periodo de almacenamiento y movilización. De igual manera, deberá contener la siguiente información con base en la NOM-001-SAG/BIO-2014.



Science For A Better Life

GlyTol® TwinLink®

BAYER DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

Miguel de Cervantes Saavedra No. 259, Col. Ampliación Granada, 11520 México, D.F., Tel. (55) 57 28 30 00

R.F.C. BME820511SU5

SEMILLA GENETICAMENTE MODIFICADA

SEMILLA DE ALGODÓN (*Gossypium hirsutum* L.)

VARIEDAD: Indicada en la bolsa

Tecnología: GlyTol® TwinLink®

Identificador OCDE: BCS-GH002-5 x BCS-GH004-7 x BCS-GH005-8

Germinación: 80% (MIN)

Semilla pura: 99%

Materia inerte: 1% (MAX)

Semilla de maleza nociva/kg: Ninguna

Semilla de otros cultivos: Ninguna

Categoría de la semilla: Declarada

Fecha de análisis de germinación: Información en la bolsa

Número de Lote: Información en la bolsa

Contenido neto: 220,000 semillas.

Importante: Sacos llenados por conteo de semilla, el peso puede variar entre 21 – 25 kg/bolsa.

Semilla producida en Estados Unidos de América por: Bayer CropScience USA 3223 South Loop 289, Suite 325, Lubbock, Texas, 79423, USA.

Exportada por: Bayer CropScience USA 3223 South Loop 289, Suite 325, Lubbock, Texas, 79423, USA.

Importada por: Bayer de México, S.A. de C.V.

Tratamiento de la semilla: Desborre químico a base de ácido, semilla tratada con fungicidas e insecticidas.

Fungicidas: Vortex® FS (ipconazole), Allegiance® FL (metalaxyl), Spera® 240 FS (myclobutanil), EverGol® Prime (penflufen).

Insecticidas: Gaucho® 600 (imidacloprid)

ADVERTENCIA: Esta semilla ha sido tratada con plaguicidas, por lo tanto:

- “Manténgase fuera del alcance de los niños, mujeres embarazadas, en lactancia y animales domésticos”
- “No se transporte ni se almacene junto a productos alimenticios o forrajes”
- “No se almacene en casas habitación”
- “No se utilice como alimento ni para extracción de aceite”

Variedad Genéticamente Modificada: El algodón GlyTol® TwinLink® (GLT) expresa las proteínas insecticidas Cry1Ab de *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki* y Cry2Ae de *Bacillus thuringiensis subsp. Dakota*, que le confieren resistencia al ataque de insectos lepidópteros como gusano rosado



(*Pectinophora gossypiella*) y gusano tabacalero (*Heliothis virescens*), así mismo expresa las proteínas PAT de *Streptomyces hygroscopicus* y 2mEPSPS del maíz, que le confieren tolerancia a las aplicaciones totales de los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato, permitiendo el uso de dos mecanismos de acción herbicida para un manejo más eficiente de la maleza en el cultivo del algodón. El algodón GlyTol® TwinLink® (GLT) puede requerir aplicaciones complementarias de insecticidas para el control de insectos difíciles como gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner), por lo tanto, se debe mantener un monitoreo constante de plagas en el cultivo para determinar si es necesaria la aplicación complementaria de insecticidas para asegurar el nivel control deseado.

Para su manejo agronómico, se sugiere seguir las indicaciones de manejo para el algodónero del campo experimental del INIFAP más cercano. La temperatura de suelo mínima para obtener una buena germinación y emergencia de la semilla de algodón es de 18°C. Siembras realizadas cuando el clima no permita estas condiciones pueden resultar en un mal establecimiento del cultivo.

Precauciones y advertencias de bioseguridad:

- “Esta Semilla Genéticamente Modificada no debe sembrarse, cultivarse o producirse fuera de las zonas autorizadas para su liberación”
- “El uso de esta semilla genéticamente modificada implica cumplir las medidas de bioseguridad y condicionantes contenidas en el permiso de liberación al ambiente”
- “Esta semilla no está destinada para consumo”
- “En caso de liberación accidental, repórtelo a: libaccidentalogm.dgiaap@senasica.gob.mx. CP. 04100, Tel. +52 (55) 50903000 Ext. 51533

Si se utiliza un envase secundario (embalaje) este también se etiquetará de manera visible con la información del inciso anterior y especificará la cantidad de envases individuales que contiene.

Movilización de la semilla

La semilla saldrá del almacén sólo cuando Bayer lo autorice y será transportada vía terrestre hacia los sitios de liberación ubicados en los municipios autorizados de Chihuahua, Coahuila y Durango. Una vez que la semilla sea entregada al distribuidor con quien Bayer tenga un convenio vigente, se procederá a revisar el inventario de semilla y firmar de recibido si las cantidades despachadas coincide con las cantidades entregadas.

Las medidas de bioseguridad que se seguirán durante las diferentes etapas de la movilización son:

1. Las semillas de algodón GM serán transportadas en bolsas de papel resistentes a la manipulación, selladas para prevenir cualquier derrame desde el origen hasta las bodegas y/o sitios autorizados para la liberación al ambiente.
2. Al documentar los embarques de semilla, se harán todas las especificaciones pertinentes a la compañía transportadora para que el material sea maniobrado con cuidado y evitar rompimiento de las bolsas.
3. Los envases (bolsas) estarán claramente identificados mediante etiquetas visibles y acordes a las especificaciones establecidas en la NOM-001-SAG/BIO-2014.



4. En caso de de liberación accidental de material de algodón genéticamente modificado durante el transporte, se notificará al correo libaccidentalogm.dgiaap@senasica.gob.mx, dentro de las 24 horas siguientes que se tenga conocimiento de la misma, e informará de manera oficial en un periodo de 3 días hábiles a la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera y a la Dirección General de Sanidad Vegetal de la situación, así mismo, Bayer de México implementará inmediatamente las siguientes acciones:
- Georreferenciar el sitio de la liberación accidental y delimitar el área de dispersión.
 - Recuperar toda la semilla que sea posible.
 - Realizar un balance entre la semilla transportada y la semilla recuperada para conocer la cantidad de semilla no recuperada y documentarlo.
 - Recabar evidencia fotográfica del sitio de liberación y del material liberado.
 - Establecer un programa de monitoreo de plantas voluntarias en el sitios de liberación.
 - Eliminación de plantas voluntarias de manera manual o mediante el uso de herbicidas.
 - Entregar un reporte al SENASICA con la documentación de las actividades realizadas.

Documentación para la movilización

- Lista de inventario de todos los envases, embalajes y materiales que se envían especificando la fecha de envío.
- Guía original de transporte especificando claramente la fecha de envío con la lista de inventario anexa.
- La guía de transporte y la lista de inventario debe enviarse vía correo electrónico a la persona autorizada para recibir la semilla con anticipación al envío.
- Los documentos relacionados con el transporte de la semilla de algodón GM se mantendrán bajo resguardo.
- Las empresas transportistas serán provistas de una Hoja de datos de seguridad para transporte, desarrollada específicamente para semillas genéticamente modificadas

5. CONDICIONES PARA SU LIBERACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN, EN CASO DE SER NECESARIAS.

a) Especificaciones de control.

Durante las liberaciones se da cumplimiento a lo establecido en el permiso de liberación correspondiente. Además, se implementan las medidas de Stewardship para cumplir con los requerimientos regulatorios y de Gestión Responsable para mantener el control de calidad y el control de los Materiales de Bayer. Este programa consistirá en los procedimientos operativos estándares y las mejores prácticas, implementando los elementos del ciclo de vida del producto que sea aplicable a las operaciones y actividades autorizadas o requeridas, así como de lo estipulado en los siguientes documentos:

- Etiqueta.
- Licencia de uso de la tecnología y plan de trabajo.



- Contrato con desepites.

El GLT tiene los siguientes espectros de control para plagas de insectos lepidópteros y para malezas:

Espectro de acción contra plagas lepidópteros: El algodón GLT expresa las proteínas insecticidas Cry1Ab y Cry2Ae de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que le confieren resistencia al ataque de insectos lepidópteros como gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*) y gusano tabacalero (*Heliothis virescens*). El algodón GLT puede requerir aplicaciones complementarias de insecticidas para el control de insectos difíciles como gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hubner).

Espectro de acción contra malezas: el algodón GLT también expresa las proteínas PAT de *Streptomyces hygroscopicus* y 2mEPSPS del maíz que le confieran tolerancia a las aplicaciones totales de los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato, permitiendo el uso de dos mecanismo de acción herbicida para un manejo más eficiente de la malezas en el cultivo del algodón.

Comercialización.

La semilla es transportada después de su ingreso a través de las aduanas fronterizas del norte del país, hacia el almacén de Bayer en Delicias, Chihuahua. De ahí, es recogida por los distribuidores quienes la entregan a los agricultores en las zonas agrícolas de siembra. Sólo se realiza la siembra en aquellas regiones autorizadas en el permiso de liberación.

Cuando la semilla es transportada, es caso de que hubiera un derrame accidental, primeramente, repórtelo a: libaccidentallogm.dgiaap@senasica.gob.mx. C.P. 04530. Tel. +52 (55) 5905 1000 Ext. 51500, 51501 y 51502. Posteriormente, se siguen las instrucciones en materia de Stewardship para contención y limpieza de la semilla. Se mantienen informadas a las autoridades de los hechos en la zona del derrame, y se harán visitas para control de plantas voluntarias en caso de existir.

b) Cumplimiento por distribuidores.

Bayer establece controles obligatorios de cumplimiento para la comercialización de la semilla, en apego al permiso de liberación correspondiente. Esto es ratificado con la firma por parte del agricultor de la "Licencia para el uso de tecnología Bayer" y del "Contrato con desepites"

Las condiciones de dicha licencia tienen el objetivo de prevenir la dispersión de semilla o su siembra a los lugares no autorizados en el permiso, siendo importante el control obligatorio en los puntos de riesgo medido, por lo que se debe obtener la información sobre la localización precisa de las parcelas del agricultor con coordenadas geográficas. Asimismo, el agricultor es informado que está prohibido realizar las siembras en áreas naturales protegidas y en lugares



fuera del polígono. En caso de sitios RAMSAR se siguen las regulaciones aplicables en la materia para realizar o no las siembras dependiendo del sitio RAMSAR específico.

Otras condiciones de la Licencia obligan al agricultor a participar en capacitación de la promovente, así como a sembrar refugio y llevar la semilla a los despepites autorizados.

En el caso de los despepites, con el contrato, también están obligados a no vender la semilla que resulte del proceso, ni disponer de ella o enajenarla a ningún otro sea persona física o moral.

c) Siembra en campo.

Una vez que el agricultor recibe la semilla, las prácticas agronómicas que realiza en campo se resumen en el siguiente [cuadro 25](#).

Cuadro 20. Prácticas agronómicas.

Prácticas agronómicas	
Actividad	Descripción
Preparación del terreno	
Subsuelo	Se realiza inmediatamente después de la cosecha anterior
Barbecho	Inmediatamente después del subsuelo.
Rastro	Inmediatamente después del barbecho.
Nivelación	
Epoca de siembra	Chihuahua: Generalmente del 1 de abril al 30 de mayo. Comarca Lagunera: Generalmente del 15 de marzo al 20 de abril.
Método de siembra	
Densidad de siembra	En general de 17 kg/ha aunque con una ligera variación en algunos casos.
Riegos	Cinco riegos de auxilio en las siguientes etapas fenológicas de: Inicio a floración; máxima producción de botones e inicio de capullos. Y el calendario de riego sería a los 60, 60, 100 y 120 días, o bien a los 50, 70, 90, 110 y 130 días.
Fertilización	Al momento de la siembra e inmediatamente antes del primer riego de auxilio.
Labores de cultivo	
Control de malezas	Control de maleza mediante la aplicación de herbicidas a base del ingrediente activo "glifosato", complementando con escardas como parte de las labores culturales.
Control de plagas	
Insectos lepidópteros	Aplicación de insecticidas, sólo en caso de que las poblaciones de insectos lepidópteros rebasen el umbral de acción definido.
Otras plagas	Aplicación de insecticidas para control de otro tipo de plagas como trips, chinches, mosquita blanca, etc.
Defoliación	Se realizan dos defoliaciones: la primera a los 25 días después de la aparición
Cosecha	Dos: la primera a los 25 días después de la aparición de los primeros capullos y la segunda a los 25 días después de la anterior.
Desvare	Inmediatamente después de la primera pizca



d) La cosecha

En campo es realizada con maquinaria de los propios agricultores. Bayer les recomienda prácticas de limpieza de la maquinaria antes, durante y después de las actividades diarias. Posteriormente, la cosecha de bellotas será transportada a los despepites donde se separa la semilla de la fibra y se limpia de residuos como pequeñas impurezas. Los despepites están obligados a seguir las prácticas firmadas en el contrato con la promotora.

5.1. Plan de seguimiento durante la liberación.

Las actividades incluyen:

- Efectuar una localización georreferenciada de los lotes de los agricultores cooperantes que siembren el algodón GLT con el propósito de tener un control sobre los sitios de liberación y de esa manera prevenir que se siembren en zonas no autorizadas.
- Los agricultores realizarán un monitoreo de canales de riego y drenes adyacentes a los predios con el fin de detectar el posible establecimiento de plantas en sus orillas.
- Realizar capacitaciones a todo el personal involucrado en el proceso de producción con el objeto de que toda persona relacionada con el cultivo conozca las posibles implicaciones, riesgos y beneficios de uso y manejo del algodón GLT. Además, todo el personal involucrado deberá saber que debido a que el algodón GLT tiene como característica la tolerancia a la aplicación del herbicida glifosato y resistencia a insectos lepidópteros, es posible detectarlo con facilidad con respecto a otro tipo de algodones.
- Proporcionar la asistencia técnica necesaria a los agricultores para un adecuado manejo del cultivo por parte de un investigador o técnico reconocido de la zona ([cuadro 26](#)).

Cuadro 21. Plan de capacitaciones en Chihuahua y la Comarca Lagunera.

Personal a capacitar	Responsable de la capacitación	Fecha de la capacitación	Temas de capacitación
Previo a la liberación (siembras)			<ul style="list-style-type: none"> - Qué es el algodón transgénico - Regulaciones en algodón GM. - Puntos críticos en el manejo de OGM's - Responsabilidades Individuales
Distribuidores; personal regional de Bayer; técnicos locales y agricultores cooperantes.	Personal de Asuntos Regulatorios y/o Representantes de Desarrollo Comercial de BCS – Seeds and Traits.	De acuerdo a la región: Chihuahua norte y Sur (incluye Agua prieta Sonora): Marzo – Abril. Comarca (Coahuila y Durango): Febrero – Marzo	
Durante la liberación (desarrollo del cultivo)			<ul style="list-style-type: none"> - Medidas de Bioseguridad - Resistencia de malezas a herbicidas - Manejo de resistencia de malezas a herbicidas - Resistencia de insectos en cultivos Bt
Técnicos locales y agricultores cooperantes.	Personal de Asuntos Regulatorios y/o personal regional de Bayer y/o Representantes de Desarrollo Comercial.	Para Todas las regiones: De Mayo a Julio	
Después de la liberación (durante la cosecha)			



Distribuidores y técnicos locales y agricultores cooperantes.	Personal de Asuntos Regulatorios y/o personal regional de Bayer y/o Representantes de Desarrollo Comercial.	De acuerdo a la región: Chihuahua norte y Sur (incluye Agua prieta, Sonora): Octubre – Noviembre. Comarca (Coahuila y Durango): Septiembre – Octubre.	- Refugios
---	---	---	------------

5.2. Estrategias de monitoreo posteriores a la liberación del OGM.

El programa de monitoreo se realizará en las zonas donde se siembre el algodón biotecnológico durante un periodo de un año, dirigiendo la búsqueda a plantas de algodón voluntarias que puedan expresar el evento GlyTol® TwinLink® y procediendo a su destrucción. Se implementarán las siguientes medidas:

- En las zonas donde fueron sembradas las variedades de algodón con el evento GLT deberá hacerse monitoreo de voluntarias, por lo menos durante el ciclo agrícola siguiente, con el objetivo de cumplir con la medida de bioseguridad respectiva y como parte de la campaña de erradicación de picudo y gusano rosado del algodnero.
- Los monitoreos empezarán después de la cosecha y cuando se detecten plantas voluntarias éstas deberán ser destruidas antes de que lleguen a floración, con una aplicación dirigida de glufosinato de amonio o de manera manual.
- Se realizará un monitoreo de voluntarias en las rutas utilizadas para transportar el algodón hueso a los despepites de la región y los vehículos utilizados para este fin serán cubiertos con una lona o material plástico para reducir la diseminación de la semilla de algodón en las carreteras.
- Se realizaron los reportes de monitoreo y destrucción de plantas voluntarias en el estado de Chihuahua y la Comarca Lagunera durante los años 2012, 2013, 2014 y 2015 y 2016.
- El algodón GlyTol® TwinLink® en hueso será trasladado y despepitado solamente en aquellas empresas que cuenten con contrato con Bayer, para garantizar que la semilla cosechada no sea enajenada a terceros para resiembra, almacenamiento y comercialización y se destine a su procesamiento industrial. Los despepites serán monitoreados por representantes de Bayer para asegurar que la semilla vaya al uso especificado en el contrato. La información de los despepites (Razón social y ubicación) con quienes Bayer tiene convenio en Chihuahua y la Comarca Lagunera ha sido entregada a las autoridades.

Estrategias para la detección del OGM y su presencia posterior en la zona o zonas donde se pretenda realizar la liberación y zonas vecinas, una vez concluida la liberación.

Se efectuará un monitoreo de plantas voluntarias como se describió anteriormente. Además, en el siguiente ciclo de siembra del algodnero, en caso de ser necesario y donde llegara a existir



controversia respecto al origen del algodón que se esté sembrando en la zona de liberación y zonas vecinas, se utilizarán métodos para detectar el evento GLT en muestras de hojas.

Para realizar el monitoreo se utilizan tiras reactivas (QuickStix® Strips) en muestras de hojas. La utilización de tiras reactivas permite, al igual que en el caso de otros cultivos GM, identificar de forma rápida y confiable al algodón GlyTol® TwinLink®. El método identifica en forma específica las proteínas Cry1A & Cry2Ae & 2mEPSPS & PAT/BAR.

- EnviroLogix. QuickStix™ Combo Comb Kit for Multi-Trait Testing Cry1A/2Ae/2m/bar Cotton Seed
- Catalog Number: AS 025 ST.

Este método está disponible públicamente y puede ser consultado en la siguiente dirección:

<http://www.envirolgix.com/wp-content/uploads/2015/05/AS025-STC-MultiTrait-Quad-C1C2Ae2mLL-091415.pdf>

Medidas para la erradicación del OGM en zonas distintas a las permitidas.

Las medidas y procedimientos de bioseguridad están diseñados para evitar cualquier contingencia, de tal forma que existe un riesgo bajo de que cualquier evento de este tipo pueda ocurrir. Sin embargo, en caso de identificar, como resultado de un monitoreo aleatorio de las zonas algodonerías, predios sembrados con algodón GLT, los cuales no son parte del padrón de agricultores cooperantes, quienes han firmado una licencia de uso de la tecnología de Bayer de México S.A. de C.V., se procederá a la integración de un registro de quien o quienes hayan procedido fuera de la ley y se actuará de acuerdo a los procedimientos legales que corresponden. El hecho se informará a la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera (DGIAAP).

Si ocurriese una diseminación accidental durante el transporte de la semilla o de la cosecha, se tomarán las medidas de bioseguridad necesarias para impedir que el material BCS-GHØØ2-5 x BCS-GHØØ4-7 x BCS-GHØØ5-8 se propague o disemine, y se realizará la recuperación total del material regulado. Asimismo, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 59 del Reglamento de la LBOGM, se notificará al correo libaccidentalogm.dgiaap@senasica.gob.mx, dentro de las 24 horas siguientes que se tenga conocimiento de la liberación y se informará de manera oficial en un máximo de 3 días hábiles a la ventanilla de la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera (DGIAAP)

Como se menciona en el plan de monitoreo, se mantendrá un control de los predios por medio de su ubicación georreferenciada y de esta manera evitará que se siembre algodón GLT fuera de los predios autorizados. Así mismo, se firmarán licencias de uso de la tecnología con agricultores cooperantes. De ser necesario, se efectuará un monitoreo en zonas vecinas a la de liberación del algodón GlyTol® TwinLink® y se utilizarán tiras reactivas para detectar el evento GLT en muestras de hojas.



6. CONSIDERACIONES SOBRE LOS RIESGOS DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON QUE SE CUENTE PARA CONTENDER CON EL PROBLEMA PARA EL CUAL SE CONSTRUYÓ EL OGM, EN CASO DE QUE TALES ALTERNATIVAS EXISTAN

6.1. Algodón GlyTol® TwinLink® (GLT)

Bayer CropScience ha usado técnicas de mejoramiento convencional para desarrollar el algodón GHB614 x T304-40 x GHB119 (**GlyTol® TwinLink®; GLT**) que confiere resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas, en dónde, cada evento individual aporta beneficios específicos al evento apilado final.

GHB614 produce la proteína de *Zea mays* L. 5-enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintasa (2mEPSPS) que confiere tolerancia al herbicida glifosato. La proteína 2mEPSPS difiere de la enzima de tipo salvaje de maíz en dos sustituciones de aminoácidos. El identificador de la OCDE es BCS-GHØØ2-5.

T304-40 produce la proteína de *Bacillus thuringiensis* subsp. *berliner* Cry1Ab que es efectiva para el control de larvas de lepidópteros como gusano bellotero *Helicoverpa zea* y gusano tabacalero *Heliothis virescens*. T304-40 también expresa la tolerancia al ingrediente inerte herbicida fosfinotricina acetil transferasa (PAT/*bar*) como marcador de selección que confiere tolerancia al herbicida glufosinato de amonio. El identificador OECD es BCS- GHØØ4-7.

GHB119 produce la proteína de *Bacillus thuringiensis* subsp. *dakota* Cry2Ae que es efectiva para el control de larvas de lepidópteros como gusano bellotero *Helicoverpa zea*, gusano tabacalero *Heliothis virescens* y gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*. GHB119 también expresa la tolerancia al ingrediente inerte herbicida fosfinotricina acetil transferasa (PAT/*bar*) como marcador de selección que confiere tolerancia al herbicida glufosinato de amonio. El identificador OECD es BCS- GHØØ5-8.

La combinación de proteínas insecticidas, Cry1Ab (Evento T304-40) y Cry2Ae (GHB119) provee un control de insectos mejorado y ofrece una herramienta adicional para el Manejo de Resistencia de Insectos. De igual manera, la combinación de las proteínas 2mEPSPS y PAT/*bar* proporciona tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio respectivamente y también ofrece alternativas adicionales en el control de maleza para los productores de algodón.

6.2. Inocuidad y especificidad de las proteínas expresadas por el algodón GLT

Las proteínas 2mEPSPS, PAT/*bar*, Cry1Ab y Cry2Ae no tienen efecto sobre el metabolismo normal de la planta y no se espera que la expresión de las características acumuladas produzca efectos interactivos o sinérgicos porque involucran distintos mecanismos de acción. No se espera que las características de protección contra insectos y de tolerancia a herbicidas otorguen ventajas adaptativas al algodón en hábitats naturales, en condiciones naturales o

dentro de un agroecosistema. La similitud de las características de las plantas GLT con el algodón convencional permite concluir que no existen ventajas adaptativas o un mayor potencial de convertirse en plaga o maleza en el algodón GLT como consecuencia de la modificación genética.

Las características reproductivas no han sido alteradas en el algodón GLT, ni en los eventos individuales GHB614, T304-40 y GHB119, como consecuencia del proceso de transformación ni como consecuencia del proceso de cruzamiento convencional.

Los productos derivados del procesamiento industrial de la semilla de algodón son aceite para consumo humano, harina de algodón (suplemento alto en proteína para ganado y aves), cascarrilla (fibra para ganado vacuno) y *linter* (celulosa para productos industriales y de consumo humano) (www.cottonseed.com¹). En general los análisis de composición de aceite refinado de diferentes cultivos oleaginosos, así como el análisis de *linter* procesado, han demostrado la ausencia de proteína detectable en estos productos (Hamilton *et al.*, 2002; Health Canada, 2013; Sims, *et al.*, 1995). Por lo tanto, el consumo humano significativo de las proteínas 2mEPSPS, PAT/*bar*, Cry1Ab, y Cry2Ae presentes en las variedades de algodón GLT es muy poco probable y no existe una preocupación significativa sobre algún impacto en la salud, basado en la falta de exposición significativa a las proteínas.

6.2.1. Inocuidad de la proteína 2mEPSPS

La tolerancia al glifosato se obtiene disminuyendo la habilidad del herbicida para inhibir la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), la cual es esencial para la biosíntesis de aminoácidos aromáticos en plantas, hongos y bacterias. En el algodón GLT la tolerancia al glifosato se basa en la expresión de la enzima 2mEPSPS codificada por el gen *2mepsps* derivado del maíz, en el cual se han incluido dos cambios para adaptarlo al uso preferido de codones del algodón. La proteína 2mEPSPS con baja afinidad por el glifosato, es altamente resistente a la inhibición por este herbicida y permite suficiente actividad enzimática para que las plantas puedan desarrollarse en presencia de herbicidas que contengan glifosato. La seguridad de la proteína 2mEPSPS ha sido evaluada exhaustivamente en diversos estudios científicos y los resultados han confirmado su inocuidad. La enzima 2mEPSPS no posee ninguna propiedad asociada con toxinas o alérgenos conocidos, incluyendo la falta de similitud de secuencia de aminoácidos con toxinas y alérgenos conocidos, se ha observado una rápida degradación en fluidos gástricos e intestinales simulados y la ausencia de efectos adversos en ratón después administración intravenosa u oral a dosis de 10 o 2000 mg/kg de peso corporal. En conclusión, no se espera ningún riesgo derivado de la inclusión de la proteína 2mEPSPS en la cadena alimenticia humana o animal (Herouet *et al.*, 2009).

6.2.2. Inocuidad de la proteína PAT/*bar*

Por su uso tan extendido en cultivos biotecnológicos, la seguridad de la proteína PAT ha sido ampliamente evaluada. Cuando la secuencia de aminoácidos de la enzima PAT se sometió a

¹ National Cottonseed Products Association (NCPA).



análisis comparativo de polipéptidos usando el algoritmo FASTDB de Intelligenetics, no mostró una homología significativa con otras proteínas presentes en las bases de datos, excepto con otras fosfinotricina acetiltransferasas que se originan a partir de diferentes organismos. No se observó semejanza con toxinas potenciales o con alérgenos. No se esperan efectos tóxicos o alérgicos provenientes de la proteína PAT/*bar*, ya que las acetiltransferasas no poseen estabilidad proteolítica o térmica y tiene una alta especificidad de sustrato (Herouet *et al.*, 2005).

6.2.3. Inocuidad y especificidad de las proteínas Cry1Ab y Cry2Ae

Los insecticidas microbiales a base de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) tienen una historia de uso seguro en la agricultura de alrededor de 50 años. Las proteínas Cry están entre los ingredientes activos de estos insecticidas y actualmente los genes que codifican estas proteínas han sido introducidos en diversos cultivos mediante técnicas de ingeniería genética. Lo anterior implica que las proteínas Cry han sido usadas y consumidas de forma segura por humanos y animales durante décadas (Betz *et al.*, 2000; Onose *et al.*, 2008; McClintock *et al.*, 1995). Los niveles de proteínas Cry expresadas en los cultivos GM son muy bajos y se reducen todavía más debido al procesamiento de los alimentos. Adicionalmente, la extensa evaluación de proteínas Cry en cultivos GM no han mostrado ningún daño o efecto negativo en especies no blanco, incluyendo los humanos (Koch *et al.*, 2015).

Las proteínas Cry1Ab y Cry2Ae producidas por el algodón GLT con resistencia a insectos se derivan de la bacteria común del suelo *Bacillus thuringiensis* y son específicamente tóxicas para ciertos insectos lepidópteros. Las pruebas de toxicidad con un rango representativo de organismos no blanco arrojó valores de NOEL y/o NOEC² en concentraciones que representan diez veces o más las concentraciones ambientales esperadas de Cry1Ab y Cry2Ae ([Cuadros 27 y 28](#)[Error! Reference source not found.](#)) (ILSI, 2011b, Scott *et al.*, 2008).

Cuadro 22. Resumen de pruebas eco-toxicológicas de la proteína Cry1Ab sobre organismos no blanco.

Especie	Método de exposición	Duración de la exposición	Resultados
<i>Apis mellifera</i> (larvas de abejas)	Exposición a una sola dosis de proteína a 20 ppm	unidosis	NOEL >20 ppm
<i>Apis mellifera</i> (abeja adulta)	Exposición a una sola dosis a 20 ppm	unidosis	No se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre las poblaciones de prueba y de control. En el grupo de prueba, la mortalidad media fue de 16.2%

² **NOEL, NOEC** – (Nivel de Efecto No Observado, Concentración de Efecto No Observado) – La máxima dosis en un estudio toxicológico en el cual no fueron observados efectos tóxicos.



Especie	Método de exposición	Duración de la exposición	Resultados
<i>Chrysoperla carnea</i> (larvas de crisopa)	Exposición a 16.7 ppm	7 días	NOEL > 16.7 ppm
<i>Hippodamia convergens</i> (catarinas)	Exposición a una sola dosis a 20 ppm	unidosis	NOEL > 20 ppm
<i>Brachymeria intermedia</i> (himenóptero parasitoide)	Exposición a una sola dosis a 20 ppm	unidosis	NOEL > 20 ppm
<i>Folsomia candida</i> (Colémbolos)	Tejidos liofilizados de hojas (estimado de 50.6 µg)	28 días	NOEL > 50% de la dieta
<i>Daphnia magna</i>	Exposición a la proteína Cry1Ab en el polen del maíz en múltiples concentraciones	48 horas	NOEC > 150 mg/L
Lombriz de tierra	Exposición a la proteína Cry1Ab bacteriana en un sustrato de suelo artificial	14 días	NOEL > 200 ppm
<i>Mus musculus</i> (ratón)	Sonda aguda por vía oral a 3280 mg/kg	unidosis	Efecto no observado

Fuente: ILSI. 2011b. Revisión de la seguridad ambiental de la proteína Cry1Ab. Center for Environmental Risk Assessment, ILSI Research Foundation. Washington D.C. USA.

Cuadro 23. Resumen de pruebas eco-toxicológicas de la proteína Cry2Ae sobre organismos no blanco.

Especie	Estado de desarrollo	Variables evaluadas	Resultados
Ratón (<i>Mus musculus</i>)	Adulto joven	Mortalidad, peso corporal, signos clínicos	NOEC 2000 mg/kg
Abeja	Larva	Mortalidad, desarrollo, emergencia de adultos, comportamiento	NOEC 50 µg/g
Catarinita (<i>Coleomegilla maculata</i>)	Larva	Mortalidad, desarrollo, emergencia de adultos, comportamiento	NOEC 64 µg/g
Crisopa (<i>Chrysoperla carnea</i>)	Larva	Mortalidad	NOEC 27 µg/g
Colémbolo (<i>Folsomia candida</i>)	Larva	Mortalidad, reproducción	Sin mortalidad a 44 µg/g
Lombriz de tierra	Adulto	Mortalidad	NOEC 100 mg/kg
<i>Daphnia</i>	Inmaduro	Mortalidad, desarrollo, reproducción	NOEC 48 µg/g

Fuente: Scott, A.; Bushey, D.; Freyssinet, M.; Poe, M.; Rinehardt, M. 2008. Petition for Determination of Nonregulated Status for Insect-Resistant and Glufosinate Ammonium-Tolerant cotton: TwinLink™ cotton (events T304-40 x GHB119) OECD Unique Identifier BCS-GH004-7 x BCS-GH005-8. Research Triangle Park, NC, USA: BayerCropScience LP.

El efecto tóxico de las proteínas Bt requiere de condiciones alcalinas (como las proporcionadas en el intestino de la larva del insecto) para que se disuelvan los cristales, digestión parcial por

proteasas específicas para que liberen el núcleo activo de la toxina y la unión específica de ésta a receptores presentes en la superficie de las células epiteliales del intestino medio del insecto. La unión específica de la toxina a estos receptores conduce a la formación de poros en la membrana plasmática y a la eventual muerte celular, parálisis intestinal e inanición. Estos son los pasos que proporcionan el alto grado de especificidad para cada proteína Bt (English & Slatin 1992; Hofmann *et al.*, 1988; Knowles & Dow, 1993; Van Rie *et al.*, 1989).

Para que las proteínas Cry puedan ejercer actividad insecticida tienen que ser ingeridas por los insectos. La proteína en su forma cristalina es insoluble en solución acuosa a pH neutro o ácido (Bulla *et al.*, 1977), sin embargo, el pH del tracto digestivo de las larvas de los insectos es alcalino (pH 8 - 10) y probablemente reductivo, lo que favorece la solubilización del cristal (Tojo and Aizawa, 1983; Ogiwara *et al.*, 1992). Una vez ingerida, la proteína es subsecuentemente activada por proteasas en el tracto digestivo del insecto. Estas proteasas cortan el extremo carboxilo terminal del resto de la proteína (Chroma y Kaplan, 1990), al igual que aproximadamente 28 aminoácidos del extremo amino terminal. La proteína activada, que consiste de aproximadamente 660 aminoácidos, se difunde a través de la membrana peritrófica del insecto al epitelio del mesenterón. Aquí se une a receptores específicos de alta afinidad (Wolfersberger *et al.*, 1986, Hofmann *et al.*, 1988, Van Rie *et al.*, 1989; Van Rie *et al.*, 1990). Se forman poros en la membrana que causa derramamiento de los contenidos celulares (i. e. K+) en el lumen del intestino y agua hacia las células epiteliales de intestino (Sacchi *et al.*, 1986; Knowles *et al.*, 1989). Las células epiteliales del tracto de las larvas se hinchan debido a la presión osmótica y se lisan. El tracto se paraliza como consecuencia de los cambios en electrolitos y pH lo que provoca que la larva deje de comer y muera.

El requerimiento de un pH alcalino y proteasas específicas del intestino de las larvas de insectos es una característica importante de la actividad insecticida específica de *Bacillus thuringiensis*, debido a que los mamíferos y otros insectos no blanco no pueden solubilizar los cristales de Bt, estos pasan a través del sistema digestivo de los organismos no blanco en su forma inalterada y por lo tanto no tóxica.

Durante las evaluaciones realizadas en Chihuahua y la Comarca Lagunera durante los años 2014, 2015 y 2016 se monitorearon los artrópodos no blanco asociados al algodón GLT y algodón convencional agrupándolos en tres categorías: plagas no blanco, depredadores y parasitoides. Los resultados obtenidos mostraron que las poblaciones muestreadas se han comportado de manera similar y no se observado una influencia negativa sobre las mismas, debida al uso de algodón genéticamente modificado GLT.

6.3. Cambios fenotípicos e incremento del potencial como maleza

El algodón (*Gossypium spp.*) es una planta domesticada que carece de características agresivas o distintivas de las especies vegetales consideradas como maleza. Esta planta ha sido cultivada por el valor de su fibra durante siglos en varios países, sin que exista ningún reporte que la clasifique como una planta invasiva o como una maleza (OECD, 2008).

Investigadores y reguladores han evaluado el potencial para que las variedades de algodón GM se conviertan en maleza y han determinado que las nuevas características conferidas mediante ingeniería genética no aumentan el potencial del algodón para convertirse en una maleza agrícola, debido a que las plantas voluntarias de algodón pueden controlarse mediante técnicas convencionales de manejo de maleza (Carpenter *et al.*, 2002; Artim *et al.*, 2003, USEPA, 2008). Un ejemplo de lo anterior es el algodón en los Estados Unidos de América, en donde el cultivo fue introducido hace varios siglos y hasta la fecha no se tiene evidencia de que este cultivo se haya convertido en una maleza (Scott *et al.*, 2008³)

Tradicionalmente los programas de mejoramiento genético de algodón han desarrollado y liberado una gran cantidad de variedades en diferentes ambientes, las cuales incorporan nuevas características de resistencia a enfermedades e insectos, tolerancia a factores ambientales (calor, frío, sequía) y se han mejorado características fenotípicas como mayor vigor de germinación, crecimiento de plántula y precocidad, así como características de calidad de fibra, sin que a la fecha se tenga evidencia de que alguna de estas variedades se haya convertido en maleza. Los cultivos modificados mediante ingeniería genética, los cuales son altamente específicos, no deben presentar un nivel de riesgo diferente que las variedades mejoradas desarrolladas por métodos convencionales (Scott *et al.*, 2008).

No se ha reportado que las variedades cultivables de *G. hirsutum* presenten una capacidad invasiva importante. La hipótesis de que la introducción de genes de resistencia a las principales plagas, podría incrementar el potencial de la capacidad invasiva del algodón GM al modificar su adecuación comparado con variedades convencionales ha sido evaluada con estudios realizados por Eastick & Hearnden (2006) quienes demuestran que la capacidad invasiva, evaluada en términos de germinación, sobrevivencia y dispersión, no presentó diferencias con respecto a su contraparte convencional, aún en zonas con humedad propicia para el establecimiento. Después de 2 años, la sobrevivencia fue muy baja.

La maleza se constituye por un grupo de plantas que se pueden considerar como plaga. El término maleza es utilizado para describir una planta nociva en un ecosistema manejado como son las plantaciones agrícolas o forestales. Típicamente una maleza es una especie vegetal que se distribuye fácilmente en áreas perturbadas o entre los cultivos. El potencial de maleza es una medida de la capacidad de las plantas para colonizar satisfactoriamente un ecosistema, especialmente cuando esto puede ocasionar el desplazamiento de otras especies. Baker (1965) y Morishita (2012) han descrito las características ideales de la maleza, mismas que incluyen:

- Germinación discontinúa y semillas con períodos de latencia largos.

³ Scott, A.; Bushey, D.; Freyssinet, M.; Poe, M.; Rinehardt, M. 2008. Petition for Determination of Nonregulated Status for Insect-Resistant and Glufosinate Ammonium-Tolerant cotton: TwinLink™ cotton (events T304-40 x GHB119) OECD Unique Identifier BCS-GHØØ4-7 x BCS-GHØØ5-8. BayerCropScience LP. Research Triangle Park, NC, USA.



- Crecimiento en estado de plántula muy acelerado.
- Crecimiento rápido para llegar al estado reproductivo.
- Período prolongado de producción continua de semillas.
- Autocompatible, pero no necesariamente auto polinizable o apomítica.
- Si se entrecruza utiliza el viento o polinizadores no especializados.
- Gran producción de semillas en condiciones favorables.
- Germinación y producción de semillas en amplia variedad de condiciones.
- Alta tolerancia o plasticidad a la variación climática y edáfica.
- Adaptaciones especiales para dispersión.
- Adaptación a las prácticas de manejo agronómico de los cultivos.
- Buena competitividad, lograda mediante compuestos alelopáticos, etc.
- Si es perenne, entonces una reproducción vegetativa vigorosa, quebradiza en los nudos inferiores o de rizomas o raíces, y capacidad de regeneración a partir de estacas.

En general la característica de maleza depende de una ventaja selectiva de muchos genes que funcionan en combinación, que no están relacionados con los genes introducidos por razones agronómicas. No se cuenta con reportes de plantas de algodón actuando como maleza en los campos agrícolas.

Durante las evaluaciones agronómicas realizadas en Chihuahua y la Comarca Lagunera durante los años 2014, 2015 y 2016 las variedades de algodón GLT y algodón convencional evaluadas se comportaron de manera similar durante todo el ciclo de cultivo.

Durante el año 2014, en Ahumada, Chihuahua las variables agronómicas del algodón GlyTol® TwinLink® y el convencional se comportaron de manera similar ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los parámetros: población inicial y final de plantas, altura inicial de la planta, número de nudos por planta, bellotas por planta, incidencia de enfermedades y tolerancia al chorreado. De la misma manera, en Buenaventura, Chihuahua no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los parámetros: vigor, población inicial y final de plantas, altura inicial de la planta, número de nudos por planta, bellotas por planta, incidencia de enfermedades y tolerancia al chorreado.

En Ahumada, Chihuahua, existieron diferencias estadísticas en la variable vigor, sin embargo, tanto la variedad convencional como la variedad GLT mostraron un vigor excelente y esta diferencia inicial no impactó en el desarrollo del algodón convencional, como se puede observar en la similitud que mostraron las demás variables.

De manera general en Chihuahua, la variedad GLT fue más precoz que la variedad convencional, ya que los parámetros días a primera flor, días a primera bellota y días a primer capullo ocurrieron primero. Lo anterior, fue debido a las características de cada variedad y no tuvo impacto en la duración total del ciclo de cultivo, ya que la diferencia fue de pocos días.

En la Comarca Lagunera (2014) las variables agronómicas y fenotípicas del algodón GlyTol® TwinLink® y convencional, se comportaron de manera similar ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre los parámetros: vigor de planta, población final de plantas, altura inicial y final de planta, número de nudos por planta, días a primera flor, días a primeras bellotas, días a primeros capullos y bellotas totales. Sólo se observaron diferencias entre tratamientos en la población inicial de plantas, sin embargo, la población se comportó de manera similar durante el ciclo, ya que en la variable población final de plantas no hubo diferencias estadísticas significativas.

En Buenaventura, Chihuahua en 2015 las variables agronómicas y fenotípicas del algodón GLT se comportaron de manera similar al convencional ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre los parámetros: número de nudos, altura final, nudos totales, capullos totales, población final y rendimiento. Se detectaron diferencias estadísticas entre el algodón GLT y el convencional en los parámetros de altura inicial y días a primeros capullos, sin embargo, la altura final del cultivo fue estadísticamente igual que el tratamiento convencional, por lo que se considera que esta variación no fue significativa.

En la Comarca Lagunera en 2015 las variables agronómicas y fenotípicas del algodón GLT y convencional, se comportaron de manera similar ya que no se encontraron diferencias estadísticas entre los parámetros: vigor inicial, población inicial, número de nudos y nudos totales, días a primera flor, días a primeras de bellotas, días a primeros capullos, altura final, capullos totales y rendimiento. Se detectaron diferencias estadísticas entre el algodón GLT y el convencional en los parámetros de altura inicial y capullos totales, sin embargo, la altura final del cultivo fue estadísticamente igual al tratamiento convencional, por lo que se considera que esta variación no fue significativa.

Durante el año 2016, en Ahumada, Chihuahua y la Comarca Lagunera se obtuvieron resultados similares a los obtenidos en el año previo. La mayoría de los parámetros evaluados fueron estadísticamente iguales y sólo se detectaron diferencias estadísticas en la altura inicial de plantas, sin embargo, la altura final fue estadísticamente igual, por lo que se considera que esta variación no fue significativa. Así mismo, las diferencia en los días a primeros capullos y capullos totales no fueron relevantes, ya que el ciclo finalizó la misma fecha para ambos tipos de algodón y el rendimiento fue estadísticamente igual.

6.4. Plantas voluntarias de algodón GLT

Las plantas voluntarias son especies cultivadas de plantas que nacen espontáneamente por residuos de cosechas de ciclos pasados. En todos los cultivos existen voluntarias y la ocurrencia de estas depende de la labranza después de la cosecha, la severidad del invierno y la humedad del suelo. La eliminación puede hacerse de manera manual o química y en cualquiera de los casos las plantas deben haber germinado.



Las plantas voluntarias ocasionan los mismos problemas que las malezas tradicionales: reducen el rendimiento del cultivo mediante la competencia por humedad, nutrientes y luz, sirven de hospederas de insectos y enfermedades e interfieren con las operaciones de cosecha (Ogg y Parker, 2000).

La mejor estrategia de manejo de plantas voluntarias dependerá de las condiciones climáticas locales, rotación de cultivos y del régimen de labranza. Sin embargo, la labranza y el uso de herbicidas son los métodos más usados. La labranza es probablemente una de las herramientas más efectivas para el manejo de plantas voluntarias durante el barbecho o antes de la siembra de cualquier cultivo. Sin embargo, cuando la actividad se realiza durante el ciclo de cultivo quedará aproximadamente de un 15 a 25% del área no perturbada en donde las plantas pueden sobrevivir.

Adicionalmente, varios herbicidas proveen excelente control de las plantas voluntarias en ambos casos, ya sea antes de la siembra o durante el ciclo de crecimiento del cultivo. El control de las plantas voluntarias de algodón GLT podrá realizarse mediante el uso de herbicidas como 2,4-D y Picloram.

Durante el año 2018 y posteriores, Bayer realizará el monitoreo y destrucción de plantas voluntarias de algodón en Chihuahua y la Comarca Lagunera siguiendo el protocolo descrito en el anexo correspondiente de la versión confidencial de esta solicitud. Las principales actividades serán:

- Georreferenciar los predios en donde se liberó algodón GLT y los despepites que funcionaron durante el ciclo agrícola para definir la ruta de exploración.
- Realizar los recorridos de exploración por las principales vías de acceso y vías secundarias de las zonas productoras hacia los despepites.
- Registrar mediante coordenadas geográficas los puntos de detección y eliminación de plantas voluntarias.
- Elaborar mapas de distribución de focos de infestación (plantas voluntarias de algodón).
- Eliminar física o químicamente (herbicidas) las plantas detectadas antes de que lleguen a la etapa de floración.
- Evidenciar mediante fotografías las plantas detectadas y el proceso de destrucción.
- Elaborar un reporte con los resultados obtenidos.

Bayer ha realizado el monitoreo de plantas voluntarias desde el año 2012 en los principales caminos y carreteras de las zonas algodonerías de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

En el año 2012 se realizó el monitoreo de plantas voluntarias en los principales caminos y carreteras de los municipios Francisco I. Madero, Matamoros y San Pedro de las Colonias en el estado de Coahuila; Tlahualilo y Gómez Palacio en el estado de Durango, y Ahumada, Aldama, Ascensión, Buenaventura, Camargo, Casas Grandes, Delicias, Galeana, Janos, Juárez,



Guadalupe, Meoqui, Nuevo Casas Grandes, Ojinaga, Praxedis, Rosales, y Saucillo en el estado de Chihuahua. Durante este año se detectaron pocas plantas voluntarias, las cuales fueron eliminadas completamente como resultado del programa implementado. Las rutas de monitoreo realizadas, los puntos de detección y la evidencia fotográfica se encuentra en los reportes correspondientes.

En el año 2013, se exploraron un total de 1870 km correspondientes a caminos, canales y carreteras del área de influencia de los despepites que operaron durante ese ciclo agrícola en los municipios Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro de las Colonias, Torreón (Coahuila), Lerdo, Gómez Palacio, Tlahualilo, Simón Bolívar, San Luis Cordero y San Pedro del Gallo (Durango). En los recorridos realizados sólo se detectó un punto con 65 plantas voluntarias, las cuales estaban completamente secas y fueron eliminadas mecánicamente, arrancándolas de raíz. En el estado de Chihuahua el monitoreo fue realizado en los municipios de Ascensión, Juárez, Guadalupe, Ahumada, Janos, Praxedis, Buenaventura, Nuevo Casas Grandes, Casas Grandes, Chihuahua, Ojinaga, Aldama, Julimes, Camargo, Rosales, Meoqui, Delicias, Saucillo, La Cruz y Jiménez recorriendo aproximadamente 6,024 km en los que se detectaron y eliminaron 11,029 plantas voluntarias distribuidas en 50 puntos. Los resultados completos del programa se presentan en los reportes correspondientes.

Durante el año 2014, el monitoreo fue realizado en los municipios de Francisco I. Madero, San Pedro de las Colonias y Matamoros en el estado de Coahuila; Tlahualilo y Gómez Palacio en el estado de Durango, y Ascensión, Ahumada, Janos, Guadalupe, Praxedis, Buenaventura, Nuevo Casas Grandes, Casas Grandes, Chihuahua, Ojinaga, Aldama, Julimes, Camargo, Rosales, Meoqui, Delicias, Saucillo, La Cruz y Jiménez en el estado de Chihuahua. Como resultado del programa se detectaron y eliminaron 909 plantas voluntarias en 17 puntos positivos en un recorrido de 850 km en la Comarca Lagunera y 4,600 plantas voluntarias en 47 puntos en un recorrido de 5,300 km en Chihuahua. En los reportes respectivos se presentan los resultados del programa de monitoreo.

En el año 2015, los municipios en los que se realizó el monitoreo de plantas voluntarias en la Comarca Lagunera fueron Francisco I. Madero, San Pedro de las Colonias y Matamoros en el estado de Coahuila, así como Tlahualilo y Gómez Palacio en el estado de Durango. Los monitoreos en la zona permitieron detectar y eliminar 777 plantas voluntarias en 19 puntos positivos en un recorrido de 900 km. Mientras tanto en Chihuahua, el monitoreo se realizó en Aldama, Buenaventura, Ojinaga, Julimes, Camargo, Ahumada, Ascensión, Janos, Meoqui y Delicias, en donde se detectaron y eliminaron 18,500 plantas voluntarias en 83 puntos localizados en un recorrido de 5,100 km. Los resultados del programa de monitoreo se presentan en los reportes correspondientes.

En el año 2016, las rutas de monitoreo de plantas voluntarias estuvieron ubicadas en los municipios Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro de las Colonias y Torreón en el estado de Coahuila; Tlahualilo y Gómez Palacio en el estado de Durango, y Ahumada, Aldama,

Ascensión, Buenaventura, Camargo, Delicias, Janos, Julimes, Ojinaga, Saucillo y Rosales en el estado de Chihuahua. Durante este ciclo se monitorearon 500 km y se detectaron 11 puntos en dónde se eliminaron 600 plantas voluntarias. Así mismo, en Chihuahua se detectaron y eliminaron 5,600 plantas voluntarias ubicadas en 68 puntos en un recorrido de 4,800 km. Los resultados se presentan en los reportes correspondientes.

El monitoreo y destrucción de plantas voluntarias en los predios sembrados con algodón fue realizado por los agricultores cooperantes de acuerdo con la NOM-026-FITO-1995, que en su numeral 4.4.3, inciso b menciona *“Es responsabilidad del productor vigilar que los canales, periferia de terrenos, así como su terreno agrícola, se encuentren libres de plantas de algodón fuera de temporada y maleza hospedera que sirva de reservorio a las plagas mencionadas en esta norma”*.

Tradicionalmente, los agricultores realizan la eliminación de plantas voluntarias mediante el barbecho y en algunos casos utilizan herbicidas no selectivos para su control.

Algunos de los factores abióticos que determinan la supervivencia de las plantas en una región son: la temperatura y el agua disponible. Las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas, la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas. Las plantas cultivadas son sensibles a las variaciones del clima, las temperaturas del aire cercanas al óptimo favorecen el crecimiento de las plantas, mientras que las bajas limitan de manera importante el crecimiento; temperaturas altas, de manera constante durante varios días, pueden ser muy perjudiciales, sobre todo si la humedad del suelo es baja (Jarma, Cardona, & Araméndiz, 2012).

En el caso de algodón, la temperatura de germinación de la semilla es de 15°C aproximadamente, mientras que por encima de los 38°C la semilla comienza a perder viabilidad, siendo completamente inviable a los 55°C (Lagiere, 1969). Para el crecimiento vegetativo se requieren de 21 a 27°C, mientras que para la floración y la maduración de la capsula se necesita una temperatura media de 20 a 30°C. A temperaturas menores a 12°C el desarrollo de *Gossypium hirsutum* es limitado pudiéndose perder el cultivo si las condiciones continúan (Pérez, Bernal, & Otero, 2011).

Las necesidades de agua durante el ciclo de desarrollo del cultivo de algodón se calculan en 350-900 mm/ha, bajo diferentes condiciones climáticas y según la duración del periodo de crecimiento (150-210 días), con un promedio de evapotranspiración diaria de 4 a 8 mm/día (Traxco, 2012). La aportación de niveles óptimos de agua, está directamente relacionado con un desarrollo favorable en el crecimiento vegetativo de la planta, la floración y la producción de capsulas (McWilliams, 2003).

Por otra parte, la compactación del suelo representa un problema para el funcionamiento y desarrollo efectivo de las raíces. Un desarrollo radicular restringido puede impactar en los

rendimientos del cultivo (Bourland *et al.*, 2002). Las plantas de algodón se cultivan en varios tipos de suelos, no obstante, se desarrollan mejor en suelos profundos, de textura media (francos, franco arenosos-finos, franco limosos y franco arcillosos-gruesos), con pH ligeramente ácido (6.2-7.2), buen drenaje, alto contenido de materia orgánica y gran capacidad de retención de humedad (Ashour & Abd-El'Hamid, 1970).

Bajo las condiciones climáticas de Chihuahua y la Comarca Lagunera (alta temperatura y baja precipitación) será muy difícil que las semillas de algodón logren germinar fuera del ambiente agrícola en ausencia de prácticas agronómicas que favorezcan su germinación y desarrollo. Sin embargo, para disminuir el riesgo de su establecimiento y permanencia, se establecerá un programa de monitoreo y destrucción en las zonas agrícolas y en los principales caminos y carreteras por dónde se transporta el algodón hueso hacia los despepites.

6.5. Flujo génico del algodón GLT a especies relacionadas

El entrecruzamiento entre variedades comerciales de *Gossypium hirsutum* es bajo y ocurre exclusivamente a través de insectos. De tal manera que la frecuencia de polinización cruzada entre variedades de algodón depende de las poblaciones de insectos y su actividad migratoria al momento de la polinización. Por lo anterior, la probabilidad de que ocurra entrecruzamiento entre especies comerciales y silvestres de algodón es muy baja.

No existen especies sexualmente compatibles con el algodón cultivado (*Gossypium hirsutum*) en el área de liberación propuesta. De acuerdo con Fryxell (1984), Talipov *et al.* (1995), Palomo (1996) y la Red de Información de Recursos de Germoplasma (GRIN) del Servicio de Investigación Agrícola (ARS-USDA) de Estados Unidos (<http://www.ars-grin.gov>), se reportan las siguientes especies de *Gossypium* para la región Norte de México (Cuadro 94).

Cuadro 24. Especies de *Gossypium* reportadas en la literatura para el Norte de México.

Especie	Localidad	Número de cromosomas	Año de descubrimiento	Uso
<i>Gossypium hirsutum</i> L.	Regiones agrícolas	52	1763	Cultivada
<i>Gossypium thurberi</i> Tod	Sonora, Baja California Sur, Chihuahua	26	1854	Silvestre
<i>Gossypium davidsonii</i> Kellogg	Baja California Sur, Sonora	26	1873	Silvestre
<i>Gossypium armourianum</i> Kearney	Baja California Sur	26	1933	Silvestre
<i>Gossypium harknessii</i> Brandegees	Baja California Sur	26	1933	Silvestre
<i>Gossypium aridum</i> (Rose & Standl.) Skovst	Sinaloa	26	1911	Silvestre
<i>Gossypium trilobum</i> (Mocino & Sesse ex DeCandolle) Skovsted	Sinaloa	26	-	Silvestre
<i>Gossypium turneri</i> Fryxell	Sonora	26	-	Silvestre

Las especies silvestres reportadas para México son diploides ($2n=2x=26$) y, por lo tanto, son sexualmente incompatibles con el algodón cultivado *G. hirsutum* el cual es una especie alotetraploide ($2n=4x=52$). En el caso de que se pudieran encontrar especies silvestres cercanas a las regiones agrícolas y en el improbable caso de que pudieran quedar en contacto con polen de *G. hirsutum* (tetraploide), el producto de la fecundación sería triploide y durante la metafase de la meiosis no se podría realizar el apareamiento de homólogos, imposibilitando así la formación de un cigoto fértil por la disparidad de los sistemas genéticos (Stewart, 1995; Wendel *et al.*, 2010; Kantartzi, 2010). Aunado a esta barrera genética se tiene una barrera temporal, esto es, que no se presenta coincidencia en los periodos de floración entre poblaciones silvestres y plantaciones comerciales, lo cual minimiza el riesgo de flujo de polen entre ellas. Por otra parte, la distribución de la especie alotetraploide *G. barbadense* se encuentra limitada principalmente al sureste de México lejos de las zonas productoras de algodón comercial en el norte de la República Mexicana.

6.5.1. Mecanismos necesarios para el intercambio genético.

Para que se presente el flujo de genes de materiales cultivados a parientes silvestres vía cruzamiento, se debe cumplir con ciertas condiciones: 1) el cultivo y su pariente silvestre deben presentarse en proximidad espacial; 2) sus periodos de fecundidad deben coincidir; 3) se debe encontrar un vector idóneo para transportar el polen entre los dos materiales; 4) los materiales parentales deben ser sexualmente compatibles; 5) el híbrido resultante del cruzamiento debe dar origen a una semilla viable; 6) los híbridos deben ser fértiles y ecológicamente adaptados al ambiente.

Se pueden hacer algunas generalizaciones respecto a todas las especies de *Gossypium* que no se requiere repetir para cada taxón. Todas las especies de *Gossypium* presentan autopolinización aunque pueden presentarse ciertos cruzamientos intra específicos y posiblemente inter específicos mediados por insectos. El transporte del polen por el viento en el género *Gossypium* nunca se ha reportado lo cual es explicado por la textura y consistencia del polen producido en la antesis. El polen de *G. hirsutum* es viable por no más de 24 horas. Cada flor, como la de todos los miembros de Malvaceae, es receptiva únicamente el día en que abre.

Para que sea considerada la posibilidad de hibridación entre algodón cultivado y especies silvestres de *Gossypium* se tiene que cumplir con requisitos de presencia y compatibilidad sexual y genética.

Once especies diploides de *Gossypium* se presentan en México como parte de la vegetación natural. Todas las especies se agrupan taxonómicamente en el mismo subgénero (*Houzingenia*) y pertenecen al grupo cromosómico del genoma D, al igual que uno de los subgenomas del algodón tetraploide cultivado. Sin embargo las especies son divergentes y por lo mismo se agrupan en 2 Secciones y 4 Subsecciones dentro de la clasificación genérica de *Gossypium* (Fryxell, 1992).

Las dos especies tetraploides de las que se han derivado cultivares de utilización agrícola, *G. hirsutum* y *G. barbadense* se presentan en México fuera de las áreas de producción comercial. La distribución de *G. barbadense* está generalmente limitada a los Estados del sureste. Desde un punto de vista práctico, *G. hirsutum* es de distribución más amplia y cualquier consideración aplicable a uno es también aplicable al otro (Fryxell, 1992; Palomo, 1996; Ulloa *et al.*, 2006).

6.5.2. Vigor de híbridos interespecíficos y fertilidad

El embrión del híbrido que se pudiera formar entre un algodón cultivado tetraploide y un pariente silvestre diploide depende fuertemente de dos factores: el vigor vegetativo y la fertilidad de la planta. *Gossypium davidsonii* y tal vez *G. gossypoides* pueden ser eliminados en la producción de híbridos con el algodón cultivado debido a la letalidad complementaria.

Los híbridos interespecíficos entre las otras especies diploides y el algodón tetraploide se puede asumir que son viables y de crecimiento vegetativo relativamente vigoroso, con base en observaciones de híbridos obtenidos cuando el algodón (*G. hirsutum*) funcionó como parental hembra. Es decir, pocas especies diploides producen semillas híbridas cuando es polinizado con el polen del algodón tetraploide. Más allá de la alopatría y los diferentes niveles de incompatibilidad sexual, el principal mecanismo de aislamiento entre el algodón (*G. hirsutum*) y sus parientes silvestres diploides es la diferencia que existe en el nivel de ploidía. Aunque el algodón cultivado tetraploide ($2n = 4x = 52$) posee un subgenoma cercano a las especies diploides de *Gossypium* de México ($2n = 2x = 26$), los híbridos interespecíficos entre el algodón y estas especies son triploides ($3x = 39$). Las plantas híbridas triploides usualmente desarrollan terminaciones florales pero no forman polen viable debido a que los pares están desbalanceados y a la segregación de los cromosomas. En los híbridos (DxAD), los cromosomas podrían estar en pares, recombinarse y segregar de manera muy cercana a las proporciones teóricas, sin embargo, en los híbridos triploides DAD, los cromosomas 13 del subgenoma A son impares, por lo tanto, segregan aleatoriamente entre las dos células hijas en la anafase I.

En la evolución de las plantas la ploidía se ha incrementado a partir de tales hibridaciones y se ha establecido que el *Gossypium* tetraploide (algodón) se originó de esta manera. En este caso el nivel de ploidía de ambos parentales (genomas A y D) podría haber sido el mismo. Mientras la posibilidad existe, las observaciones empíricas indican que el proceso en *Gossypium* es extremadamente raro, y de hecho, ejemplificado solamente por una ocurrencia.

Todas las especies conocidas de *Gossypium* diferentes a las 5 tetraploides poseen el mismo número de cromosomas ($n=13$). No se ha generado en la naturaleza otra ploidía en *Gossypium* que haya sobrevivido hasta nuestros días. Esto es particularmente importante para México debido a que las especies de *Gossypium* tetraploides y diploides han coexistido por más de un millón de años (Wendel, 1989) y no se tienen registros de la presencia de especies hexaploides.

En las principales regiones donde se cultiva algodón en el mundo, la mayor abundancia corresponde a *Gossypium hirsutum*. Esto se debe principalmente a que las variedades de *G. hirsutum* están adaptadas para obtener producciones más altas en climas templados que las variedades de *G. barbadense*, las cuales presentan una mejor adaptación a las regiones secas del mundo. Las variedades comerciales de *G. barbadense* se cultivan por la alta calidad de la fibra que producen, misma que se utiliza para confeccionar hilados de marca (ejemplo: algodón Pima).

Las variedades modernas de *G. barbadense* y *G. hirsutum* están altamente domesticadas y contienen un mapa génico muy conservado (genoma AADD), y no es de sorprender que las propiedades nutritivas y físicas de las semillas de cada una de las especies de algodón se traslapen (Percy *et al.*, 1996; Robinson *et al.*, 2001).

Además, *G. barbadense* y *G. hirsutum* son sexualmente compatibles, y los elementos de cada especie se han introgresado a las variedades comerciales de algodón que se han desarrollado con base en las preferencias de los fitomejoradores (Percival *et al.*, 1999).

Se considera que los algodones tetraploides, incluyendo *G. barbadense* y *G. hirsutum*, evolucionaron separadamente en las Américas; no obstante, no existen barreras genéticas para la hibridación intraespecífica de las especies tetraploides de *Gossypium* (Percival *et al.*, 1999).

Los programas de mejoramiento del algodón toman ventaja de las características existentes en las especies y mediante retrocruzamiento con el germoplasma parental mantienen las características ya sea de *G. hirsutum* o *G. barbadense* o bien de la variedad de interés. Por ejemplo, las variedades de algodón Acala de California y Nuevo México, integran especies tanto de *G. hirsutum* como de *G. barbadense* en su pedigrí (Smith *et al.*, 1999), pero comúnmente son identificadas simplemente como *G. hirsutum*.

De acuerdo a algunas clasificaciones para la delineación de las especies, *G. barbadense* y *G. hirsutum* podrían ser clasificadas como sub-especies o variantes de una misma especie y no como especies separadas. La identidad de los progenitores de *G. hirsutum* y de *G. barbadense* permanece de alguna manera incierta (Brubaker *et al.*, 1999), pero mantienen su clasificación como especies separadas.

Las especies tetraploides ($2n = 4x = 52$) incluyendo a *G. hirsutum*, *G. barbadense* y *G. tomentosum* contienen los genomas nucleares A y D (AADD) y únicamente el genoma A cloroplástico, indicando que la semilla parental de la hibridación original fue de descendencia Africana o del Medio Este (Percival *et al.*, 1999).

Los datos moleculares indican que *G. hirsutum* y *G. barbadense* comparten un ancestro común (Brubaker *et al.*, 1999) con un tiempo para la formación de poliploidía de entre uno y dos

millones de años. La mayoría de los investigadores considera (al menos como progenitores de estas dos especies) que el donador del genoma A es *G. herbaceum* y el donador del genoma D, *G. raimondii* Ulbrich. De esta manera *G. hirsutum* y *G. barbadense* contienen el mismo conjunto de genomas poliploides, el cual es genéticamente distinto de la mayoría de las especies no cultivadas de *Gossypium*.

Entre los algodones cultivados, *G. hirsutum* y *G. barbadense* (esto también incluye a las especies diploides *G. arboreum* y *G. herbaceum*), la introgresión para obtener una ploidía diferente o tipo de genoma es común históricamente debido a la expansión del rango de distribución natural del algodón ocasionado por la intervención humana y su cultivo.

El intercambio interespecífico de genes es responsable de parte de la diversidad genética que se encuentra dentro de cada especie cultivada (Brubaker *et al.*, 1999). Los cultivares modernos de *G. barbadense* se encuentran altamente introgresados con *G. hirsutum* (Percival *et al.*, 1999). Las características introgresadas entre *G. hirsutum* y *G. barbadense* se han mantenido mediante la selección de las características agronómicas y de productividad comercial (Wang *et al.*, 1995; Brubaker *et al.*, 1999). Por ejemplo, la introducción y adopción exitosa de cultivares de *G. barbadense* en los campos de producción de los Estados Unidos ha dependido de la introgresión de la característica de fotoperiodo de día corto de *G. hirsutum* a *G. barbadense* (Brubaker *et al.*, 1999).

Como se discutió con anterioridad, la introgresión natural y por intervención humana entre *G. hirsutum* y *G. barbadense* ha ocurrido desde años atrás (Brubaker *et al.*, 1993; Percy & Wendel, 1990; Brubaker & Wendel, 1994; Wendel & Albert 1992), por tal motivo se presenta un contenido significativo de DNA de *G. hirsutum* en el genoma de *G. barbadense* (Wang *et al.*, 1995). Sin embargo, se espera que el intercambio genético natural entre las especies sea reducido en comparación con el que ocurre dentro de la misma especie (Wendel & Albert 1992).

La compatibilidad sexual entre *G. hirsutum* y *G. barbadense* es ampliamente aceptada, y existen varias publicaciones que proporcionan datos donde establecen que las dos especies pueden ser cruzadas para producir descendencia F₁ fértil que presenten una meiosis regular (Webber, 1934; Webber, 1935; Webber, 1939; Skovsted, 1937). No obstante, como es de esperarse, ciertas características fenotípicas se segregarán de manera constante ya sea hacia uno u otro fenotipo parental, por ejemplo:

Kohel *et al.* (1965) investigaron la genética de la floración de híbridos interespecíficos de *G. hirsutum* y *G. barbadense* cruzando variedades de día corto de *hirsutum* y *barbadense* con variedades de día neutro de *barbadense* e *hirsutum*, respectivamente. El control monogénico de la floración en *barbadense* no se expresó, mientras que el control multigénico de la floración similar al encontrado en *hirsutum* predominó en la progenie de la cruce interespecífica *hirsutum-barbadense*.

Jiang *et al.* (2000) investigaron el papel de las interacciones multilocus en la restricción de introgresión entre las dos especies poliploides *G. hirsutum* y *G. barbadense*. Después de tres generaciones de retrocruzas con *G. hirsutum*, los autores encontraron diferencias en la cromática de *G. barbadense*. De hecho, no había alelos de *G. barbadense* en alrededor del 30% de los *loci* bajo estudio, y siete regiones cromosómicas independientes de *G. barbadense* estaban totalmente ausentes. Debido a que los genomas de estas dos especies parecen ser colineales, los autores concluyeron que existen interacciones genéticas desfavorables en ciertos genotipos de híbridos que protegen estas regiones del genoma de *G. hirsutum* de la introgresión. Probablemente *G. hirsutum* tiene “mejores” alelos para estas regiones provocando la pérdida selectiva de los alelos de *G. barbadense*.

6.5.3. Potencial de cruce y transferencia de genes

El algodón es una planta que se reproduce predominantemente mediante autopolinización, sin embargo se puede presentar algún porcentaje de polinización cruzada cuando existen poblaciones importantes de insectos polinizadores (Llewellyn *et al.*, 2007). La tasa de entrecruzamiento depende de la zona, la estación y del porcentaje de visitación de los insectos polinizadores. No obstante, el nivel de entrecruzamiento puede ser sobrestimado si se consideran sólo los índices de visitantes en las flores de algodón, dado que los potenciales polinizadores buscan preferencialmente los nectarios más que el polen (Moffett *et al.* 1975).

Múltiples estudios de campo realizados en diferentes regiones estiman una tasa de entrecruzamiento del 10% o menos (Meredith & Bridge, 1973; Llewellyn & Fitt 1996; Sen *et al.*, 2004; Van Deynze, *et al.* 2005; Zhang *et al.*, 2005). Se han reportado pocos estudios con altos niveles de entrecruzamiento (Simpson & Duncan, 1956); en estos casos, el porcentaje de entrecruzamiento fue menor (2%) en estudios posteriores realizados en la misma localidad (Meredith & Bridge, 1973).

De manera generalizada, estudios de flujo de polen reportan que la tasa de entrecruzamiento disminuye significativamente cuando se incrementa la distancia. Estos datos pueden representar el rango efectivo de dispersión de polen realizado por los insectos. Experimentos realizados en California muestran una tasa de entrecruzamiento del 7.65% a una distancia de 0.3 m en presencia de polinizadores. Sin embargo, la tasa de entrecruzamiento disminuye de forma significativa (0.67%) al incrementar la distancia a 9 m, aún con la presencia de polinizadores. Para este mismo estudio, en ausencia de insectos que lleven a cabo el flujo de polen, la tasa de entrecruzamiento fue del 4.86% a una corta distancia (0.3 m), disminuyendo significativamente (0.03%) al incrementar la distancia a 1 m (Van Deynze, *et al.* 2005).

Estudios similares realizados durante dos temporadas en Australia, con cultivos de algodón GM rodeado de algodón no GM, muestran valores menores de flujo de polen del cultivo GM al no GM, pero los resultados son consistentes en cuanto al efecto de la distancia sobre la tasa de entrecruzamiento. Durante la primera temporada del estudio, la tasa de entrecruzamiento en

presencia de polinizadores fue del 0.15% a 1 m de distancia, mientras que a 4 m la tasa de entrecruzamiento disminuye a menos del 0.08%. Para la segunda temporada, a una distancia de 1 m, la tasa de entrecruzamiento fue del 0.4%, disminuyendo su valor al 0.03% a una distancia de 16 m (Llewellyn & Fitt 1996).

De acuerdo con los estudios arriba mencionados, la tasa de entrecruzamiento depende en gran medida de las condiciones climáticas del sitio de estudio. Esto principalmente por la relación entre las condiciones ambientales y la abundancia de especies de insectos que lleven a cabo el flujo de polen (Llewellyn *et al.*, 2007).

Las principales zonas de cultivo de algodón se ubican en la región norte y noreste del país, encontrando la mayor extensión de siembra para este cultivo (89,751 ha) en el estado de Chihuahua (SIAP-SAGARPA, 2015).

Además de *G. hirsutum*, en México se encuentran distribuidas varias especies del género *Gossypium* de las cuales sólo *G. barbadense* es tetraploide, mientras que las demás especies son diploides. Aun cuando *G. hirsutum* presenta altos niveles de autopolinización, existe el potencial de flujo génico si en la zona se presentan poblaciones de *G. hirsutum* convencional o poblaciones de *G. barbadense*, dentro del rango en el cual la polinización cruzada puede efectuarse. No obstante, los niveles de entrecruzamiento reportados son bajos (1 - 2%) y se efectúan a distancias cortas (<30 m), aún en presencia de polinizadores (Van Deynze *et al.*, 2005; Llewellyn & Fitt 1996; Zhang *et al.*, 2005).

Tomando en cuenta lo anterior, la posibilidad de flujo génico entre el algodón GLT y cultivos convencionales o poblaciones de *G. barbadense*, es muy baja. Por otra parte, la viabilidad del polen puede ser un factor importante en la reducción del potencial de flujo génico, dado que, además de las características que le impiden un transporte activo por el viento, una vez que se presenta la dehiscencia, no permanece viable por más de 24 horas.

El algodón **GLT** no exhibe ninguna característica fenotípica adicional que pudiese incrementar su supervivencia en hábitats no agrícolas, o en áreas fuera del rango geográfico de la producción de algodón. En el caso poco probable de que se llegasen a formar híbridos entre este evento y parientes silvestres, la introducción de las características de resistencia a insectos lepidópteros y de tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, a especies en hábitats no agrícolas no conferiría ventaja competitiva alguna, dado que la tecnología funciona como una protección ante estímulos externos como el daño por insectos plaga y aplicaciones de los herbicidas mencionados, en cuya ausencia no habría resultados visibles en comparación con algodón convencional.

6.6. Manejo de maleza en el cultivo del algodón

La presencia de malezas es uno de los principales problemas que limitan la producción del cultivo de algodón. Las malezas presentan una alta adaptación a las áreas disturbadas por las

labores agrícolas y si no son controladas oportuna y eficientemente, disminuyen significativamente el rendimiento y la calidad de fibra del algodón (Rosales y Sánchez, 2010).

La competencia de la maleza afecta el desarrollo y rendimiento del algodón y su severidad depende de las malezas presentes, densidad del cultivo y la maleza, época de emergencia de la maleza, sistema de siembra, condición de humedad, nivel de fertilidad del suelo y duración del período de competencia, entre otros. En general, la competencia es más crítica durante la primera etapa del desarrollo vegetativo del cultivo. Lo anterior ha dado como resultado la definición de este lapso como el período crítico de competencia (PCC): el tiempo máximo que el cultivo tolera la competencia de maleza sin reducciones significativas de su rendimiento y el tiempo mínimo de ausencia de maleza que requiere el cultivo para expresar su máximo rendimiento. En este aspecto, se considera que las reducciones significativas o umbral económico ocurren cuando las pérdidas de rendimiento igualan al costo de control de maleza. Con fines prácticos se ha considerado un 5% de reducción de rendimiento como el umbral económico en la mayoría de los cultivos anuales (Rosales y Sánchez, 2010).

Se ha determinado que el período crítico de competencia de maleza anual en algodón se presenta en los primeros 50 a 60 días después de la emergencia del cultivo, en los cuales si no se controlan eficientemente las malezas se reduce el rendimiento de 30 a 50%. Además, es necesario mantener un buen control de maleza hasta la cosecha del algodón con el fin de obtener una fibra libre de impurezas, ya que la recolección se realiza en forma mecánica (Rosales y Sánchez, 2010).

Al conjunto de daños causados por la maleza a los cultivos se le denomina interferencia. La interferencia incluye la reducción del rendimiento por competencia, la disminución en la calidad del producto cosechado, el aumento en los costos de cosecha y la mayor incidencia de plagas y enfermedades. Las pérdidas de rendimiento son ocasionadas principalmente por la competencia entre las malezas y cultivo por luz, agua y nutrimentos, factores básicos para el desarrollo de las plantas (Rosales y Sánchez, 2010).

Además de la competencia, existe otro tipo de daños causados por la presencia de maleza en algodón, comúnmente llamados daños indirectos. Estos daños incluyen: mayor incidencia de insectos y patógenos que utilizan a las malezas como hospederas alternantes; disminución en la calidad de la producción por el incremento de humedad e impurezas en la fibra; dificultad de cosecha mecánica y depreciación de los terrenos agrícolas por altas infestaciones de maleza (Rosales y Sánchez, 2010).

6.6.1. Algodón genéticamente modificado tolerante a herbicidas

Antes de 1996, el algodón era el único cultivo extensivo que no contaba con un herbicida postemergente efectivo para el control de malezas dicotiledóneas, que no causara daños al cultivo, retrasos en su maduración o reducción de su rendimiento (Paulsgrove *et al.*, 2005). La falta de un herbicida postemergente para controlar malezas de hoja ancha se agravaba, por ser

el algodón un cultivo poco competitivo en sus primeras etapas de desarrollo. Por medio de la biotecnología ha sido posible desarrollar variedades de algodón con resistencia a varios herbicidas, que ofrecen un buen control de maleza y selectividad al cultivo (Rosales y Sánchez, 2010).

6.6.1.1. Algodón tolerante a glifosato

El glifosato es un herbicida con acción sistémica que controla zacates y hojas anchas anuales y perennes. Su modo de acción es la inhibición de la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano al inhibir la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3- fosfato sintasa). El glifosato se comercializó a partir de 1974, principalmente para el control no selectivo de malezas en terrenos sin cultivo. Sin embargo, sus características de alta sistemicidad, poca toxicidad a animales y al hombre y ausencia de residuos en el suelo, lo convirtieron en el herbicida ideal para el desarrollo de cultivos genéticamente modificados con tolerancia a su acción.

En 1983, se aisló la bacteria de suelo *Agrobacterium tumefaciens* cepa CP4 que es altamente tolerante al glifosato porque su enzima EPSPS es menos sensitiva que la enzima EPSPS encontrada en las plantas. Para 1986 se desarrollaron cultivos resistentes a glifosato (RG) y en 1997 se desarrollaron las primeras variedades de algodón RG. Sin embargo, la selectividad en estas variedades era marginal, pues sólo se podía aplicar el algodón hasta la etapa de cuarta hoja, ya que aplicaciones en etapas posteriores se asociaban con el aborto de frutos y la pérdida de rendimiento. Actualmente existen variedades de algodón que permiten la aplicación de glifosato hasta siete días antes de la cosecha (Rosales y Sánchez, 2010).

6.6.1.2. Algodón tolerante a glufosinato de amonio

El glufosinato es un inhibidor de aminoácidos que mata a las plantas sensibles al inhibir a la enzima glutamina sintetasa, que cataliza la conversión del ácido glutámico y el amoniaco en glutamina. La inhibición de la glutamina sintetasa provoca una acumulación de amoniaco y glioxilato que causa daños a la estructura de los cloroplastos, disminución de la fotosíntesis y finalmente la muerte de los tejidos. El algodón resistente a glufosinato fue comercializado por primera vez en 2004 como algodón LibertyLink (LL) y fue creado a través de la inserción del gen *bar* aislado de la bacteria del suelo *Streptomyces hygroscopicus*. El algodón LL transformado con el gen *bar* expresa resistencia a glufosinato a través de la inactivación de la acción del herbicida. El algodón LL tiene una excelente tolerancia al glufosinato, que es un herbicida no selectivo con acción primordialmente de contacto y puede aplicarse desde la emergencia hasta los inicios de la floración. El glufosinato controla tanto malezas gramíneas como de hoja ancha, pero requiere aplicarse en malezas en sus primeros estados de desarrollo, pues su acción es de contacto y no deja residuos en el suelo que puedan afectar a cultivos sembrados en rotación (Rosales y Sánchez, 2010).

6.6.2. Impacto del uso de algodón tolerante a herbicidas

La tecnología GlyTol® TwinLink® (GLT) combina la resistencia a las plantas de algodón al ataque de insectos lepidópteros, con la tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio, en las variedades de algodón de Bayer CropScience.

Con relación al manejo de maleza en algodón, las variedades GlyTol® TwinLink® son tolerantes a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato mediante la expresión de las proteínas PAT de *Streptomyces hygroscopicus* y 2mEPSPS del maíz, permitiendo el uso de dos mecanismos de acción herbicida para un manejo más eficiente de la maleza en el cultivo del algodón, esta combinación de mecanismos de acción es particularmente importante para el manejo y prevención de resistencia de las especies de maleza a los herbicidas.

Adicionalmente, el uso de cultivos tolerantes a herbicidas ofrece una serie de ventajas de carácter agronómico y ambiental:

- Reducción significativa en el uso de herbicidas (kg de I.A.) y utilización de productos con menor impacto ambiental (EIQ). En 2015, el efecto global de la utilización de tecnologías de tolerancia a herbicidas en los países en los que se han adoptado, ha sido una reducción del 11.2% de I.A. y una disminución del impacto ambiental de 13%. En conjunto, desde 1997 el uso de herbicidas se ha reducido en 7.6% (-25 millones de kg) y el impacto ambiental disminuyó 10.2% ([Figura 14](#)).
- Disminución de la contaminación del suelo y mantos freáticos al utilizar herbicidas con menor impacto ambiental ([Cuadro 30](#)).
- Mayor flexibilidad en el control de maleza comparado con el uso de herbicidas en el algodón convencional: en los cultivos tolerantes a herbicidas, estos son aplicados en post emergencia a la maleza y al cultivo. Las aplicaciones se realizan sólo cuando las poblaciones de maleza superan los umbrales económicos y durante el periodo crítico de competencia del cultivo con la maleza.
- Control de un amplio espectro de maleza: glufosinato de amonio y glifosato poseen modos de acción distintos y complementarios que permiten controlar una gran variedad de especies de maleza de diferentes familias botánicas ([Cuadros 31 y 32](#))
- Eliminación de labores de control manual y aplicaciones tempranas dirigidas, de herbicidas que requieren equipo especial para su aplicación.
- Disminución de los costos para el control de maleza, en comparación con las alternativas tecnológicas.
- Compatibilidad con prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) y técnicas de conservación de suelo, como agricultura de conservación. La “labranza cero”, también conocida como “siembra directa” implica reemplazar la labranza convencional por la

aplicación de un herbicida no selectivo en presembrado. La semilla es luego sembrada directamente en el suelo atravesando el rastrojo del cultivo anterior. Entre los beneficios de la labranza cero se pueden mencionar la conservación de la humedad del suelo, la reducción en la erosión del suelo, una mejora en la estructura del suelo, incremento en el contenido de carbono y reducción en el uso de combustible.

- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (disminución en el uso de combustibles necesarios para la fabricación, transporte y aplicación de insecticidas). Cuando se realiza labranza convencional, la cantidad de combustible aumenta, lo que directamente implica mayor emisión de gases a la atmósfera.

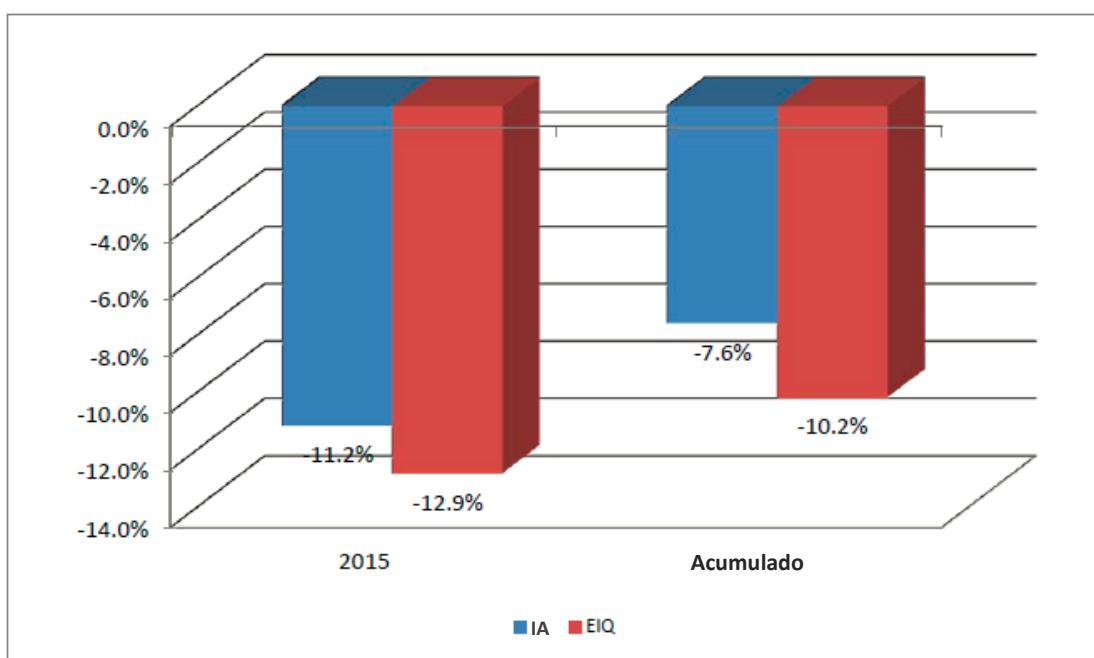


Figura 14. Reducción en el uso de herbicidas y la carga ambiental derivado del uso del algodón GM tolerante a herbicidas en Estados Unidos, Australia, Argentina y Sudáfrica 1997-2015 (Brookes y Barfoot, 2017).

Cuadro 25. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.

Ingrediente activo (I.A.)	Grupo químico	EIQ
Oxifluorfen	Difenileter	33.82
Pendimetalin	Dinitroanilina	30.17
Fluazifop-p-butil	Arilfenoxi propionato	28.71
Diuron	Dimetilurea	26.47
Bensulide	Organofosforado	26.0
Quizalofop-etil	Arilfenoxi propionato	22.14



Ingrediente activo (I.A.)	Grupo químico	EIQ
Pirithiobac sodio	Pirimidincarboxy	21.7
Setoxidim	Ciclohexanediona	20.89
Glufosinato de amonio	Ácidos fosfínicos	20.2
Clomazone	Isoxazolidinona	19.63
Linuron	Fenilurea	19.32
Trifluralina	Dinitroanilinas	18.83
MSMA	Arsénico orgánico	18.0
Alaclor	Cloroacetamida	17.86
Clethodim	Ciclohexanediona	17.0
Prometrina	Triazina	15.37
Glifosato	Glicinas	15.33
Fluometuron	Fenilurea	14.27

Fuente: A method to measure the Environmental Impact of Pesticides, Table 2: list of Pesticides, Part 3: Herbicides 2012. Integrated Pest Management. Disponible en: www.nysipm.cornell.edu

Cuadro 26. Espectro de control de maleza del herbicida glufosinato de amonio.

Nombre científico	Familia botánica	Clasificación morfológica
<i>Brachiaria plantaginea</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Digitaria ciliaris</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Paspalum virgatum</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Setaria parviflora</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Panicum fasciculatus</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Urochloa fasciculata</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Leptochloa mucronata</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Chloris virgata</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Setaria grisebachii</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Eragrostis mexicana</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Cyperus esculentus</i>	Cyperaceae	Hoja angosta
<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Melampodium perfoliatum</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Aldama dentata</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Melampodium divaricatum</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Simsia eurylepis</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Tridax procumbens</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Anoda cristata</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Bidens odorata</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Tagetes lunulata</i>	Asteraceae	Hoja ancha



Nombre científico	Familia botánica	Clasificación morfológica
<i>Tithonia tubiformis</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Simsia amplexicaulis</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Ambrosia psilostachya</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Croton lobatus</i>	Euphorbiaceae	Hoja ancha
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Euphorbiaceae	Hoja ancha
<i>Acalypha ostryfolia</i>	Euphorbiaceae	Hoja ancha
<i>Amaranthus palmeri</i> , <i>A. hybridus</i>	Amaranthaceae	Hoja ancha
<i>Ipomoea purpurea</i>	Convolvulaceae	Hoja ancha
<i>Priva lappulacea</i>	Verbenaceae	Hoja ancha
<i>Cissus sicyoides</i>	Vitaceae	Hoja ancha
<i>Borreria brownii</i>	Rubiaceae	Hoja ancha
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	Hoja ancha
<i>Solanum erianthum</i>	Solanaceae	Hoja ancha
<i>Rivina humilis</i>	Petiveriaceae	Hoja ancha
<i>Physalis ixocarpa</i>	Solanaceae	Hoja ancha
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	Hoja ancha

Fuente: Etiqueta Finale® Ultra (Glufosinato de amonio 280 g de i.a) – Bayer CropScience.

Cuadro 27. Espectro de control de maleza del herbicida glifosato.

Nombre científico	Familia botánica	Clasificación morfológica
<i>Rottboellia chochinchinensis</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Eragrostis mexicana</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Chloris virgata</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Brachiaria plantaginea</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Sorghum halepense</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Cynodon dactylon</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Panicum maximum</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Leptochloa filiformis</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Bromus carinatus</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Leptochloa filiformis</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Cenchrus echinatus</i>	Poaceae	Hoja angosta
<i>Cyperus esculentus</i>	Cyperaceae	Hoja angosta
<i>Tithonia tubiformis</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Flaveria trinervia</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Galinsoga parviflora</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Parthenium hysterophorus</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Melampodium divaricatum</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Anoda cristata</i>	Asteraceae	Hoja ancha

Nombre científico	Familia botánica	Clasificación morfológica
<i>Aldama dentada</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Helianthus ciliaris</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	Hoja ancha
<i>Amaranthus spinosus</i> , <i>A. hybridus</i> , <i>A. palmeri</i>	Amaranthaceae	Hoja ancha
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Brassicaceae	Hoja ancha
<i>Lepidium virginicum</i>	Brassicaceae	Hoja ancha
<i>Ipomoea purpurea</i>	Convolvulaceae	Hoja ancha
<i>Convolvulus arvensis</i>	Convolvulaceae	Hoja ancha
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	Hoja ancha
<i>Acalypha alopecuroides</i>	Euphorbiaceae	Hoja ancha
<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	Hoja ancha
<i>Malva parviflora</i>	Malvaceae	Hoja ancha
<i>Melilotus indicus</i>	Fabaceae	Hoja ancha
<i>Oxalis latifolia</i>	Oxalidaceae	Hoja ancha
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	Hoja ancha
<i>Solanum nigrum</i>	Solanaceae	Hoja ancha
<i>Chenopodium album</i>	Chenopodiaceae	Hoja ancha
<i>Commelina serrulata</i>	Commelinaceae	Hoja ancha

Fuente: Etiqueta Faena® Fuerte (Glifosato 363 g de i.a) - Monsanto, Etiqueta Glyphos® (Glifosato 360 g de i.a.) - Cheminova Agro, Etiqueta Durango™ (Glifosato 480 g de i.a) - Dow AgroSciences.

6.6.3. Manejo de maleza en algodón convencional

El manejo de maleza en el cultivo de algodón convencional se realiza mediante la combinación de diferentes prácticas agronómicas, en donde el uso de herbicidas juega un papel muy importante.

6.6.3.1. Control preventivo

Se refiere a aquellas medidas tomadas para prevenir la introducción, establecimiento y desarrollo de maleza en áreas no infestadas. Estas medidas incluyen: uso de semilla certificada libre de maleza; limpieza de canales de riego y caminos; control del pastoreo de ganado y limpieza de maquinaria después de su uso en zonas infestadas de maleza, especialmente durante la cosecha, cuando existe un gran número de plantas de maleza con semilla madura (Rosales y Sánchez, 2010).

6.6.3.2. Control cultural

Incluye las prácticas de manejo, tales como: rotación de cultivos; uso de diferentes fechas de siembra; fertilización oportuna y adecuada y uso de surcos estrechos, que promueven un rápido desarrollo del algodón para hacerlo más competitivo hacia la maleza (Rosales y Sánchez, 2010).



6.6.3.3. Control manual

Consiste en la utilización del azadón para controlar la maleza que se desarrolla entre las plantas de algodón, y son necesarios de dos a tres deshierbes, realizando cada uno después de los dos o tres primeros riegos de auxilio, suficientes para mantener el terreno libre de malezas durante el período crítico. Sin embargo, al presentarse especies perennes su eficiencia es limitada (Rosales y Sánchez, 2010).

El control manual se facilita en las siembras en surcos, camas o bordos y se sugiere realizarlo después del control mecánico, sobre todo cuando existen malezas como zacate Jhonson o correhuela o bien si la población de maleza es baja y no se justifica la aplicación de herbicidas (Herrera *et al.*, 1988).

6.6.3.4. Control mecánico

El control mecánico de maleza en algodón se inicia con la preparación de la cama de siembra. La labranza primaria se realiza por medio de arado de discos, subsuelo o bordeadores y posteriormente, la labranza secundaria se efectúa con pasos de rastra.

El sistema de siembra en húmedo o a "tierra venida" elimina el primer flujo de emergencia de maleza y permite establecer el algodón en suelo "limpio". Posteriormente, el paso de escardas con cultivadora rotativa o de picos elimina a la maleza que emerge después de la siembra. El número y época de las escardas depende de factores tales como: presencia de maleza, humedad del suelo y disponibilidad de equipo (Rosales y Sánchez, 2010).

Estas prácticas contribuyen eficazmente en el control de la maleza presente en el terreno, hasta que la altura del cultivo permita el paso de maquinaria, con lo cual se resuelve el problema presente en las calles, sin embargo, el problema de la maleza que se desarrolla entre las hileras de plantas de algodón permanece. El control mecánico es una práctica de control razonablemente efectivo contra especies anuales, siempre y cuando evite la floración y producción de semillas de las mismas; sin embargo, es relativamente inefectivo contra especies perennes.

6.6.3.5. Control químico

El control químico de maleza mediante el uso de herbicidas es muy común en algodón, ya que tiene la ventaja de eliminar a la maleza en grandes extensiones de una manera eficiente, rápida y económica. Sin embargo, para evitar problemas de selectividad al cultivo o fallas en el control de maleza, el control químico requiere de conocimientos técnicos para la elección y aplicación eficiente y oportuna de los herbicidas y debe efectuarse sólo cuando los otros métodos de control no son factibles de utilizarse o cuando su uso representa una ventaja económica para el productor (Rosales y Sánchez, 2010).

El manejo tradicional de malezas en algodón incluye la siembra en suelo húmedo, el paso de escardas, el uso de herbicidas de pre-siembra incorporados (PSI), pre-emergentes (PRE) y

post-emergentes (POST) y los deshierbes manuales. El programa típico de uso de herbicidas en algodón incluye la aplicación de herbicidas como trifluralina y pendimetalina en PSI para el control de gramíneas anuales y malezas de hoja ancha de semilla pequeña como quelite (*Amaranthus* spp.) y verdolaga (*Portulaca oleracea*). Posteriormente, es común la aplicación de fluometuron, el herbicida PRE más común contra malezas de hoja ancha en algodón. Sin embargo, el fluometuron no controla eficientemente a algunas especies de los géneros *Ipomoea* y *Amaranthus*, que son de las malezas más comunes en este cultivo. El control de malezas gramíneas en POST es fácilmente llevado a cabo con la aplicación de herbicidas como sethoxidim, clethodim y fluazifop que muestran una buena selectividad al algodón y un control eficiente de gramíneas anuales y perennes (Culpepper y York, 1998).

La parte más difícil del manejo de malezas en algodón es el control POST de malezas de hoja ancha. Hasta 1995, el control POST de hojas anchas se efectuaba con aplicaciones POST dirigidas a la base de las plantas de algodón de MSMA, DSMA y fluometuron, ya que estos herbicidas aplicados sobre el algodón comúnmente le causan retraso en su madurez y bajas de rendimiento (Culpepper & York, 1998).

Con la aparición de pirithiobac y trifloxisulfuron para el control POST de hojas anchas en algodón se aumentaron las posibilidades de un manejo eficiente de maleza para los productores (Dotray *et al.*, 1996; Askew y Wilcut, 2002; Richardson *et al.*, 2006). Sin embargo, se descubrió que pirithiobac controla eficientemente a quelites *Amaranthus* spp., suprime *Cyperus*, pero tiene escapes de *Ipomoea*, *Chenopodium album* y *Acalypha ostryifolia* y trifloxisulfuron controla eficientemente a chayotillo *Xanthium strumarium*, chual blanco *Chenopodium album*, altamisa *Ambrosia artemisiifolia* y quelite *A. hybridus*, pero no controla eficientemente a hoja de terciopelo *Abutilon theophrasti*, alache *Anoda cristata* y toloache *Datura stramonium* (Richardson *et al.*, 2006). Además, ambos herbicidas causan daños fitotóxicos al algodón, por lo que la aplicación de trifloxisulfuron se recomienda después del estado de 5ª hoja del algodón, por lo que no puede utilizarse para el control temprano de malezas de hoja ancha.

El control químico requiere de conocimientos técnicos para la elección y aplicación eficiente y oportuna de un herbicida (Rosales *et al.*, 2002). El control químico tiene ventajas importantes sobre los otros métodos de control de maleza: oportunidad en el control maleza, pues la elimina antes de su emergencia o en sus primeras etapas de desarrollo; amplio espectro de control; control de maleza perenne; control residual de la maleza (Rosales y Medina, 2008).

En el [cuadro 33](#) se presentan los herbicidas recomendados para el control de maleza en el cultivo de algodón en México (PLM, 2014). De igual manera, en el [cuadro 34](#) se muestran los herbicidas recomendados en Chihuahua y la Comarca Lagunera.



Cuadro 28. Ingrediente activo, formulación, dosis, categoría toxicológica y grupo químico de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.

Ingrediente activo (i.a.)	Formulación ^a	Dosis (g i.a./ha)	Grupo químico	Época de aplicación ^b	Tipo de maleza
Alaclor	EC 47.29% (480 g/l)	960 - 2,400	Cloroacetamida	PRE	Hoja angosta
Bensulide	EC 46% (480 g/l)	5,760 - 6,720	Organofosforado	PSI y PRE	Hoja angosta
Clomazone	EC 46.7% (480 g/l)	720 - 960	Isoxazolidinona	PRE	Hoja ancha y angosta
Clortal dimetil (DCPA)	WP 75% (750 g/kg)	7,500 - 9,000	Derivado del ácido benzoico	PRE	Hoja angosta
Diuron	GD 80% (800 g/kg)	640 - 1,000	Dimetilurea	PRE y POST	Hoja ancha
Fluazifop-butil	EC 12.5% (125 g/l)	125 - 500	Arilofenoxi propionato	POST dirigido a la maleza	Hoja angosta
Fluometuron	SC 44% (500 g/l)	1,200 - 3,000	Fenilurea	PRE	Hoja ancha y angosta
Linuron	WP 50% (500 g/kg)	500 - 1,500	Fenilurea	PRE	Hoja ancha y angosta
MSMA	SL 48.3% (336.8 g/l)	1,010 - 1,347	Arsénico orgánico	POST dirigido a la maleza	Hoja angosta
Oxifluorfen	EC 22% (240 g/l)	360 - 480	Difenileter	POST dirigido a la maleza	Hoja ancha y angosta
Pendimetalin	EC 37.4% (396 g/l)	1,386	Dinitroanilina	PSI y PRE	Hoja angosta
Piritiobac sodio	SP 85% (850 g/kg)	85 - 97.75 g/ha	Pirimidincarboxy	POST	Hoja ancha
Prometrina	SC 46.7% (500 g/l)	750 - 1,250	Triazina	PRE	Hoja ancha
Quizalofop-etil	EC 10.3% (105.45 g/l)	42.18 - 73.81	Arilofenoxi propionato	POST dirigido a la maleza	Hoja angosta
Setoxidim	EC 20% (184 g/l)	276 - 552	Ciclohexanediona	POST	Hoja angosta
Clethodim	EC 12.5% (118 g/l)	59.0 - 118.0	Ciclohexanediona	POST	Hoja angosta
Trifluralina	EC 44.5% (480 g/l)	576 - 1,344	Dinitroanilinas	PSI	Hoja ancha y angosta

^a SL: concentrado soluble; WP: polvo humectable; SC: suspensión concentrada; SP: polvo soluble; EC: concentrado emulsionable; P: pellets; GD: Granulos dispersables.

^b POST (Aplicación post-emergente); PRE (Aplicación pre-emergente); PSI (Pre-siembra incorporado).

Cuadro 29. Herbicidas recomendados para el control de maleza en el cultivo de algodón en Chihuahua y Coahuila.

Maleza	Ingrediente activo	Producto comercial	Dosis/ha	Época y forma de aplicación
Maleza de hoja ancha y gramíneas anuales.	Trifluralina	Treflan	1.2 l (suelo ligero) 1.8 l (suelo medio) 2.4 l (suelo pesado)	Antes del camelloneo Total, incorporado con rastra a una profundidad de 8-15 cm inmediatamente después de la aplicación.
	Pendimetalina	Prowl	3.5 l	
	Prometrina	Gesagard	1.5-2.0 l	



	Fluometuron	Cotoran	2.4 l (suelo ligero) 2.4 a 4.0 l (suelo medio) 4.0 a 6.0 l (suelo pesado)	
Maleza de hoja ancha.	Pirithiobac	Staple	100 a 115 g	Cuando la maleza esté en crecimiento activo (no bajo estrés por sequía o humedad) y no mayores de 10 cm de altura. Total (mojar incluso al cultivo), o en banda sobre el camellón usando un tercio de la dosis de producto y de agua.
Gramíneas anuales y perennes.	Fluazifop-p-butil	Fusilade	1.0 a 1.5 l (anuales) 2.0 a 2.5 l (perennes con estolón o rizoma fragmentado)	

Fuente: Quiñones Pando, F.J.; Galván Lamas, R.; Baéz Iraqueta, F. 2000. Tecnología de producción de algodón en la región centro sur del estado de Chihuahua. Folleto para productores No.4. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte. Campo Experimental Delicias. Delicias, Chihuahua

Desde el punto de vista ambiental, algunos de los herbicidas utilizados para el manejo de maleza en algodón convencional poseen índices de Impacto Ambiental (EIQ) mayores a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato a utilizarse en el algodón GLT ([Cuadro 35](#)).

Cuadro 30. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales herbicidas recomendados para el control de maleza en algodón.

Ingrediente activo (I.A.)	Grupo químico	EIQ
Oxifluorfen	Difenileter	33.82
Pendimetalin	Dinitroanilina	30.17
Fluazifop-p-butil	Arilofenoxi propionato	28.71
Diuron	Dimetilurea	26.47
Bensulide	Organofosforado	26.0
Quizalofop-etil	Arilofenoxi propionato	22.14
Pirithiobac sodio	Pirimidincarboxy	21.7
Setoxidim	Ciclohexanediona	20.89
Glufosinato de amonio	Ácidos fosfínicos	20.2
Clomazone	Isoxazolidinona	19.63
Linuron	Fenilurea	19.32
Trifluralina	Dinitroanilinas	18.83
MSMA	Arsénico orgánico	18.0
Alaclor	Cloroacetamida	17.86
Clethodim	Ciclohexanediona	17.0
Prometrina	Triazina	15.37
Glifosato	Glicinas	15.33
Fluometuron	Fenilurea	14.27

Fuente: A method to measure the Environmental Impact of Pesticides, Table 2: list of Pesticides, Part 3: Herbicides 2012. Integrated Pest Management. Disponible en: www.nysipm.cornell.edu

El uso inapropiado de los herbicidas representa algunos riesgos a la agricultura. Sin embargo, todos estos daños son posibles de evitar con una buena selección y aplicación de estos productos y con el conocimiento de sus características específicas (Rosales *et al.*, 2002). Algunos de los posibles riesgos por el uso inadecuado de herbicidas son: daños al cultivo en explotación por dosis excesiva o a cultivos vecinos por acarreo del herbicida; daños a cultivos sembrados en rotación por residuos de herbicidas en el suelo; cambios en el tipo de maleza por usar continuamente un herbicida y desarrollo de resistencia de malezas a herbicidas (Rosales y Medina, 2008).

Los métodos de control anteriormente descritos tienen ventajas y desventajas y se utilizan de acuerdo a las condiciones particulares de cada agricultor, por lo que antes de elegir uno de los métodos o combinación de los mismos, se debe realizar un análisis de la situación para asegurarnos de elegir la mejor alternativa (Cuadro 36).

Cuadro 31. Ventajas y desventajas de los métodos de manejo de maleza.

Método		Ventajas	Desventajas
Manual	Arranque	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> Método lento. Gran necesidad de mano de obra. Posibilidad de rebrote.
	Corte manual	<ul style="list-style-type: none"> Menor inversión inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> No controla las malezas, las poda. Gran necesidad de mano de obra. Rápida reinfestación (rebrotos vigorosos).
Mecánico	Barbecho y Rastreo	<ul style="list-style-type: none"> Rapidez en la operación. Menor necesidad de mano de obra. Costo final alto. 	<ul style="list-style-type: none"> Método no selectivo No controla maleza en la línea del surco. Su uso depende de la topografía y grado de mecanización del área.
Físico	Quema e Inundación	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la fertilidad potencial del suelo. Favorece la germinación e instalación de malezas.
Químico	Herbicidas	<ul style="list-style-type: none"> Selectivo. Versátil. Económico. Alta efectividad. 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión alta. Personal calificado. Contaminación. Desarrollo de resistencia.

Fuente: Métodos de control de maleza. Dow AgroSciences. <http://www.dowagro.com/ar/>

6.6.4. Resistencia de maleza a herbicidas

Los cultivos tolerantes a herbicidas pueden obtenerse por medio de técnicas de mejoramiento convencionales, tales como la mutagénesis y el cultivo *in vitro*, o por medio de las técnicas biotecnológicas de modificación genética. Los cultivos tolerantes a herbicidas derivados de la biotecnología moderna se han cultivado desde el año 1996 e incluyen la soja, la canola, el maíz, el algodón, la alfalfa y la remolacha azucarera. Estos cultivos le ofrecen al productor algunas ventajas diferenciales en el control de las malezas, incluyendo un control más simple, más eficiente, más económico y con menor daño al cultivo y menor residualidad, además de un control de las malezas resistentes existentes, menos labranza y la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, los cultivos tolerantes a herbicidas también pueden presentar algunos desafíos para su manejo, como el desarrollo de malezas resistentes a herbicidas (CropLife, 2012).

La dependencia de un único herbicida sin un enfoque de control integrado de malezas puede llevar al cambio de especies de malezas y al desarrollo de malezas resistentes a herbicidas. Los cambios de maleza y los desafíos para el manejo de la resistencia de las malezas en estos cultivos tolerantes a herbicidas son resultado del modo en que se usan dichos herbicidas (CropLife, 2012).

La resistencia a herbicidas se define como la habilidad heredada de una maleza para sobrevivir a una dosis de herbicida con la cual normalmente se tendría un control efectivo. En este contexto, la resistencia es un proceso evolutivo en el que una población cambia de ser susceptible a ser resistente. Las plantas individuales no pasan de ser susceptibles a ser resistentes, sino que es la proporción de individuos originalmente resistentes dentro de la población, la que se incrementa a lo largo del tiempo (Esqueda, *et al.*, 2011).

La resistencia a herbicidas puede deberse a una absorción o translocación diferencial del compuesto químico, a la transformación metabólica del herbicida en compuestos no tóxicos, al secuestro de las moléculas herbicidas en el apoplasto o a una alteración en el sitio de acción. La gran mayoría de los casos de resistencia que se han observado en malezas, se relacionan con una modificación en el sitio de acción (Esqueda, *et al.*, 2011).

Por lo general, la sospecha inicial de resistencia está relacionada con un control deficiente o no satisfactorio de las malezas después de una aplicación de herbicidas. Antes de considerar a la resistencia como causante de la falla, deben descartarse otros factores como: dosis o época de aplicación, aplicación deficiente del herbicida, nivel de humedad y preparación del suelo, adsorción, condiciones climáticas no favorables, tamaño de malezas, germinación posterior a la aplicación y alta infestación (Esqueda, *et al.*, 2011).

La resistencia a los herbicidas no es un problema que se presente en forma súbita en un terreno en particular, ni es la falta de control de malezas en un solo año. Puede ocurrir primero



en una pequeña área o áreas, especialmente en donde se han utilizado herbicidas con el mismo modo de acción por varios años consecutivos. La resistencia a herbicidas se presenta cuando la aplicación repetida de un herbicida, selecciona a plantas individuales con tolerancia natural a dicho herbicida. Esta resistencia se hereda de padres a hijos. Además del uso de herbicidas con el mismo modo de acción, otros factores que favorecen el desarrollo de la resistencia incluyen: uso de herbicidas con alta residualidad en el suelo, alta densidad de población de malezas y frecuencia inicial de plantas resistentes dentro de la especie, algo que generalmente no se conoce. Se piensa que las malezas cambian o mutan para llegar a ser resistentes, sin embargo, desde el punto de vista biológico, se considera que en las poblaciones de malezas en que se desarrolla resistencia, siempre hubo unos pocos biotipos resistentes presentes y que al utilizar un herbicida, los biotipos susceptibles fueron controlados, y luego las poblaciones resistentes pequeñas se incrementaron e infestaron el área (Esqueda, *et al.*, 2011).

Está demostrado que las malezas tienen la capacidad de evolucionar resistencia a herbicidas, sin importar su modo de acción, cuando se someten a suficiente presión de selección bajo condiciones apropiadas. Sin embargo, también es claro considerando la prevalencia de algunos modos de acción sobre otros, que en la evolución de resistencia hay algunos que tienen un menor riesgo (Valverde y Heap, 2009).

A nivel mundial, existen 38 especies de maleza resistentes a glifosato y la mayor cantidad ha sido reportada en Estados Unidos. En México *Leptochloa virgata* y *Bidens pilosa* fueron reportadas como resistentes en huertos de limón en Veracruz en 2010 y 2014 respectivamente.

Por otra parte, sólo existen dos especies reportadas como resistentes a glufosinato de amonio en Estados Unidos, Malasia y Nueva Zelanda. En la [figura 15](#) se puede observar que existen 159 especies de maleza resistentes a herbicidas inhibidores de ALS, 73 especies resistentes a inhibidores del fotosistema II, 48 especies resistentes a inhibidores de ACCasa, 36 especies resistentes a auxinas sintéticas, 32 especies resistentes a bipiridilos y 28 especies resistentes a ureas y amidas, lo cuales no se utilizan en cultivos GM (Heap, 2015).

Es de vital importancia que el manejo de maleza en cultivos genéticamente modificados y cultivos convencionales, se realice dentro de una estrategia de manejo integrado de maleza, que considere el uso de todas las técnicas de control económicamente disponibles sin depender exclusivamente de una de ellas. Los mecanismos de control de malezas incluyen medidas preventivas, el monitoreo de los lotes, las rotaciones de cultivos, la rotación de herbicidas, la labranza, la competencia de cultivos, las prácticas de fertilización, el riego, etc. (CropLife, 2012).

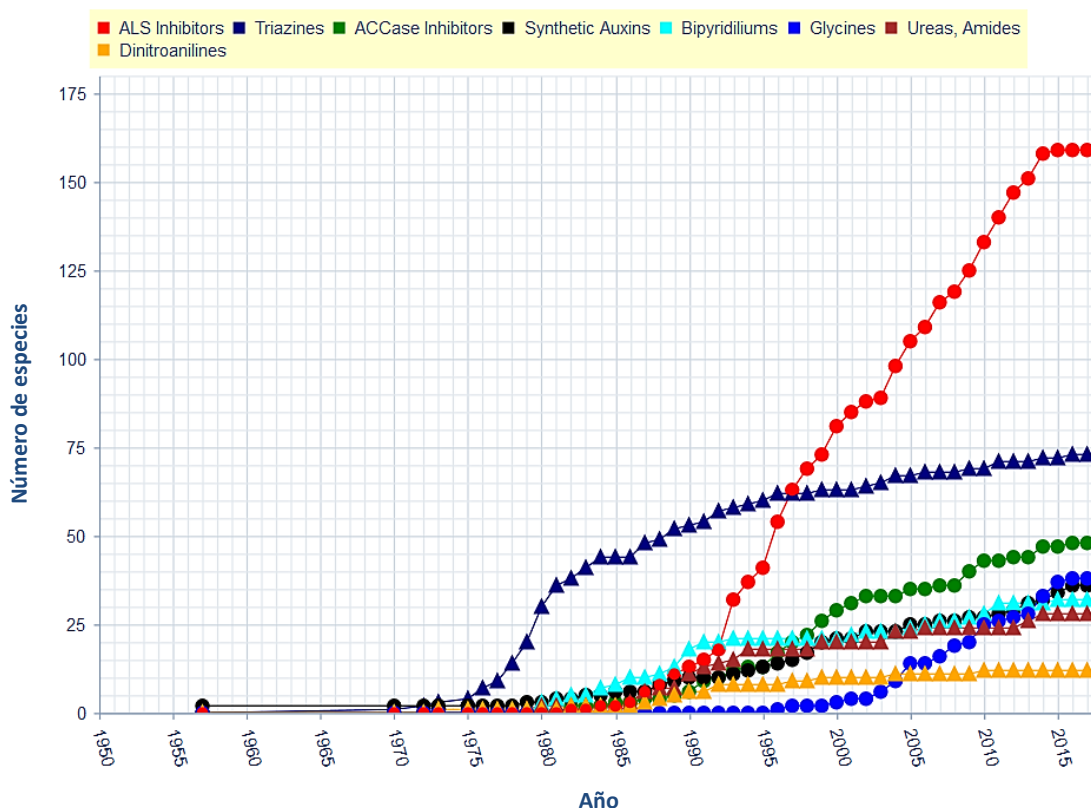


Figura 15. Incremento cronológico en el número de malezas resistentes a herbicidas pertenecientes a distintos grupos (Heap, 2017).

Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de resistencia es un fenómeno natural que no está restringido a los cultivos genéticamente modificados tolerantes a herbicidas. En la [figura 16](#) puede observarse el número de especies resistentes a diferentes herbicidas de acuerdo al tipo de cultivo en los que se han utilizado.

Así mismo, en la [figura 17](#) se puede apreciar que algunos herbicidas son más propensos a generar resistencia en las poblaciones de maleza, debido a sus modos de acción. De los herbicidas mostrados, sólo glifosato está asociado con cultivos genéticamente modificados tolerantes a herbicidas y del número total de especies resistentes reportadas (38), algunos casos sucedieron en cultivos convencionales.

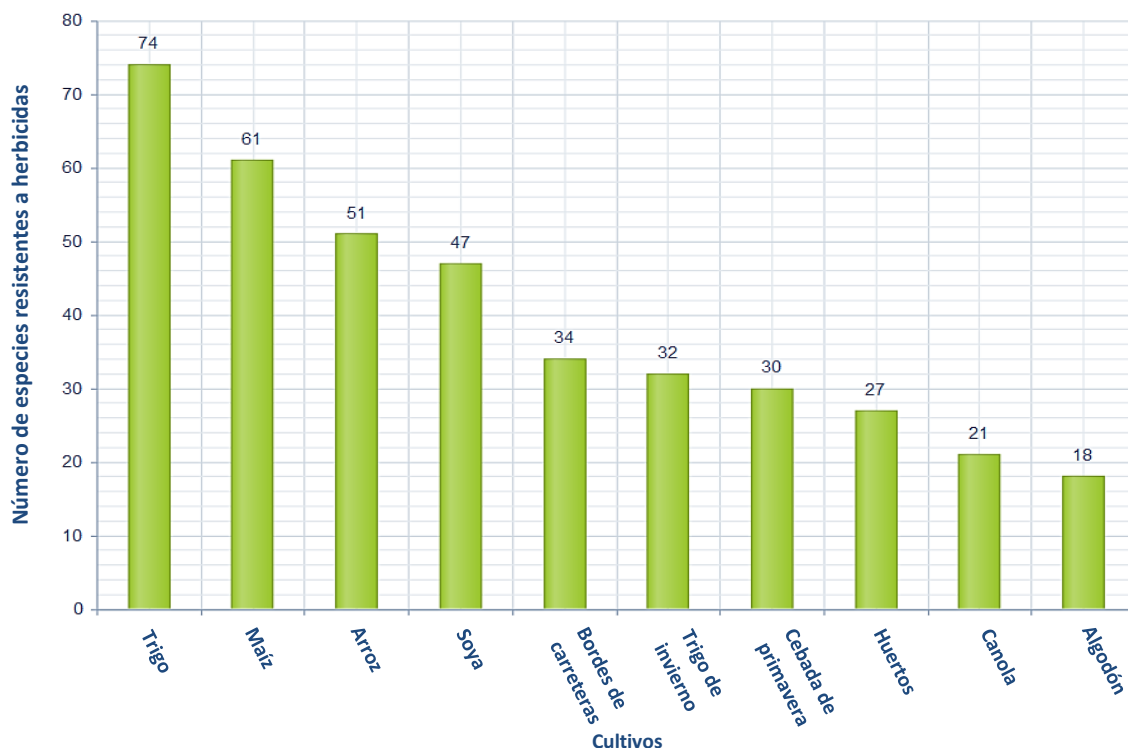


Figura 16. Número de especies resistentes a herbicidas por cultivo (Heap, 2017).

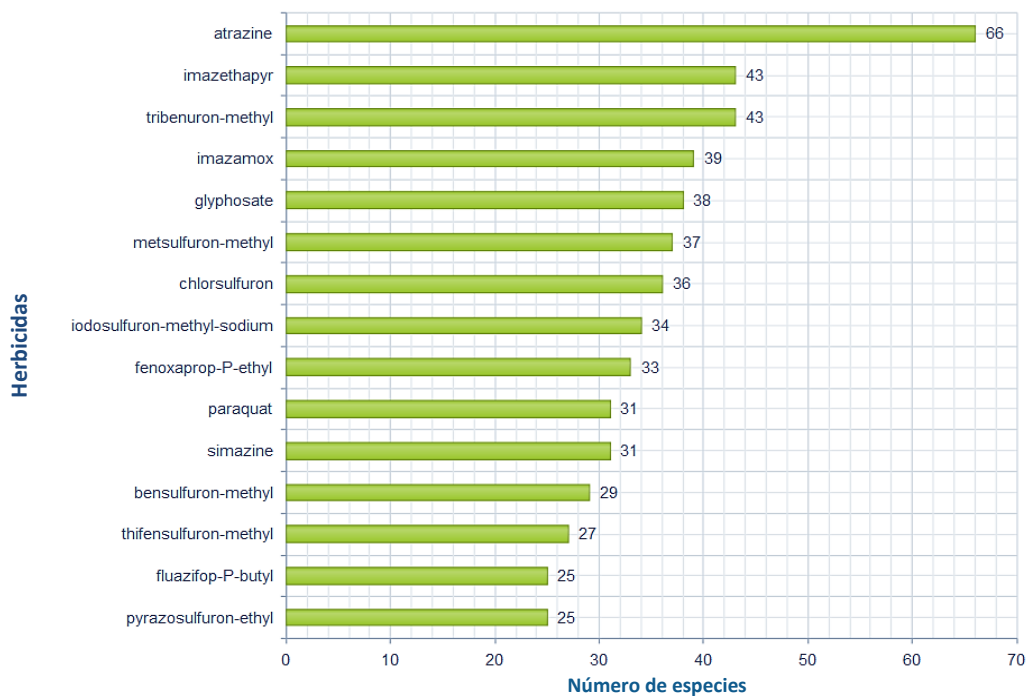


Figura 17. Número de especies resistentes a herbicidas individuales (Heap, 2015).

6.6.5. Manejo de resistencia de maleza a herbicidas

6.6.5.1. Evaluación del riesgo de desarrollo de resistencia.

Los factores que afectan el desarrollo de resistencia de malezas a herbicidas se han identificado como genéticos, biológicos y agronómicos. Los factores genéticos, se entienden como la frecuencia inicial de alelos de resistencia y su capacidad para heredarse y los factores biológicos pueden ser, por ejemplo la capacidad de producción de semilla de las malezas, su potencial de germinación, su capacidad de dispersión, etc. Las prácticas agronómicas corresponden a aquellas actividades o labores como el uso de herbicidas, uso de labranza convencional o de labranza mínima y otras que regularmente utiliza el productor para el control de la maleza. La presión de selección que se ejerce sobre una maleza está dada por las características de un determinado herbicida, la frecuencia con que se usa y la presencia o ausencia de otras opciones de manejo de malezas.

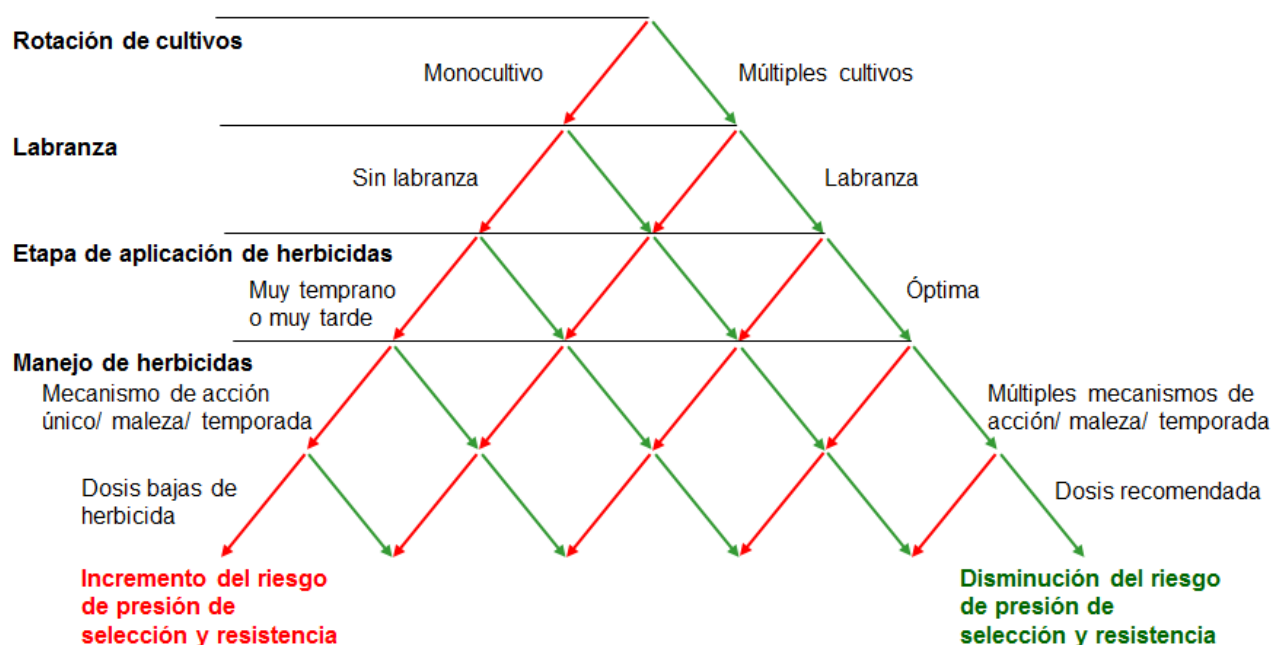
En la implementación de un programa de manejo de maleza, los factores agronómicos son los que principalmente pueden adaptarse para reducir la presión de selección. Por esta razón se hace necesario evaluar las principales prácticas agronómicas a las que está sujeto el cultivo para entender cuáles malezas tienen el riesgo potencial de desarrollo de resistencia dada la presión de selección que se ejerce con el uso continuo de un herbicida y consecuentemente establecer las recomendaciones de manejo de maleza que contribuyan a reducir los riesgos de selección de poblaciones o biotipos resistentes y los planes de mitigación para ese potencial riesgo.

Debido a que el riesgo de que las malezas desarrollen resistencia a cualquier herbicida está determinado por la intensidad de la presión de selección que se ejerce con ese herbicida, es necesario entender la diversidad de opciones para el manejo de las malezas. La diversidad en este contexto se puede definir como el uso de varios herbicidas con distintos mecanismos de acción y la superposición de su actividad, con o sin el uso de otras prácticas de control de malezas, que pueden ser mecánicas, culturales o biológicas. Entre más diversidad de métodos o prácticas de control se tenga en un cultivo, menor será el riesgo de seleccionar biotipos de malezas resistentes a un determinado tipo de herbicida.

Los métodos mecánicos y culturales son estrategias eficientes de control de malezas. El uso de implementos agrícolas como el arado, rastra, arados rotativos, azadón, juegan un papel importante como control mecánico debido a que destruye físicamente malezas ya emergidas.

Muchos estudios han demostrado que el uso de mezclas herbicidas, o rotación de ingredientes activos, retrasa la selección de poblaciones resistentes a un herbicida especialmente cuando se usa más de un ingrediente activo con diferente mecanismo de acción que tenga actividad sobre la maleza a controlar. De manera similar, el uso de glifosato o glufosinato de amonio en combinación con métodos mecánicos o culturales de control de malezas es una estrategia para manejar proactivamente la maleza.

Las causas más frecuentes por las que las poblaciones de malezas pueden desarrollar resistencia a un herbicida es debido a la selección de individuos que tengan genes específicos que les permitan no ser afectados por el mecanismo de acción del herbicida. La aplicación del herbicida, por si misma, no causa mutaciones que se pasen a las siguientes generaciones. En lugar de ello, el uso repetitivo del herbicida, en ausencia de otros métodos de control como las prácticas culturales u otros herbicidas con diferente modo de acción, con el paso del tiempo permite seleccionar los pocos biotipos que contienen los genes de resistencia los cuales se vuelven más frecuentes en la población. El desarrollo de o la selección de poblaciones resistentes es común a todos los herbicidas (Figura 18).



Fuente: Bayer CropScience, 2009; modificado de Nevill *et al*, 1998⁴

Figura 18. Análisis de riesgo de resistencia de malezas a herbicidas.

La probabilidad de que se desarrolle resistencia está en función de la frecuencia de los alelos de resistencia, su naturaleza dominante o recesiva, el mecanismo de la resistencia, la adaptación relativa del biotipo resistente y la frecuencia o duración del uso del herbicida en ausencia de otros métodos de control (Beckie, 2006; Sammons *et al.*, 2007). El riesgo de resistencia no es el mismo para todos los herbicidas, algunos de ellos, por ejemplo, los del grupo de inhibidores de la ALS y ACCasa, exhiben resistencia con mayor rapidez que otros como los del tipo de las auxinas (Dicamba) y las dinitroanilinas.

⁴ Nevill, D., D. Cornes, and S. Howard. 1998. Weed resistance. Available at <http://www.hracglobal.com/Publications/HRACManagementandWeedResistance/tabid/228/Default.aspx>. Accessed: April 16, 2012



6.6.5.2. Plan de manejo de resistencia de maleza

Para retrasar el desarrollo de resistencia, Bayer cuenta con un plan de manejo de resistencia de maleza a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio en algodón GLT, que incluye las siguientes acciones:

- a) Calibrar el equipo de aplicación para asegurarnos que la aplicación será realizada de manera correcta.
- b) Usar la dosis recomendada de los herbicidas glifosato (1452 g i.a./l) y glufosinato de amonio (700 g i.a./l) y aplicando en el momento correcto.
- c) Controlar las malezas en sus primeras etapas para evitar la competencia con el cultivo y la producción de estructuras reproductivas (altura no mayor a 15 cm).
- d) Rotar herbicidas con diferente modo de acción. En los casos en lo que sea posible, realizar una aplicación pre emergente del herbicida trifluralina a una dosis de 960 g i.a./ha.
- e) Utilizar la labranza donde sea aplicable como un componente más del programa de manejo de malezas.
- f) Usar las prácticas culturales, reducir el espacio entre surcos, maximizar la competitividad, es decir, lograr que el cultivo cubra la superficie en el menor tiempo posible y así lograr que tenga ventajas respecto a la maleza.
- g) Inspeccionar los lotes y monitorear cambios en las poblaciones de malezas.
- h) Realizar la evaluación de la efectividad biológica de los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio con el objetivo de observar cualquier posible cambio en la susceptibilidad de las especies de maleza presente en el cultivo.
- i) Atender reclamaciones referentes a posibles fallas de control o fitotoxicidad por el uso de los herbicidas en el cultivo.

Las prácticas anteriormente descritas son parte de la estrategia global de Bayer “Diversidad es futuro” cuyo objetivo es retrasar la aparición de malezas resistentes a herbicidas, tanto en cultivos genéticamente modificados como en cultivos convencionales ([Figura 19](#)).



Figura 19. Estrategia de Manejo de Resistencia de Maleza “Diversidad es el futuro”.

6.6.5.3. Seguimiento del plan de manejo de resistencia de maleza

Antes de 1996, el algodón era el único cultivo extensivo que no contaba con un herbicida post-emergente (POST) para el control de malezas dicotiledóneas que no causara daños tóxicos al cultivo, retrasos en su maduración o reducción de su rendimiento. La falta de un herbicida POST para controlar malezas de hoja ancha se agravaba al ser el algodón un cultivo poco competitivo en sus primeras etapas de desarrollo. Por medio de la biotecnología fue posible desarrollar variedades transgénicas de este cultivo con resistencia a varios herbicidas que ofrecían un buen control de maleza y selectividad al cultivo (Rosales y Sanchez, 2010).

Está demostrado que la maleza tiene la capacidad de desarrollar resistencia a herbicidas, sin importar su modo de acción, cuando se someten a suficiente presión de selección bajo condiciones apropiadas. Sin embargo, también es claro considerando la prevalencia de algunos modos de acción sobre otros, que en la evolución de resistencia hay algunos que tienen un menor riesgo.

Por lo general, la sospecha inicial de resistencia está relacionada con un control deficiente o no satisfactorio de las malezas después de una aplicación de herbicidas. Antes de considerar a la resistencia como causante de la falla, deben descartarse otros factores como: dosis o época de



aplicación, aplicación deficiente del herbicida, nivel de humedad y preparación del suelo, adsorción, condiciones climáticas no favorables, tamaño de malezas, germinación posterior a la aplicación y alta infestación.

Los agricultores tienen la responsabilidad de seguir las recomendaciones sobre el uso correcto de los herbicidas en el cultivo de algodón. De igual manera, en caso de detectar una falla de control deberán notificarlo al distribuidor y al personal de Bayer, quienes comenzarán con la investigación de manera inmediata, visitando la parcela en cuestión y recopilando toda la información necesaria para el análisis conforme a los documentos y formatos internos aplicables.

La investigación permitirá aclarar si la falta de control fue debida a la aplicación incorrecta de los productos o pudiera estar relacionada con una disminución en la sensibilidad de las poblaciones de maleza.

6.6.5.4. Plan de acción en caso de presentarse resistencia

En caso de sospecha de resistencia, es decir, cuando se está seguro que la aplicación fue realizada correctamente en tiempo y forma, se realizarán las investigaciones de laboratorio, invernadero y campo que correspondan. Si la resistencia es confirmada, entonces se comunicará apropiadamente a la comunidad científica y a la cadena productiva y se implementará un plan de mitigación.

El plan de mitigación será diseñado para manejar el biotipo resistente a través de medidas efectivas de manejo que sean económicas y de fácil implementación por parte de los agricultores. El alcance y nivel de intensidad del plan de mitigación variará dependiendo de una combinación de los siguientes factores:

- Biología y características de la maleza (producción y distribución de semilla, latencia de la semilla, etc.).
- Importancia de esa especie de maleza en el sistema agrícola.
- Estatus de resistencia de esa especie de maleza a otros herbicidas con modos de acción alternos.
- Disponibilidad de alternativas de control.

Estos factores serán analizados en combinación con consideraciones de manejo y se desarrollará la estrategia de mitigación específica que sea técnicamente apropiada para esa especie y población en particular.

6.7. Plagas del cultivo de algodón

Entre las principales plagas del cultivo de algodón se tienen al picudo del algodón *Anthonomus grandis* Boheman, gusano rosado *Pectinophora gossypiella* (Saunders), gusano bellotero

Helicoverpa zea (Boddie), gusano tabacalero *Heliothis virescens* (Fabricius), chinche ligus *Lygus hesperus* Knight., *L. Lineolaris* (Palisot de Beauvois) *L. elisus*, Van Duzee chinche apestosa *Nezara viridula* (L.) y *Chlorochroa* spp, y mosquita blanca *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring. Existe además un complejo de otros insectos chupadores y gusanos que en ocasiones se pueden convertir en serios problemas para el algodónero (Martínez, 2004).

Complejo bellotero (*Helicoverpa zea*)/ tabacalero (*Heliothis virescens*)

Este complejo de insectos se pueden observar en algodón desde inicio de cuadro hasta bellotas maduras. La hembras de gusano bellotero y tabacalero ponen sus huevos en la terminal de la planta de uno en uno, seleccionan normalmente hojas tiernas de un tercio de desarrollo y botones florales o cuadros. Las larvas emergen e inician su alimentación en la hoja con pequeñas perforaciones luego se mueven para alimentarse de los botones florales y conforme se desarrollan se mueven hacia la parte inferior de la planta. Normalmente se localizan en los primeros cinco nudos de la parte superior de la planta. Pupan en el suelo y de ahí emergen los adultos para realizar migraciones entre cultivos o pueden emprender migraciones a grandes distancias (Westbrook, 1998).

Cuadro 32. Muestreo y umbral económico de gusano bellotero y tabacalero en algodón.

Método de muestreo		Umbral económico
Inspección de terminales	Segunda semana de floración. <ul style="list-style-type: none"> • 100 terminales/20 ha • 25 terminales por cuadrante o 20 terminales en cinco de oros. 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 larvas L1 - L3 (<1.0 cm) • 5% de terminales con larvas (Valle del Yaqui)
Inspección de cuadros	100 cuadros al azar por predio. <ul style="list-style-type: none"> • 25 cuadros por cuadrante o 20 por sitio en cinco de oros. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5% (Texas) • 8% (Valle del Yaqui)
Inspección de toda la planta en variedades biotecnológicas resistentes a insectos (Texas)	100 plantas al azar por predio Frecuencia: 3 a 4 días	<ul style="list-style-type: none"> • 8 a 12 larvas >6 mm • 5 a 15% de cuadros y bellotas dañados



Figura 20. Gusano bellotero (*Helicoverpa zea*).

Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero normalmente emigra al algodón de otros cultivos o pastos, se le puede encontrar en algodón desde la emergencia del cultivo pero es más frecuente en el período de floración y desarrollo de bellotas. Las hembras ponen sus huevos en las hojas de la parte terminal en masas cubiertas con escamas como en el caso de gusano soldado, de hecho además de gusano cogollero se le conoce como gusano soldado de otoño. Las larvas recién emergidas presentan hábitos gregarios y canibalismo, conforme se desarrollan emigran a plantas contiguas observándose focos de infestación de esta plaga. Las larvas son de color café claro variando de acuerdo con la alimentación desde verde hasta negro, alcanzan una longitud de hasta 4 cm, las larvas presenta en los costados tres líneas de color amarillo pálido, con bandas de color oscuro y una amarilla y manchas rojizas. En la cabeza se observa una sutura en forma de Y invertida que la distingue de otras especies de lepidópteros. En el octavo segmento abdominal por la parte superior se distinguen ocho protuberancias o tubérculos, de color oscuro cuatro grandes y cuatro más chicos cada uno con una seta o pelo que pueden servir como ayuda para distinguir este insecto de otros lepidópteros. Pupan en el suelo de donde emergen las palomillas para iniciar migraciones de corto o largo alcance como en el caso de gusano bellotero y tabacalero.

Cuadro 33. Muestreo y umbral económico de gusano cogollero en algodón.

Muestreo		Umbral económico
Inspección de 5 plantas en 10 sitios por predio	Buscar masas de huevecillos, larvas o daño en bellotas	• 4 o más larvas por 100 bellotas o flores



Figura 21. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)

El gusano soldado generalmente se presenta en las primeras etapas de desarrollo del cultivo desde que tiene una hoja verdadera hasta inicio de cuadreo, en ocasiones se llega a presentar durante la floración. Las hembras ponen sus huevos en masas cubiertas con escamas de la palomilla, las larvas son de color verde con líneas longitudinales de color claro amarillento y dos puntos negros en el segundo segmento torácico, emergen en forma gregaria y comienzan a dañar las hojas, posteriormente emigran a plantas cercanas, en plantas chicas dañan el follaje y en

plantas grandes de algodón pueden encontrarse comiendo en las bellotas y perforando las bellotas.

Cuadro 34 . Muestreo y umbral económico de gusano soldado en algodón.

Muestreo		Umbral económico
Inspección durante el período de primeros cuadros a primeros capullos	<ul style="list-style-type: none"> • 100 plantas al azar por predio • Muestreo de larvas mediante inspección de toda la planta. 	Umbrales económicos (Texas) <ul style="list-style-type: none"> • Promedio de 2 masas de larvitas recién eclosionadas por 30 m • 40 larvas por 100 plantas



Figura 22. Gusano soldado (*Spodoptera exigua*).

Gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*)

El gusano rosado, al igual que otras plagas ha disminuido su importancia como plaga principal del algodón, esto se considera que se debe a las campañas de erradicación que se han establecido entre México y Estados Unidos. En ellas se incluyen monitoreo, materiales de algodón Bt, liberación de palomillas estériles, feromonas y aplicación de insecticidas.

El adulto de gusano rosado es una palomilla de color café-grisáceo con manchas oscuras, miden 1.8 cm de extensión alar. Las alas son angostas y llevan un fleco de pelos largos en el borde anal, las antenas son filiformes, los palpos labiales son largos y curvos. Viven en promedio 15 días son de hábitos nocturnos o crepusculares. Cada hembra oviposita de 100 a 200 huevecillos en un período de una semana, estos son de color blanco verdoso recién ovipositados y posteriormente adquieren una coloración rosada. Al inicio de la temporada los huevecillos son colocados en las yemas terminales o en los cuadros, cuando ya existen cápsulas los huevecillos son colocados en la parte inferior de las brácteas en pequeños grupos. Las larvas emergen en 5 días siendo en los primeros instares de color blanco cristalino con la cabeza oscura. Cuando se desarrolla en los cuadros se alimenta de la columna estaminal y une con hilos de seda la punta de los pétalos provocando la apertura anormal de la flor formando lo que se conoce con el nombre de flor rosetada. Cuando se desarrolla en las cápsulas, a las cuales penetra inmediatamente después de la eclosión se alimentan de las semillas, dañan la fibra reduciendo su calidad al cortarla o mancharla. Las bellotas dañadas no forman capullo o lo hacen parcialmente. Para completar su desarrollo pasan por cuatro instares larvarios, con una duración de 10 a 15 días. Las larvas de

cuarto instar llegan a medir hasta 12 mm de largo son de color rosado con la cabeza café. En este instar, pueden salir de la cápsula haciendo una perforación, para pupar en el suelo, residuos de cosecha, basura y en otros lugares protegidos. Ocasionalmente pupan en el interior de las bellotas de algodón. La duración del ciclo completo es de 25 a 30 días. Las larvas pueden entrar en un período de “diapausa”, debido a condiciones desfavorables o para hibernar. Los adultos que emergen después de la “diapausa” tienen un amplio período de emergencia, lo que les permite atacar la planta de algodón en diferentes etapas de su desarrollo (Martínez-Carrillo *et al.*, 2002).

Cuadro 35. Muestreo y umbral económico de gusano rosado en algodón.

Muestreo		Umbral económico
Inicio: segunda semana de floración, cuando se observen las primeras bellotas susceptibles (15 a 30 días de edad)	Unidad de muestreo y tamaño de muestra: coleccionar 25 bellotas susceptibles al azar en cada uno de los cuadrantes del predio de un área no mayor de 40 hectáreas	• 10 – 12% de bellotas infestadas con larvas L1-L2



Figura 23. Gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), mediante acuerdos publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF), ha establecido las siguientes zonas libres de gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*) en México:

Cuadro 36. Acuerdos por los que se declaran zonas libres de gusano rosado en México.

Fecha de publicación (Diario Oficial de la Federación)	Acuerdo
22 de noviembre de 2012	Acuerdo por el que se declara zona libre de gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>) y picudo del algodonerero (<i>Anthonomus grandis</i>) a los municipios de Juárez, Práxedes G. Guerrero, Guadalupe, Ahumada, Janos, Ascensión, Nuevo Casas Grandes, Casas Grandes, Galeana y Buenaventura, en el Estado de Chihuahua.

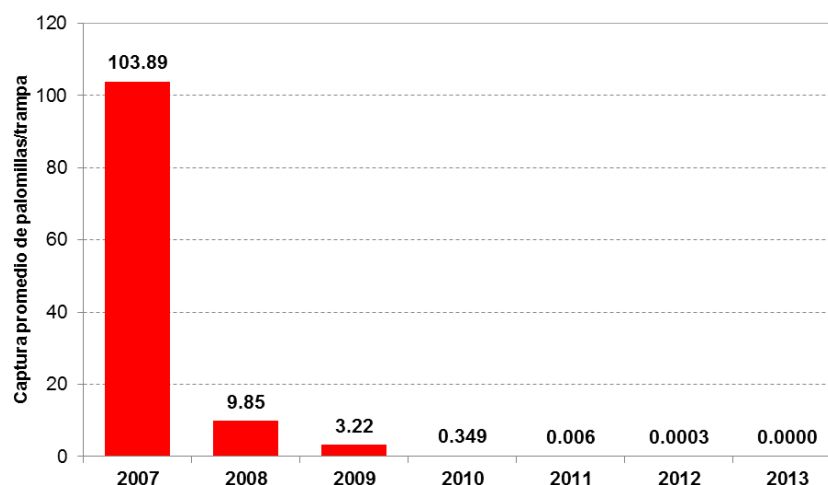


8 de diciembre de 2014	Acuerdo por el que se declara como zona libre de gusano rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>) al Estado de Chihuahua, al Municipio de Sierra Mojada del Estado de Coahuila y a los municipios de Álamos, BÁCUM, Benito Juárez, Cajeme, Etchojoa, Huatabampo, Navojoa y San Ignacio Río Muerto del Estado de Sonora.
3 de febrero de 2016	Acuerdo por el que se declara como zona libre de Gusano Rosado (<i>Pectinophora gossypiella</i>) a los Estados de Baja California y Sonora

Como resultado de la alta efectividad del algodón resistente a insectos que se siembra en la regiones algodonerías y al éxito del programa binacional de erradicación de gusano rosado implementado por autoridades de agricultura de México y Estados Unidos, se han reducido significativamente los niveles de infestación de insectos lepidópteros en el cultivo del algodón.

Cuadro 37. Resultados de monitoreo de gusano rosado en la región del Valle de Mexicali, B.C. – San Luis Río Colorado, Son. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California, periodo 2007 – 2011.

Año	Muestras	Bellotas revisadas	Bellotas dañadas	% de infestación	Reducción
2007	250	5,000	1,450	29	-
2008	300	6,000	181	3.02	87.52%
2009	300	6,000	4	0.07	97.79%
2010	300	6,000	0	0.00	100%
2011	1,250	24,000	0	0.00	100%



Fuente: Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Baja California (<http://www.cesavebc.com/>).

Figura 24. Gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*).



- A partir del año 2007 que se inició el programa, año con año se alcanzaron resultados satisfactorios de tal forma que a mediados del año 2012 y durante el 2013 el resultado fue de cero capturas.
- Se reduce 100% de incidencia (capturas/trampa) de gusano rosado en relación al año 2006, cuando no había programa de erradicación.
- A partir del año 2011 hasta el 2013, no se realizaron tratamientos por no cumplirse los umbrales de acción.
- Ahorro por el orden de 35.8 millones de pesos, que los productores hubieran hecho sin contar con el programa por concepto de aplicaciones para el control de gusano rosado durante el período de 7 años de operación del programa y que en lo sucesivo no aplicaran por los resultados positivos alcanzados.

Mosquita blanca (*Bemisia argentifolii*).

La mosquita blanca es una plaga polífaga; es decir que afecta un rango amplio de cultivos hospedantes, entre ellos al algodón. En la Comarca Lagunera la mosquita blanca se constituyó en un problema fitosanitario a partir de 1995, causando pérdidas en la producción (40 al 100%) en cultivos hortícolas y un incremento en el número de aplicaciones en melón, calabaza, tomate y algodón.

La mosquita blanca presenta metamorfosis incompleta pasando por las etapas biológicas de huevecillo, ninfa y adulto. Pueden presentarse seis generaciones durante el ciclo de crecimiento del cultivo. A una temperatura de 30 °C, el huevecillo dura 5.0 días y las ninfas de 1º, 2º, 3º y 4º instares duran 3.2, 1.5, 1.7 y 4.8 días (total estado ninfal, 11.2 días), por lo que el ciclo biológico completo requiere de 16.2 días.

Cuadro 38. Muestreo y umbral económico de mosquita blanca en algodón.

Muestreo		Umbral económico
Muestreo mediante inspección de hojas	<u>Muestreo numérico.</u> En este tipo de muestreo se cuentan los adultos presentes en cada unidad de muestreo. <ul style="list-style-type: none">• Unidad de muestreo: la unidad de muestreo es el envés de una hoja tomada del quinto nudo.• Tamaño de muestra: se recomienda muestrear 30 a 50 hojas por predio.	<ul style="list-style-type: none">• Aplicar insecticidas si hay 5 o más adultos/hoja
	<u>Muestreo binomial.</u> En este tipo de muestreo se cuentan las hojas infestadas. <ul style="list-style-type: none">• Muestrear 30-50 hojas del quinto nudo	<ul style="list-style-type: none">• 40% o más de hojas infestadas con al menos 3 adultos por hoja, lo cual corresponde a un umbral de 5 o más adultos/hoja
Monitoreo mediante	Colocar las colocan sobre una estaca a una	

trampas amarillas pegajosas	altura aproximada de 10 a 15 cm sobre el nivel del suelo, se instalan semanalmente, se recogen a las 24 h y se cuentan las mosquitas capturadas con la ayuda de una lupa o un microscopio de disección	
-----------------------------	--	--



Figura 25. Mosquita blanca (*Bemisia argentifolii*).

Picudo del algodón (*Anthonomus grandis* Boheman).

El picudo del algodón es nativo de México y Centroamérica y es considerado como la plaga más destructiva de este cultivo, ya que las pérdidas provocadas por esta plaga pueden ser de 20 a 40% de la fibra cosechada.

El picudo del algodón posee metamorfosis completa, es decir presenta las etapas de huevecillo, larva (gusano), pupa y adulto (picudo). Sobrevive de un ciclo del algodón, hiberna como adulto en refugios, tales como residuos de cosecha y vegetación aledaña a los predios de algodón. Además de los adultos de origen hibernante, se presenta cuatro generaciones normales, durante el ciclo del cultivo.

El ciclo biológico completo, desde huevecillo a emergencia del adulto, dura de 19 a 24 días en el verano en la Comarca Lagunera. El período de pre-oviposición de las hembras dura de 3 a 5 días. El tiempo de una generación requiere de 292 UC > 12°C.

El picudo tiene una alta preferencia para alimentarse en cuadros y bellotas pequeñas.

Cuadro 39. Muestreo y umbral económico del picudo del algodón.

Muestreo		Umbral económico
Inspección de cuadros	<ul style="list-style-type: none"> inspeccionar semanalmente 100 cuadros de por lo menos 1/3 de desarrollo al azar por predio colectar de al menos cuatro sitios 	<ul style="list-style-type: none"> 6 % de cuadros dañados por alimentación y ovipostura

	representativos del predio y de varias partes de la planta	
Inspección de flores	<ul style="list-style-type: none"> • 100 flores al azar por cada 20 hectáreas 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 adultos



Figura 26. Picudo del algodnero (*Anthonomus grandis*).

Conchuela del algodón (*Chlorochroa ligata* Say).

Esta especie es de importancia primaria en el algodón en la Comarca Lagunera y es la chinche que más comúnmente se detecta en la región. Las principales plantas hospederas de conchuela, son mezquite, alfalfa, maíz, sorgo, tomate, frijol, nogal y algunas especies de maleza comunes en la región.

La conchuela posee metamorfosis gradual (insecto hemimetábolo); es decir, presenta las etapas de huevecillo, ninfa y adulto (conchuela). Hiberna como adulto en áreas con maleza o basura. Pueden presentarse cinco generaciones por año y solo se puede completar una generación durante el período crítico del cultivo (80 a 120 días de la siembra). Los huevecillos duran alrededor de 5 días y las ninfas pasan por cinco mudas durante 39 días. Los adultos pueden vivir hasta 55 días.

Tanto las ninfas como los adultos se alimentan succionando los jugos de las bellotas. Las bellotas chicas atacadas se caen y las más grandes permanecen en la planta, y al madurar la fibra se observa manchada y las semillas se chupan (semillas vanas). La conchuela produce verrugas en la cara interna de la pared de la bellota, las cuales son de color blanco e irregulares.

Cuadro 40. Muestreo y umbral económico de la conchuela del algodón.

Muestreo		Umbral económico
Inspección de bellotas	<ul style="list-style-type: none"> • Colectar 25 bellotas susceptibles al azar en cada uno de los cuadrantes del predio de un área no mayor de 40 hectáreas 	<ul style="list-style-type: none"> • Comarca Lagunera: $\geq 4\%$ de bellotas dañadas. • California (UC IPM): 20 - 25 adultos por 6 o 7 plantas inspeccionadas al azar. • Texas (TAMU): ≥ 1 chinche/2 m de plantas o 20% de bellotas dañadas.
Redeo	<ul style="list-style-type: none"> • 100 golpes de red por predio 	
Muestreo de plantas y bellotas (Texas)	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar varias secciones de 2 m de plantas en diferentes sitios del predio y revisar al menos 50 bellotas. 	



Figura 27. Conchuela del algodón (*Chlorochroa ligata* Say).

Chinche Lygus (*Lygus* spp.).

La chinche lygus (*Lygus* spp.) es un insecto chupador de 6 mm de largo, oval y color café verdoso, con una marca de color amarillo en el escutelo y varias líneas longitudinales oscuras y claras en el pronoto (Greene *et al.*, 2006). Las ninfas y adultos de estos insectos se alimentan de la savia principalmente en hojas terminales, cuadros y bellotas tiernas. Cuando los daños son intensos al inicio de cuadro, ocasionan la caída de los cuadrillos recién formados provocando un desarrollo excesivo de ramas y follaje; también causan la mala formación de bellotas, manchan la fibra, bajan el rendimiento y retrasan la cosecha. Este insecto también ataca otros cultivos como alfalfa y cártamo y cuando alcanza altas infestaciones, puede emigrar al algodón durante la etapa del cuadro, complicando así el manejo del cultivo (Herrera Andrade *et al.*, 2010).



Figura 28. Chinche Lygus (*Lygus* spp.).

Cuadro 41. Muestreo y umbral económico de la chinche lygus en algodón.

Muestreo		Umbral económico
Redeo (Valle de Mexicali, B.C. - San Luis Río Colorado, Son.)	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el período crítico que inicia con la aparición de los primeros cuadros hasta las tres primeras semanas de producción de bellotas • Muestrear 2 veces por semana 	<ul style="list-style-type: none"> • 15 chinches en 100 redadas
Redeo (Valle del Yaqui, Son.)	<ul style="list-style-type: none"> • Durante el período crítico que inicia con la aparición de los primeros cuadros hasta las tres primeras semanas de producción de bellotas • Muestrear 2 veces por semana 	<ul style="list-style-type: none"> • 20 chinches (adultos y ninfas) por 100 redadas • El daño en cuadros no debe exceder del 25%

Thrips.

Los trips son insectos pequeños de alrededor de 1 mm, existen más de 5000 especies reportadas pero solo algunas son consideradas plagas de cultivos; son de cuerpo delgado y alargado, aparato bucal raspador chupador y alas con flecos en los bordes. Las especies que se han reportado en algodón son *Frankliniella tritici*, *Frankliniella occidentales*, *Frankliniella fusca*, *Neohydatothrips variabilis* y *Thrips tabaci*.

El ciclo de vida de los trips pasa por 6 instares: huevo, dos estados larvales, pre-pupa pupa y adulto. Los estados de pre-pupa y pupa permanecen en el suelo, las larvas son las más dañinas para las plantas. Su ciclo varía con la temperatura de 15 hasta 60 días; con frío los estados inmaduros duran más tiempo y producen más daño. Los trips hibernan como adultos o larvas en plantas de invierno o como pupas en el suelo. Comienzan su reproducción en maleza, cultivos de invierno entre otros en trigo, después emigran a algodónero. La principal forma de dispersión es el viento; la dirección y velocidad del viento tiene mucha influencia en las infestaciones en algodónero.

Afectan plántulas desde emergencia hasta la cuarta hoja. Los inmaduros son los más dañinos y el frío prolonga ciclo y daño. Dañan la yema terminal, interfieren con el desarrollo normal de la planta, reduciendo su tamaño, deformando hojas y tallos y reduciendo la capacidad fotosintética de la planta. Los cultivos sembrados bajo condiciones de frío son más afectados.



Cuadro 42. Rendimiento. Daño por trips en el cultivo del algodón.

Pulgón del algodón (*Aphis gossypii*).

El pulgón del algodón pasa la mayor parte del año en la maleza y emigra al algodón al inicio del ciclo del cultivo. La infestación puede incrementarse a través del ciclo del algodón y causar problemas de “enmielado” de hojas y fibra. Los pulgones se alimentan de la savia de hojas y ramas y son vectores importantes de virus fitopatógenos. Solamente las hembras se encuentran en el algodón y su reproducción es partenogenética, presentándose una nueva generación aproximadamente cada 15 días.



Figura 29. Pulgón del algodón (*Aphis gossypii*).

6.7.1. Algodón genéticamente modificado resistente a insectos.

Bacillus thuringiensis es una bacteria que normalmente habita el suelo y durante el proceso de esporulación produce una inclusión formada por uno o más cuerpos cristalinos de naturaleza proteica que son tóxicos para distintos invertebrados especialmente larvas de insectos. Estas proteínas se llaman Cry y constituyen la base del insecticida biológico más difundido en el mundo (Sauka y Benintende, 2008).

El mecanismo de acción de las proteínas Cry se describió principalmente en lepidópteros como un proceso de múltiples etapas. Los cristales de *B. thuringiensis* son ingeridos y luego solubilizados en el intestino medio del insecto, tras lo cual se liberan las proteínas cristalinas en forma de protoxinas. Estas no producirán el daño per se, sino que deberán ser procesadas por proteasas intestinales para generar las toxinas activas que llevarán a la muerte de la larva (Bravo *et al.*, 2004).

A través de la ingeniería genética se han desarrollado muchas especies de plantas que expresan genes *cry* de *Bacillus thuringiensis* y comúnmente se hace referencia a este tipo de plantas como “plantas o cultivos Bt” (por ejemplo, maíz Bt, algodón Bt, etc.). El primer informe de una planta transgénica con un gen *cry* de *B. thuringiensis* data de 1987 (Vaek *et al.*, 1987). Se desarrollaron plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) que producían cantidades suficientes de proteína Cry para controlar larvas de primer estadio de *Manduca sexta*.

El algodón transgénico se sembró en México desde 1996 año en que se establecieron 896.8 ha en Tamaulipas, correspondiendo a un 0.3% de la superficie sembrada a nivel nacional (Martínez-Carrillo, 2004). Actualmente el algodón genéticamente modificado tolerante a herbicidas y resistente a insectos lepidópteros representa más del 90% del total nacional.

6.7.2. Impacto del uso de algodón resistente a insectos

El algodón **GLT** expresan las proteínas insecticidas Cry1Ab de *Bacillus thuringiensis* subsp. Kurstaki y Cry2Ae de *Bacillus thuringiensis* subsp. Dakota, las cuales son específicas para el control de larvas de algunas especies de insectos lepidópteros de importancia económica en el cultivo del algodón. La expresión de dos proteínas insecticidas en una misma planta, contribuye a reducir el riesgo de aparición de resistencia en las especies de plagas objetivo, ya que se reduce la probabilidad para que un insecto desarrolle simultáneamente un mecanismo de resistencia efectivo contra múltiples toxinas.

Con relación al manejo agronómico, la adopción de algodón biotecnológico resistente a insectos ha contribuido a la adopción de mejores prácticas agrícolas que han redundado en importantes beneficios económicos y ambientales (Brookes y Barfoot, 2012):

- Mayor espectro de control de insectos lepidópteros plaga.
- Aumento de rendimiento debido al control efectivo de las plagas blanco que atacan al cultivo.
- Reducción significativa en el uso de insecticidas químicos (Figura 30).
- Disminución de la contaminación del suelo y mantos freáticos al utilizar insecticidas con menor impacto ambiental (Cuadro 48).

- Menor impacto en las poblaciones de insectos benéficos y otros organismos no blanco, debido a su especificidad y a que los únicos insectos expuestos a las toxinas son aquellos que se alimentan de los cultivos.
- Compatibilidad con prácticas de manejo integrado de plagas (MIP).
- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (disminución en el uso de combustibles necesarios para la fabricación, transporte y aplicación de insecticidas).

Desde 1996, el impacto neto en el uso de insecticidas y la huella ambiental (en relación con lo que podría haberse esperado, si todas las plantaciones de algodón se hubieran sembrado con algodón convencional), en los principales países que han adoptado algodón resistente a insectos ha sido:

- En 2015, una disminución de 53% en el volumen total de I.A. insecticida aplicado (19.3 millones de kg) y una reducción de 54% en el impacto ambiental (medido en términos de EIQ/ha).
- Desde 1996, se ha usado un 29.1% menos de I.A. insecticida (269 millones de kg) y el impacto ambiental debido a la aplicación de insecticidas en algodón se redujo un 31.5%.

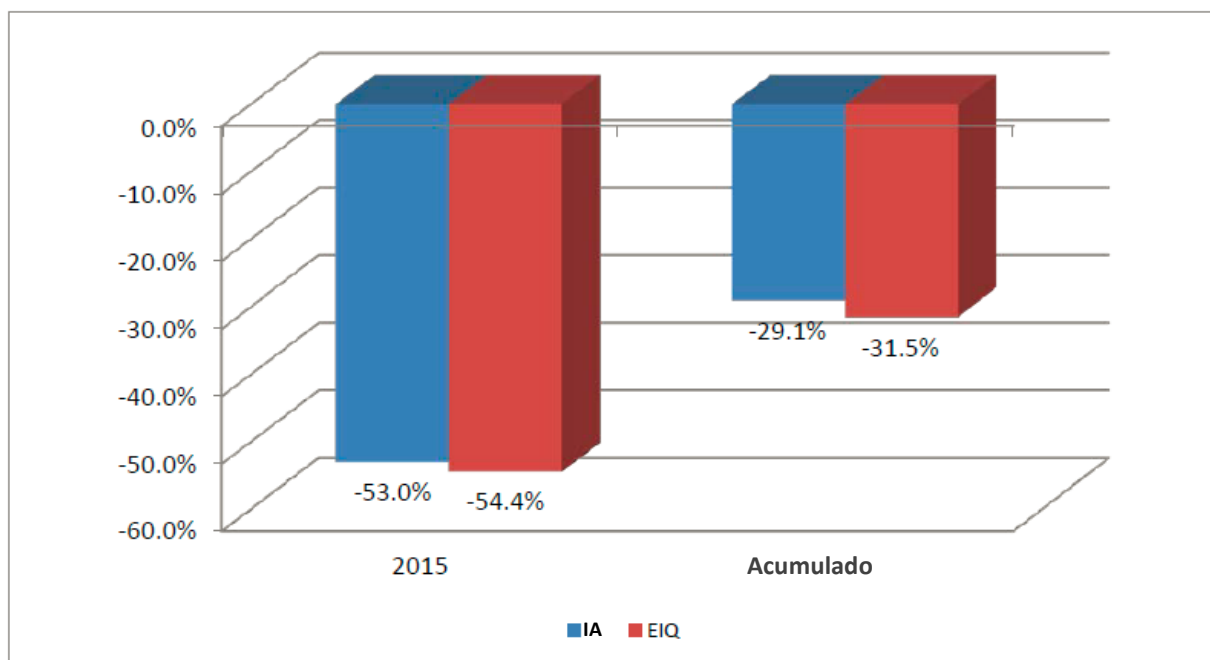


Figura 30. Reducción en el uso de insecticidas y la carga ambiental derivado del uso del algodón GM resistente a insectos 1996-2015 (Brookes y Barfoot, 2015).

Cuadro 43. Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) de los principales insecticidas recomendados para el control de insectos plaga en algodón.

Ingrediente activo (I.A.)	Grupo químico	EIQ
Monocrotofos	Organofosforado	90.92
Profenofos	Organofosforado	59.53
Azinfos metílico	Organofosforado	53.05
Clorfenapir	Halogenado de Pirrol	46.11
Bifentrina	Piretroide	44.35
Lambda cyalotrina	Piretroide	44.17
Betacyflutrin	Piretroide	39.57
Fenvalerato	Piretroide	39.57
Endosulfán	Organoclorado	38.55
Imidacloprid	Neonicotinoide	36.71
Cipermetrina	Piretroide	36.35
Fluvalinato	Piretroide	35.77
Triazofos	Organofosforado	35.59
Paratión metílico	Organofosforado	35.22
Metidation	Organofosforado	32.67
Betaciflutryn	Piretoride	31.57
Permetrina	Piretroide	29.33
Deltametrina	Piretroide	28.38
Clorpirifos etil	Organofosforado	26.85
Fenpropatrin	Piretroide	25.33
Acefate	Organofosforado	24.88
Malation	Organofosforado	23.83
Thiodicarb	Carbamato	23.33
Metomilo	Carbamato	22
Carbaril	Carbamato	20.9
Spinosad	Derivado de fermentación bacteriana (Naturalyte)	14.38
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Biológico	13.3

Fuente: A method to measure the Environmental Impact of Pesticides, Table 2: list of Pesticides, Part 4: Insecticides 2012. Integrated Pest Management. Disponible en: www.nysipm.cornell.edu

6.7.3. Manejo de insectos en algodón convencional

El control de plagas en el cultivo de algodón se ha basado tradicionalmente en el uso de insecticidas químicos de amplio espectro (cuadro 49), debido a que es el método más efectivo que existe. Sin embargo, el uso inadecuado de los mismos ha generado un impacto negativo en el agroecosistema, ocasionando una disminución drástica de los enemigos naturales y el desarrollo de resistencia a un gran número de insecticidas (Pacheco, 1994; Hake *et al.*, 1996; Machain *et al.*, 1988; Machain *et al.*, 1995).

Cuadro 44. Ingrediente activo, categoría toxicológica y grupo químico de los principales insecticidas recomendados para el control de insectos plaga en algodón (PLM, 2014).

Ingrediente activo	Formulación ^a	Dosis (g i.a./ha)	Categoría Toxicológica	Grupo Químico
Acefate	P 97% (970 g/kg)	1,164 - 1,552	Ligeramente tóxico	Organofosforado
Azinfos metílico	WP 35% (350 g/kg)	315 - 490	Altamente tóxico	Organofosforado
Betaciflutryn	SC 11.8% (125 g/L)	18.75 - 25	Ligeramente tóxico	Piretroide
Bifentrina	EC 12.15% (100 g/L)	40 - 60	Ligeramente tóxico	Piretroide
Carbaril	WP 80% (800 g/kg)	1,200 - 2,400	Moderadamente tóxico	Carbamato
Cipermetrina	EC 19.6% (200 g/L)	80 - 120	Moderadamente tóxico	Piretroide
Clorfenapir	SC 21.44% (240 g/L)	120 - 360	Ligeramente tóxico	Halogenado de Pirrol
Clorpirifos etil	EC 44.5% (480 g/L)	480 - 840	Moderadamente tóxico	Organofosforado
Cyflutrin	EC 5.7% (50 g/L)	37.5 - 50	Ligeramente tóxico	Piretroide
Deltametrina	EC 2.8% (25 g/L)	12.5	Ligeramente tóxico	Piretroide
Endosulfán	EC 33.30% (360 g/L)	540 - 900	Altamente tóxico	Organoclorado
Fenpropatrin	EC 38.50% (375 g/L)	168.75 - 225	Altamente tóxico	Piretroide
Fenvalerato	EC 11.1% (100 g/L)	0.075	Ligeramente tóxico	Piretroide
Fluvalinato	E en agua 24% (240 g/L)	72 - 120	Moderadamente tóxico	Piretroide
Imidacloprid	SC 21.4% (240 g/L)	103.2 - 208.8	Ligeramente tóxico	Neonicotinoide
Lambda cyalotrina	EC 5 % (50 g/L)	20 - 30	Ligeramente tóxico	Piretroide
Malation	EC 83.7% (100 g/L)	70 - 200	Ligeramente tóxico	Organofosforado
Metidation	EC 40% (415 g/L)	415 - 830	Altamente tóxico	Organofosforado
Metomilo	SP 90% (900 g/kg)	225 - 360	Altamente tóxico	Carbamato
Monocrotofos	Líquido miscible 56% (600 g/L)	300 - 900	Extremadamente tóxico	Organofosforado
Paratión metílico	EC 47.4% (500 g/L)	500 - 1,500	Extremadamente tóxico	Organofosforado
Permetrina	EC 33.66% (340 g/L)	136 - 204	Moderadamente tóxico	Piretroide
Profenofos	EC 73.56% (960 g/L)	576 - 1152	Moderadamente tóxico	Organofosforado
Spinosad	SC 44.2% (480 g/L)	36 - 60	Ligeramente tóxico	Derivado de fermentación bacteriana (Naturalyte)
Thiodicarb	SC acuosa 33.7% (375 g/L)	562.5 - 1125	Moderadamente tóxico	Carbamato
Triazofos	EC 40.0% (420 g/L)	630	Altamente tóxico	Organofosforado

^a SL: concentrado soluble; WP: polvo humectable; SC: suspensión concentrada; SP: polvo soluble; EC: concentrado emulsionable; P: pellets.

En México, antes de la década de los 60's, al algodónero se le conocía como el oro blanco debido a que ocupaba una gran cantidad de mano de obra y representaba una fuente de ingresos importante para los agricultores. En la década de los 60's, solamente en el estado de Tamaulipas se sembraban 630,000 ha (Vargas *et al.*, 1979). Desafortunadamente, el combate de las plagas de este cultivo se sustentó en aplicaciones calendarizadas de insecticidas, aumentos frecuentes en las dosis y en el número de aplicaciones por temporada; a principios de la década de los 70's, en el cultivo de algodónero se aplicaba el 80% de todos los insecticidas que se empleaban en la agricultura mexicana. Este escenario favoreció el



desarrollo de resistencia a insecticidas y por ende que este cultivo entrará en fase de crisis a nivel nacional (Lagunes, 1992).

En las décadas de los 60's y 70's, la resistencia a insecticidas de varias plagas de insectos provocaron la desaparición de las zonas algodonerías de Apatzingán, Michoacán, Tapachula, Chiapas y Matamoros, Tamaulipas (Lagunes, 1992). La zona de Tamaulipas se recuperó lentamente para sufrir otra crisis debido a la resistencia a insecticidas piretroides en el gusano tabacalero *Heliothis virescens* (Fabricius) a mediados de la década de los 90's (Terán-Vargas, 1996).

Dentro de un escenario de elevados niveles de resistencia a insecticidas convencionales, la introducción del algodono transgénico, que expresa la δ -endotoxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki Berliner (Bt) (Perlak *et al.*, 1990, 1991) representó una alternativa viable para cultivar algodono (Terán-Vargas *et al.*, 2005). Posteriormente se introdujo el algodón que expresaba dos proteínas Bt (Cry1Ac y Cry2Ab) que contribuyó a mejorar el control de los lepidópteros plaga del cultivo y a retrasar el desarrollo de resistencia.

6.7.4. Resistencia de insectos a insecticidas

La resistencia es una característica de fundamento genético que permite a un organismo sobrevivir a la exposición con una dosis de un plaguicida que normalmente podría resultar letal. Los genes de resistencia ocurren naturalmente en plagas individuales debido a mutaciones genéticas y de carácter hereditario. Los genes se diseminan a través de las poblaciones de plagas debido a un proceso de selección provocado por el uso repetido del plaguicida. Las poblaciones resistentes se desarrollan debido a que los individuos resistentes sobreviven y se reproducen posteriormente, y el rasgo de resistencia es "seleccionado" en la siguiente generación, mientras que los individuos susceptibles son eliminados por el tratamiento plaguicida. Si se continúa con el tratamiento, el porcentaje de sobrevivientes aumentará y la susceptibilidad de la población declinará hasta un punto que el plaguicida no podrá más proporcionar un nivel aceptable de control (FAO, 2012).

A lo largo del último siglo, cientos de especies de insectos han desarrollado resistencia a una o más medidas de control, impactando severamente en la economía de la producción de los cultivos (Cuadro 50). La mayoría de los casos de resistencia de insectos hasta la fecha involucra insecticidas químicos sintéticos (Yu, 2008), pero también se ha desarrollado resistencia a algunos agentes microbianos, tales como las formulaciones para aspersión de Bt (Ferré and Van Rie, 2002).

Cuadro 45. Los 20 artrópodos más importantes, para los cuales se han registrado casos de resistencia en la agricultura y la salud pública.

Orden	Familia	Especies	Rango de hospedantes	Hospedante
Acari	Acaridae	<i>Rhizoglyphus robini</i>	19	Plantas ornamentales, cebolla almacenada
Acari	Ixodidae	<i>Boophilus microplus</i>	6	Ganado bovino
Acari	Tetranychidae	<i>Panonychus ulmi</i>	9	Árboles frutales
Acari	Tetranychidae	<i>Tetranychus urticae</i>	1	Algodón, flores, frutales, hortalizas
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	4	Papa, berenjena, tomate
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i>	17	Granos almacenados, cacahuete, sorgo
Dermaptera	Blattellidae	<i>Blattella germanica</i>	7	Urbano
Diptera	Calliphoridae	<i>Lucila cuprina</i>	18	Ganado bovino y ovino
Diptera	Culicidae	<i>Anopheles albimanus</i>	20	Humano
Diptera	Culicidae	<i>Culex pipiens pipiens</i>	11	Humano
Diptera	Culicidae	<i>Culex quinquefasciatus</i>	15	Humano
Diptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	5	Urbano
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	8	Algodón, cucurbitáceas, crucíferas y hortalizas
Hemiptera	Aphididae	<i>Aphis gossypii</i>	10	Algodón, hortalizas
Hemiptera	Aphididae	<i>Myzus persicae</i>	3	Frutales, hortalizas, árboles
Hemiptera	Aphididae	<i>Phorodon humuli</i>	12	Lúpulo, ciruela
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Helicoverpa armigera</i>	13	Algodón, maíz, tomate
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Heliothis virescens</i>	14	Garbanzo, algodón, maíz, tomate
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Spodoptera littoralis</i>	16	Alfalfa, algodón, papa, hortalizas
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Plutella xylostella</i>	2	Crucíferas

Fuente: Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. Disponible en: <http://www.pesticideresistance.org/search.php>

La resistencia de insectos a proteínas insecticidas no es específica de los cultivos Bt. La aspersión de insecticidas formulados a base de Bt en una amplia variedad de cultivos, presenta un riesgo equivalente o mayor de desarrollo de resistencia debido a las altas dosis y al uso irracional de estos productos (Roush, 1994).

Los factores que contribuyen al desarrollo de resistencia en insectos a los cultivos que expresan proteínas Bt, son los mismos factores que afectan el desarrollo de resistencia a los insecticidas convencionales, tales como:



- La naturaleza, eficacia y modo de empleo del producto para cultivos Bt.
- Nivel de expresión (dosis requerida para controlar todos o la mayoría de los insectos heterocigotos, de tal manera que la resistencia es un fenómeno funcionalmente recesivo).
- Superficie sembrada con cultivos Bt en un área determinada.
- Genética de la resistencia (frecuencia inicial de alelos de resistencia, grado de dominancia de dichos alelos, costo fisiológico de la resistencia).
- Comportamiento de los insectos (movimiento y reproducción).
- El modo en el que los insectos se mueven entre los cultivos Bt y convencionales determina el nivel de exposición de los insectos a la toxina Bt, así como la probabilidad de cruzamiento entre insectos resistentes y susceptibles.

Los estudios científicos indican que los alelos para un alto nivel de resistencia a las proteínas Bt son básicamente recesivos (Gould *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 1999; Tabashnik, 1994; Tabashnik *et al.*, 2000). Por lo tanto para que un insecto sea totalmente resistente a Bt, debe ser homocigoto para el alelo de resistencia y se ha observado que la frecuencia de alelos de resistencia es relativamente baja en las poblaciones de insectos (EPA, 2001).

La resistencia puede y ha evolucionado a todas las formas de manejo de plagas, incluyendo las herramientas químicas, biológicas y culturales, y no es una preocupación única a los cultivos GM. Sin embargo, los beneficios de las características GM de protección contra insectos se consideran tan valiosas que los proveedores de la tecnología y otros actores involucrados han puesto especial énfasis en prolongar su durabilidad retrasando la tasa de desarrollo de la resistencia en los insectos blanco. Se dispone de múltiples tácticas para preservar la durabilidad de las tecnologías de manejo de insectos, incluyendo el uso de la tecnología solo contra las poblaciones de plagas económicamente más dañinas, alternando entre diferentes tácticas de control, o integrando múltiples tácticas en un programa de manejo de plagas (CropLife, 2012).

El objetivo del manejo de la resistencia es retrasar la evolución de la resistencia en las poblaciones de la plaga expuestas a la herramienta de control, por lo que el plan de manejo de resistencia (MRI) deberá constituirse con las técnicas disponibles (CropLife, 2012):

- Alta dosis/refugio
- Monitoreo de los predios y aplicación de insecticidas acorde a las necesidades.
- Rotación de insecticidas con diferente modo de acción.
- Uso de medidas de control suplementarias que otorguen un manejo adicional de plagas.
- Combinación dentro de una planta múltiples eventos que tengan como blanco las mismas plagas (pyramiding).
- Establecimiento de la línea base y monitoreo de susceptibilidad.
- Destrucción de los residuos de cosecha.

6.7.5. Manejo de la resistencia de insectos

El plan de manejo de resistencia de insectos que se implementará durante la liberación del algodón GLT en Chihuahua y la Comarca Lagunera durante el año 2018 y posteriores, se describe a continuación.

6.7.5.1. Alta dosis – refugio

La estrategia utilizada para el manejo de la resistencia de insectos en cultivos que expresan proteínas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), combina una expresión óptima de la proteína insecticida en las plantas transgénicas con el establecimiento en el cultivo de un porcentaje de plantas no transformadas que se constituyen en “refugio” para favorecer la presencia y multiplicación de insectos susceptibles. La proteína insecticida se expresa en las plantas transgénicas a un nivel suficiente para controlar los insectos blanco susceptibles así como los insectos blanco heterocigotos para el carácter de resistencia. El racional de esta estrategia es que cualquier insecto resistente homocigoto que aparezca en la población y sobreviva a la proteína insecticida tenga oportunidad de cruzarse con la población de insectos susceptibles relativamente alta que se multiplica en el refugio, produciendo descendencia de individuos susceptibles heterocigotos que pueden ser controlados por el cultivo transgénico.

El concepto de refugio considera que los alelos de resistencia se presentan a un nivel muy bajo (en el orden de 1 en 1000 o menor). A este nivel, la gran cantidad de insectos susceptibles producidos en el refugio pueden diluir cualquier eventual insecto resistente que se produzca en el algodón Bt (Gould *et al.*, 1997; Andow *et al.*, 2000).

En Chihuahua y la Comarca se implementará la opción de refugio 96:4, lo cual significa que por cada 40 ha sembradas con algodón GLT, el productor deberá sembrar 1.6 ha con variedades de algodón que no expresan proteínas de *Bacillus thuringiensis*, que podrán ser asperjadas con cualquier insecticida convencional, excepto biológicos a base de *Bacillus thuringiensis* y los insecticidas usados específicamente para el control de complejo bellotero y gusano rosado.

Las variedades de algodón a usar como refugio serán FiberMax 989 convencional y variedades GlyTol® LibertyLink® tolerantes a glufosinato de amonio, las cuales deberán sembrarse a una distancia no mayor a 0.8 km respecto al algodón GLT, pudiendo establecerse en diferentes configuraciones ([figura 31](#)).

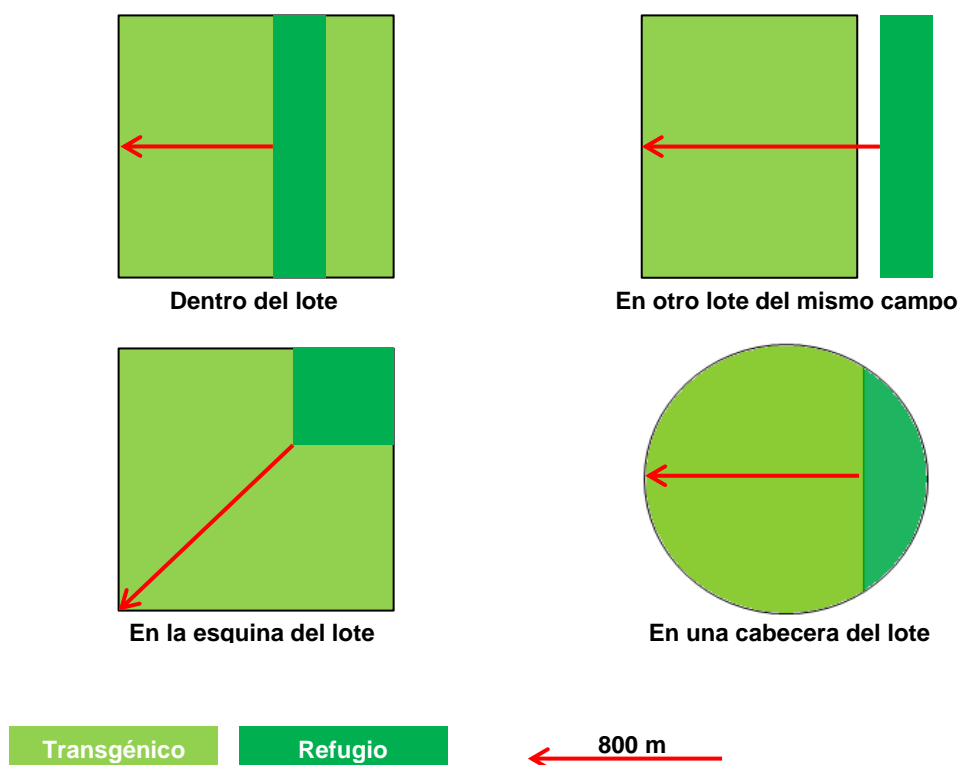


Figura 31. Configuración del refugio para algodón GLT.

6.7.5.2. Introducción de una segunda toxina insecticida

Otra estrategia importante para mejorar el control de insectos por proteínas Bt, al tiempo que retrasa la aparición de resistencia, consiste en introducir una segunda toxina insecticida, ya sea para alternar o bien combinar con la proteína insecticida original. Si la segunda proteína posee un mecanismo de acción suficientemente diferente al mecanismo de la primera, y además es por sí misma eficiente para controlar los insectos plaga, entonces los insectos deberán desarrollar dos modos diferentes de resistencia para sobrevivir a ambas toxinas. Este principio se cumple perfectamente en el algodón GLT que expresa las proteínas Cry1Ab y Cry2Ae.

En realidad esta estrategia no es una idea nueva. La mezcla de insecticidas convencionales, con el mismo objetivo, se ha realizado por muchos años, y estrategias similares se han empleado con herbicidas para el manejo de la resistencia en malezas. Intuitivamente parece razonable que tal estrategia permita retrasar el desarrollo de resistencia si los insectos blanco no pueden desarrollar un mecanismo que combata ambas toxinas simultáneamente (Tabashnik, 1989; Roush 1994).

Mediante modelos matemáticos Roush (1994; 1997) demostró que las mezclas de toxinas pueden retrasar de manera efectiva la aparición de resistencia a las toxinas individuales siempre que la mortalidad relativa del insecto susceptible sea mayor con dicha mezcla que la ocasionada por cada toxina individual y el carácter de resistencia sea recesivo. Para cultivos transgénicos, la estrategia más efectiva es aquella en la que ambas proteínas se expresan dentro de un mismo producto (efecto pirámide).

6.7.5.3. Línea base de susceptibilidad

Es el primer paso del programa de monitoreo de resistencia de lepidópteros a las proteínas insecticidas expresadas por el algodón biotecnológico, de manera que dichas poblaciones no hayan sido expuestas a presión de selección por la tecnología. Se realiza con el objetivo de obtener una dosis diagnóstica ($\mu\text{g/ml}$), mediante el ensayo de varias concentraciones de las proteínas en cuestión, evaluando las variables de respuesta: mortalidad, pérdida de peso y desarrollo del tercer instar. Esta dosis será el punto de partida para realizar el monitoreo de resistencia cada temporada y comparar la respuesta de las poblaciones de lepidópteros contra la de la colonia susceptible.

Durante el año 2014 se recolectaron larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en Aldama, Buenaventura y Cuauhtemoc, Chihuahua y de gusano soldado (*Spodoptera exigua*) en Torreón, Coahuila y Gómez Palacio, Durango. Los bioensayos para el establecimiento de la línea base están siendo desarrollados por el Dr. Concepción Rodríguez Maciel del Colegio de Postgraduados.

6.7.5.4. Monitoreo de resistencia

Una vez establecida la dosis diagnóstica, será posible monitorear la respuesta de las poblaciones de lepidópteros presentes en campo cada temporada y comparar contra una colonia susceptible mantenida en laboratorio, con el objetivo de detectar a tiempo cambios en su respuesta y tomar decisiones a tiempo sobre el manejo del cultivo.

Para monitorear efectivamente la frecuencia de alelos resistentes en una población de insectos es necesario contar con metodologías para detectar e identificar con precisión los raros individuos que poseen alelos de resistencia y además hacer un balance entre la precisión estadística requerida cuando se tienen bajas frecuencias de alelos resistentes, el costo del muestreo y la organización y labor requerida para un muestreo sistemático de diferentes poblaciones de insectos objetivo de la tecnología (Brent, 1986; Roush y Miller, 1986; Caprio, 1998).

Desde el año 1997, se han monitoreado las poblaciones de insectos lepidópteros blanco del algodón biotecnológico. Estos datos indican que después de 20 años de monitoreo no existe un cambio en la respuesta de las poblaciones de lepidópteros evaluados de las distintas regiones algodonerías en México (*Helicoverpa zea*, *Heliothis virescens*, *Spodoptera frugiperda*,



Spodoptera exigua y *Pectinophora gossypiella*); y continúan siendo susceptibles a las toxinas Cry1Ac y Cry2Ab expresadas en el algodón Bollgard y Bollgard® II (Aguilar-Medel *et al.*, 2007; Martínez-Carrillo *et al.*, 2005; Martínez-Carrillo, 2011; Nava-Camberos *et al.*, 2010; Rodríguez-Maciel *et al.*, 2010).

A partir de 2013, Bayer se unió al programa de monitoreo con la finalidad de ampliar el área de acción y generar información de la presencia de las plagas objetivo mediante la implementación de una metodología sistemática y validada por una institución de investigación. Actualmente el monitoreo se está realizando en: Valle de Mexicali, Sonoyta, Valle del Yaqui, Norte de Sinaloa, Comarca Lagunera, Camargo, Ojinaga, Aldama, Buenaventura, Janos, Valle de Juárez, Norte y Sur de Tamaulipas.

Con base en los resultados obtenidos en 2016, se concluyó que las poblaciones de campo de *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* y *Spodoptera exigua* continúan siendo susceptibles a las proteínas Cry1Ac y Cry2Ab de *Bacillus thuringiensis*.

Para el monitoreo de resistencia en algodón GLT, se implementará el protocolo “Monitoreo de resistencia de gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hübner) a proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis*”, en el cual se describe las especies a coleccionar, zonas de colecta, metodología de colecta, envío de material coleccionado y la metodología para realizar los bioensayos.

6.7.5.5. Monitoreo de sobrevivencia inusual

En caso de que se notifique una falla de control en campo, se implementará el “Protocolo de investigación de supervivencia inusual de plagas blanco”, en donde se describe la manera de responder ante este tipo situaciones.

Una vez notificado por el agricultor o técnico, el Representante Técnico de ventas (RTV) o Agrónomo de Desarrollo (AD) realizará una investigación inicial para identificar la magnitud de la cuestión y determinar si es necesaria la verificación del evento.

Cuadro 46. Información necesaria para investigación de supervivencia inusual.

Información de la empresa	Información del agricultor
Fecha de la investigación:	Nombre:
Nombre:	Dirección:
Dirección:	Ciudad/Estado/CP:
Ciudad/Estado/CP:	Número de teléfono de casa:
Número de teléfono de casa:	Número de teléfono celular:
Número de teléfono celular:	Número de licencia:
Correo electrónico:	Correo electrónico:
Fecha en que fue notificado el problema:	Nombre del predio:



Fecha de contacto a Salvador De la Cruz:	Coordenadas GPS:
Información de campo	Información del producto
Fecha de siembra:	Variedad TwinLink®:
Densidad de siembra:	
Tipo de sembradora: ¿Se limpió la sembradora antes de la siembra?	Área involucrada (hectáreas):
Cultivo previo:	Clima/Condiciones del suelo/Historia:
Insecticidas usados, dosis y método de aplicación:	Plagas primarias causando daño:
Herbicidas usados, dosis y método de aplicación:	Otros insectos causando daño:
	Enfermedades observadas:
Otras notas:	

El protocolo de investigación responderá a las preguntas sobre las plagas blanco de la tecnología, umbrales de daño, patrones de daño y presencia de la tecnología TwinLink® en el cultivo de algodón antes de considerar el desarrollo de resistencia como una posibilidad.

En caso de que la resistencia sea una posibilidad, se le explicará al productor la situación y se recomendará realizar una aplicación de algún insecticida autorizado, dejando un área sin tratar para realizar la colecta y envío de larvas al laboratorio de entomología del Colegio de Postgraduados en dónde se realizarán los bioensayos correspondientes siguiendo el protocolo “Monitoreo de resistencia de gusano bellotero (*Helicoverpa zea* Boddie), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) y gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hübner) a proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis*”.

6.7.5.6. Capacitación.

Los agricultores cooperantes serán capacitados en materia de bioseguridad de organismos genéticamente modificados y en manejo de resistencia de insectos, con el objetivo de que conozcan la importancia de la siembra y manejo del refugio, así como otras prácticas que contribuyan a retrasar el desarrollo de la resistencia de insectos. En el se adjunta el folleto de “Manejo responsable de algodón genéticamente modificado en México”, el cual se entrega a los agricultores al momento de las capacitaciones.

6.7.5.7. Uso de otras prácticas.

Adicionalmente se comunicará claramente a los productores cooperantes que el algodón GLT no debe ser considerado una solución completa a los problemas de lepidópteros plaga. Esto significa, que se deberán utilizar otras prácticas como: rotación de cultivos en caso de que sea posible, manejo de fechas de siembra, buen control de malezas, manejo adecuado de la fertilización, destrucción de residuos de cosecha, inspección de las parcelas para detectar poblaciones de insectos blanco y aplicación suplementaria de insecticidas cuando se alcancen los umbrales de daño económico.

6.8. Conclusión

Con base en la información presentada, se puede concluir que el algodón con tecnología **GlyTol® TwinLink® (GLT)** no es tóxico para organismos no blanco como mamíferos (ratones), especies acuáticas (dafnias) degradadores del suelo (colémbolos, lombrices de tierra) e insectos benéficos como depredadores, parasitoides y polinizadores (abejas), no posee características para convertirse en maleza y se comporta agronómica y fenotípicamente de manera similar al algodón convencional, no presenta un riesgo de flujo génico diferente al algodón convencional, y las plantas voluntarias que logren sobrevivir a las condiciones ambientales adversas serán eliminadas mediante la implementación de monitoreos en las carreteras y caminos de las zonas agrícolas de Chihuahua y la Comarca Lagunera.

El algodón **GLT** no está exento de que las plagas blanco desarrollen resistencia, por lo que para retrasar su aparición se utilizan estrategias de manejo integrado de plagas (MIP), basadas en la expresión de varias proteínas insecticidas en la misma planta con diferentes mecanismos de acción y sitios de unión específicos para cada proteína en el intestino de los insectos blanco, la siembra de algodón que no expresa proteínas de *Bacillus thuringiensis* como áreas de “refugio” y la alta expresión de proteínas insecticidas, lo que hace de la tecnología GLT una excelente herramienta que contribuye a la estrategia de retrasar el desarrollo de resistencia en los insectos blanco. De la misma manera, el desarrollo de resistencia de maleza a herbicidas será manejado mediante la implementación de diferentes prácticas de manejo integrado, cuyo principio fundamental es la diversidad en las prácticas de cultivo y en el uso de herbicidas con modos de acción diferentes y un espectro de control complementario.

El algodón GLT es una herramienta muy valiosa en el manejo integrado del cultivo de algodón y ofrece diversas ventajas en comparación con las alternativas tecnológicas, entre las cuales se puede destacar la reducción del uso de agroquímicos utilizados en el control de insectos y maleza y el uso de herbicidas e insecticidas con menor impacto ambiental.

g) Literatura consultada.

- Andow, D. A. 2008. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops Collection of Biosafety Reviews. Vol. 4: 142-199.
- Bravo A, Gómez I, Conde J, Muñoz-Garay C, Sánchez J, Miranda R, Zhuang M, Gill SS, Soberón M. Oligomerization triggers binding of a *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab pore-forming toxin to

- aminopeptidase N receptor leading to insertion into membrane microdomains. *Biochim Biophys Acta* 2004; 1667: 38-46.
- Brookes, G. and Barfoot. 2015. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2013. CropLife, 2012. Implementación del Manejo Integrado de Malezas para los Cultivos Tolerantes a Herbicidas. CropLife Internacional.
- CropLife, 2012. Enfoques prácticos del Manejo de la Resistencia de los Insectos para los Cultivos Derivados de la Biotecnología. CropLife Internacional.
- Culpepper, A. S. and A. C. York. 1998. Weed management in glyphosate-tolerant cotton. *J. Cotton Sci.* 2:174-185.
- Dotray, P. A., J. W. Keeling, C. G. Henniger and J. R. Abernathy. 1996. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and devil's-claw (*Proboscidea louisianica*) control in cotton with pyriithobac. *Weed Tech.* 10:7-12.
- EPA, 2001. *Bacillus thuringiensis* (Bt) Plant Incorporated Protectants. Biopesticides Registration Action Document. U.S. Environmental Protection Agency.
- Esqueda, E.V. A., Zita, P.G.A., Rosales, R. E. 2011. Resistencia a herbicidas. XXXIV Congreso Mexicano de la Ciencia de la Maleza - IV Simposio Internacional de Resistencia y Tolerancia a Herbicidas (ASOMECIMA).
- FAO, 2012. Directrices sobre la Prevención y Manejo de la Resistencia a los Plaguicidas. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas.
- Ferré, J., Real, D.M., Van Rie, J., Jansens, S., and Peferoen, M. 1991. Resistance to the *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide in a field population of *Plutella xylostella* is due to a change in a midgut membrane receptor. *Proc Nat Acad Sci, USA* 88:5119-5123.
- Gould, F., Anderson, A., Jones, A., Sumerford, D., Heckel, D.G., Lopez, J., Micinski, S., Leonard, R. & Laster, M. 1997. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94: 3519–3523.
- Greene, J.K.; Scott Bundy C.; Phillip M. Roberts; Roger Leonard, B. 2006. Identification and management of common boll-feeding bugs in cotton. Clemson University, Louisiana State University, New Mexico State University and the University of Georgia. Cotton Incorporated.
- Hake, K.D.; Kerby, T.A.; S. Jonson Hake; W. Bentley; P.B. Goodell, and R.N. Vargas. 1996. Cotton crop problems. In Cotton production manual, S. Jonson Hake; Kerby, T.A.; Hake, K.D. (Editors). University of California. Division of Agriculture and Natural Resources.
- Heap, I. 2015. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Disponible en: <http://weedsscience.org/?aspxerrorpath=/summary/%20home.aspx/>
- Herrera, A.J.L., López, L.F., Valenzuela, P.J.A., Machain, L.M. 1988. Guía para producir algodón en el Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado. INIFAP "Campo Experimental Mexicali" CIR – Noroeste.
- Herrera Andrade, J.L.; Guzmán Ruiz, S.C.; Loza Venegas, E. 2010. Guía para producir algodón en el Valle de Mexicali, B.C. y San Luis Río Colorado, Son. INIFAP-CIRNO. Mexicali, B.C.
- Lagunes, T. A. 1992. Perspectivas en el uso de insecticidas agrícolas en México, pp. 1-22. In A. Lagunes y J. C. Rodríguez [eds.], Temas selectos de manejo de insecticidas agrícolas. Volumen I. Colegio de Postgraduados. México.
- Liu, Y.B., Tabashnik, B.E., Dennehy, T.J., Patin, A.L. & Bartlett, A.C. 1999. Development time and resistance to Bt crops. *Nature* 400: 519.
- Machain L. M.; Diaz Talamante, F.; Guzman Ruiz, S. 1988. Guía para producir algodón en el Valle de Mexicali. INIFAP Campo Agrícola Experimental Valle de Mexicali.



- Martínez, C.J.L. 2004. Evolución del algodón transgénico en México. VII congreso Internacional en Ciencias Agrícolas UABC.
- Martínez, C.J.L.; Pacheco, C.J. 2004. Guía para el manejo de insecticidas contra plagas del algodón en el sur de Sonora. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Son.
- Martínez, C.J.L.; Pacheco, C.J. Hernandez J. A. 2002. Manejo Integrado de plagas del algodón en el sur de Sonora. Folleto técnico No.46. INIFAP. CIRNO. 69 pp.
- Niles, G.A. and Feaster, C.V. 1984. Cotton Agronomy No. 24, P. 205, Soil Science Society Of America, Inc. (Kohel, R.J. and C.F. Lewis, Eds.), Wisconsin, USA.
- Pacheco, M. F. 1994. Plagas de los cultivos oleaginosos en México. INIFAP - Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO).
- Paulsgrove, M. D., W. L. Barker and J. W. Wilcut. 2005. Bromoxynil-resistant cotton and selected weed response to mixtures of bromoxynil and pyriithiobac. Weed Tech. 19:753-761.
- Perlak, F. J., R. W. Deaton, T. A. Armstrong, R. L. Fuchs, S. R. Sims, J. T. Greenplate, and D. A. Fischhoff. 1990. Insect resistant cotton plants Bio Technology. 8: 939-943.
- Perlak, J. F., M. Oppenhuizen, K. Gustafson, R. Voth, S. Sivasupramaniam, D. Heering, B. Carey, R. A. Ihrig, and J. K. Roberts. 2001. Development and commercial use of Bollgard® cotton in the USA early promises versus today's reality. The Plant J. 27: 489-501.
- PLM. 2014. Diccionario de especialidades agroquímicas. 16 Edición. Thomson PLM. México, D.F.
- Richardson, R. J., H. P. Wilson, G. R. Armel and T. E. Hines. 2006. Trifloxysulfuron plus pyriithiobac mixtures for broadleaf control in cotton. Weed Tech. 20:130-136.
- Rosales, R.E. 2013. Análisis del uso actual del algodón resistente a Glifosato en México. IV Simposio Internacional de Resistencia y Tolerancia a Herbicidas.
- Rosales, R.E., T. Medina C., E. Contreras C., L.M. Tamayo E. y V. Esqueda E. 2002. Manejo de maleza en maíz, sorgo y trigo bajo labranza de conservación. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Folleto Técnico 24. Tamaulipas, México. 81 pp.
- Rosales, R.E., Medina, C.T. 2008. Manejo de maleza en cultivos básicos. Memoria XXIX Congreso de la ASOMECIMA A.C. Tapachula, Chiapas, México.
- Rosales, R. E., Sánchez, D. R. 2010. Manejo de maleza en algodón en el norte de Tamaulipas. INIFAP "Campo Experimental Río Bravo".
- Rosales, R. E., Esqueda, E. V.A. 2013. Cultivos genéticamente modificados con resistencia a herbicidas. Avances en el manejo y control de malezas en México. ASOMECIMA 66-82.
- Roush, R.T. and Miller, G.L. 1986. Considerations for design of insecticide resistance monitoring program. Journal of Economic Entomology, 79, 293J298.
- Sauka, D.H., Benintende, G.C. 2008. *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. Revista Argentina de Microbiología 40: 124-140.
- Tabashnik, B.E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annu Rev Entomo 39:47-79.
- Tabashnik, B.E., Patin, A.L., Dennehy, T.J., Liu, Y.B., Carriere, Y., Sims, M.A. & Antilla, L. 2000. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* in field populations of pink bollworm. Proc. Natl. Acad. Sci. U S A 97: 12980-12984.
- Terán-Vargas, A. P. 1996. Insecticide resistance of tobacco budworm in the Southern Tamaulipas, México, pp. 784-786. In Proc. Beltwide Cotton Conference, 9-12 January 1996, Nashville, TN. National Cotton Council of America, Memphis, TN.



- Valverde, M.B. E., Heap, I.M. 2009. El estado actual de la resistencia a herbicidas en el mundo. Seminario Internacional: Diagnóstico y manejo de la resistencia a herbicidas Serie Actas INIA; No. 44).
- Vargas, C. J. E., F. Villarreal, y E. Salgado. 1979. Líneas de algodón resistente al ataque del complejo bellotero *Heliothis* spp en el sur de Tamaulipas. Agríc. Tec. M ex. 5: 11-19.
- Vaeck M, Reynaerts A, Höfte H, Jansens S, De Beuckeleer M, Dean D, et al. Transgenic plants protected from insect attack. Nature 1987; 328: 33-7.
- Yu, S.J.2008. The toxicology and biochemistry of insecticides. CRC Press, Boca Raton, FL.