

2E5.
19

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE CIENCIAS

BIOPLAGUICIDAS: UNA ALTERNATIVA PARA EL
DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA
AGRICULTURA EN MEXICO. EL CASO DE
Bacillus thuringiensis (Bt)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G A
P R E S E N T A :
ADRIANA BRISEÑO GARZON

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE LUIS SOLLEIRO REBOLLEDO

1999

277293

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA

MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis "Bioplaguicidas: Una alternativa para el Desarrollo Sustentable de la Agricultura en México. El caso de Bacillus thuringiensis (Bt)"

realizado por **Adriana Briseño Garzón**

con número de cuenta **9550388-4**, pasante de la carrera de **Biología**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio

Atentamente

Director de Tesis **Dr. José Luis Solleiro Rebolledo**

Propietario M. en Biotecnología **María Isabel Saad Villegas**

Propietario Biól. **Ramón Alfredo Núñez Palacios**

Suplente M. en Ciencias **Beatriz Coutiño Bello**

Suplente M. en Ciencias **Ariel Rojo Curiel**

Consejo Departamental de **Biología**

DRA. LIDNA MARIA SUAREZ DIAZ

DEPARTAMENTO DE
BIOLOGÍA

*El enjambre tecnológico no es nada
si no sirve para hacer mejor la vida,
si no abarca los hallazgos que hacen falta
para hacer que nadie falte a la comida*

*Si no logra descifrar a corto plazo
los extremos más intensos del matiz,
si no puede calibrar bien el trabajo
para hacer otro proyecto de país*

G. Briseño

ÍNDICE

	Pg.
INTRODUCCIÓN	1
I. AGRICULTURA SUSTENTABLE	4
1.1 SUSTENTABILIDAD	4
1.2 ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE	7
1.2.1 Modelos de crecimiento económico.....	9
1.2.2 La Revolución Verde.....	10
1.2.3 Problemas derivados de la Revolución Verde.....	11
1.3 EL CONCEPTO DE AGRICULTURA SUSTENTABLE	12
1.3.1 Objetivos de la agricultura sustentable.....	15
1.4 IMPACTO AMBIENTAL DE LA AGRICULTURA	15
1.5 AGRICULTURA ORGÁNICA Y CONOCIMIENTO TRADICIONAL	17
1.5.1 Sistemas agrícolas predominantes en el Siglo XX.....	20
1.6 SEGURIDAD ALIMENTARIA	20
1.7 FACTORES PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE	23
1.7.1 Actividades internacionales.....	23
1.7.2 Políticas nacionales.....	24
1.7.3 Granjas y productores	25
1.7.4 Investigación agrícola	25
1.8 TECNOLOGÍAS PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE	26
1.8.1 La Biotecnología y la agricultura sustentable.....	27
1.9 ACUERDOS INTERNACIONALES COMO ANTECEDENTES DE LOS PLANES PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA AGRICULTURA	29
II. LA AGRICULTURA EN MÉXICO	35
2.1 BREVE HISTORIA DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO	37
2.1.1 Antecedentes prehispánicos de la agricultura	37
2.1.2 Antecedentes españoles.....	37
2.1.3 La Independencia de México	38

2.1.4	El porfiriato	39
2.1.5	Desarrollo de la agricultura después de la Revolución.....	41
2.1.6	Situación actual de la agricultura mexicana.....	43
2.2	ASPECTOS BÁSICOS NECESARIOS PARA LOGRAR UN SISTEMA SUSTENTABLE DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MÉXICO.....	47
2.3	RETOS DEL SECTOR AGROPECUARIO EN LA ACTUALIDAD.....	48
III.	PLAGUICIDAS.....	51
3.1	LAS PLAGAS Y EL HOMBRE.....	51
3.1.1	¿Qué es y cómo prolifera una especie plaga?	52
3.1.2	Consecuencias de la actividad de poblaciones plaga.....	53
3.2	EL CONTROL BIOLÓGICO A LO LARGO DE LA HISTORIA	54
3.2.1	Clasificación de los métodos de control.	55
3.3	PLAGUICIDAS QUÍMICOS: UN ARMA PELIGROSA.....	57
3.3.1	Insecticidas sintéticos.	58
3.4	CLASIFICACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS QUÍMICOS.....	58
3.5	PATRONES DE USO DE LOS PLAGUICIDAS MODERNOS.....	60
3.5.1	Uso agrícola.	60
3.5.2	Silvicultura	61
3.5.3	Usos sanitarios.....	61
3.5.4	Uso en el hogar	62
3.5.5	Productos almacenados.....	62
3.5.6	Sector pecuario.....	62
3.5.7	Otros usos.....	63
3.6	EFFECTOS DEL MAL USO DE LOS PLAGUICIDAS.....	63
3.6.1	Crecimiento de las poblaciones de plaga.	63
3.6.2	El balance natural	64
3.6.3	Dispersión y transformaciones químicas y bioquímicas	65
3.6.4	Crisis en el ambiente físico.....	66
3.6.5	Contaminación de alimentos.....	67
3.6.6	Efectos en la salud humana	68
3.7	EL BOOM DE LOS PLAGUICIDAS.....	69
3.8	LA NECESIDAD DE BUSCAR ALTERNATIVAS	70

IV. BIOPLAGUICIDAS: UNA FORMA DE CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS (CBP)	73
4.1 CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS (CBP)	73
4.1.1 Breve historia del CBP.....	73
4.1.2 Características generales del CBP.....	75
4.1.3 Clasificación de los enemigos naturales de insectos y algunos ejemplos.....	75
4.1.4 Ventajas del CBP.....	76
4.1.5 Claves para el éxito del CBP.....	77
4.2 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BIOPLAGUICIDAS	77
4.3 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)	80
4.3.1 Características generales del MIP.....	81
4.3.2 Herramientas del MIP.....	82
4.4 METAS DEL MIP	82
4.5 IMPORTANCIA DE LA DIFUSIÓN DE MECANISMOS BIOLÓGICOS PARA EL CONTROL DE PLAGAS Y PROFESIONALES DEMANDADOS EN ESTA ÁREA	82
V. BIOPLAGUICIDAS <i>Bt</i>	84
5.1 DESCRIPCIÓN E HISTORIA	84
5.2 MECANISMOS DE ACCIÓN	86
5.3 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN	90
5.3.1 Cepas de <i>Bt</i> hiperproductoras.....	93
5.3.2 Formulación de plaguicidas <i>Bt</i>	94
5.4 PRODUCTOS COMERCIALES BASADOS EN <i>Bt</i>	95
5.5 PLANTAS TRANSGÉNICAS PRODUCTORAS DE TOXINAS <i>Bt</i>	98
5.6 NUEVOS SISTEMAS DE LIBERACIÓN DE LAS TOXINAS DE <i>Bt</i>	102
5.7 DESARROLLO DE RESISTENCIA A LAS TOXINAS DE <i>Bt</i>	104
5.8 PERSPECTIVAS DEL USO DE PRODUCTOS <i>Bt</i>	106
5.9 ASPECTOS COMERCIALES Y DE MERCADO DE LOS PLAGUICIDAS <i>Bt</i>	107
5.9.1 Compañías líderes en el mercado de productos <i>Bt</i>	107

5.9.2 Mercado internacional de <i>Bt</i> y sus tendencias.....	108
5.10 PANORAMA DE LA INVESTIGACIÓN DIRIGIDA A <i>Bt</i> EN MÉXICO ...	109
5.11 MARCO JURÍDICO Y NORMATIVO RELACIONADO CON EL USO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE <i>Bt</i>	110
5.11.1 Propiedad Industrial (patentes).....	110
5.11.2 Organismos Federales encargados de la certificación y regulación del uso y comercialización de plaguicidas.	111
5.11.3 Normas mexicanas relacionadas con el uso de insumos fitosanitarios <i>Bt</i>	112
5.12 MERCADO DE PLAGUICIDAS <i>Bt</i> EN MÉXICO.....	113
5.12.1 Importaciones nacionales de <i>Bacillus thuringiensis</i>	115
5.12.2 Productos <i>Bt</i> comercializados en México.....	116
VI. CONCLUSIONES. EL BIÓLOGO Y LA AGRICULTURA SUSTENTABLE	118
ANEXO 1	129
ANEXO 2.....	132
ANEXO 3.....	140
VII. BIBLIOGRAFÍA	147

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Algunas definiciones del término "sustentabilidad"
- Tabla 2.** Cambios en la población mundial
- Tabla 3.** Cambios en el producto interno bruto (PIB) para el Tercer mundo, 1950-1975
- Tabla 4.** Sistemas agrícolas predominantes en el Siglo XX
- Tabla 5.** Estructura de la superficie continental de los Estados Unidos Mexicanos según tipo de clima
- Tabla 6.** Uso de suelo en México
- Tabla 7.** Distintas clasificaciones de los plaguicidas
- Tabla 8.** Efecto de plaguicidas organofosforados sobre el comportamiento poblacional del ácaro de la fresa, *Steneotarsinemus pallidus*
- Tabla 9.** Lista de compañías que producen, compran y venden plaguicidas peligrosos en el Tercer Mundo
- Tabla 10.** Lista de algunos de los bioplaguicidas registrados por la EPA
- Tabla 11.** Ejemplos de bioplaguicidas y su clasificación
- Tabla 12.** Grupos de organismos contra los que se han detectado
- Tabla 13.** Principales productos comerciales basados en las toxinas producidas por *Bacillus thuringiensis*
- Tabla 14.** Plantas transgénicas aprobadas en Estados Unidos
- Tabla 15.** Microorganismos que han sido usados como hospederos alternativos para la clonación de genes cry de *Bacillus thuringiensis*
- Tabla 16.** Posibles estrategias
- Tabla 17.** Experiencia de diferentes instituciones mexicanas en la investigación dirigida a *Bt*
- Tabla 18.** Información oficial sobre los bioplaguicidas formulados con *Bacillus thuringiensis* según la CICOPLAFEST
- Tabla 19.** Principales cultivos agrícolas mexicanos de exportación, con posibilidad a tratamiento con *Bt*
- Tabla 20.** Importaciones de la fracción arancelaria 38 08 30.02, entre 1991 y 1994
- Tabla 21.** Productos *Bt* comercializados en México

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento histórico de la población mundial

Figura 2. Tasa de crecimiento anual promedio de la población mundial a lo largo del tiempo

Figura 3. Cambios en la producción de alimentos *per capita* entre 1964 y 1986

Figura 4. Estructura del valor de la producción de granos básicos en México (1995)

Figura 5. PIB agropecuario por habitante. México, 1970-1993

Figura 6. Parásitos emergiendo de una pupa de mariposa

Figura 7. Sección de *Bacillus thuringiensis* durante el proceso de esporulación; se muestra la espora oval y el cuerpo cristalino parasporal

Figura 8. Representación en forma de listones de la toxina de *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*

Figura 9. Proceso básico para la producción de bioplaguicidas basados en *Bacillus thuringiensis*

Figura 10. Plantas transgénicas aprobadas en Estados Unidos, 1992-1999 (a. Por cultivo; b. Por modificación)

Figura 11. Liberaciones al campo de plantas transgénicas. Categorías más frecuentes (1987-1999).

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene el objetivo de brindar una perspectiva general y actual de una de las tareas más importantes que se ha propuesto el hombre en las últimas décadas, destacando la participación del biólogo en dicha actividad: asegurar la existencia futura de los recursos naturales de los cuales depende no sólo la especie humana sino todos los seres vivos que habitamos en el planeta Tierra, al mismo tiempo que se satisfacen las necesidades alimenticias de una población en continuo crecimiento; es decir, nos enfrentamos hoy en día al reto de elaborar modelos para el desarrollo sustentable de la humanidad, en los cuales se busca la participación de todos los sectores de la sociedad.

La presente tesis se elaboró a partir de la búsqueda, análisis e integración de información bibliográfica relacionada con dos elementos centrales: la sustentabilidad agrícola y los bioplaguicidas derivados de *Bacillus thuringiensis* como una alternativa para el desarrollo de las actividades agrícolas en México. El trabajo está estructurado en seis capítulos, a lo largo de los cuales se abordan temas como agricultura sustentable; la agricultura en México; plaguicidas; bioplaguicidas y Control Biológico de Plagas; productos *Bt*, y la importancia de la participación del biólogo en la búsqueda de alternativas para el control de plagas.

Este trabajo fue desarrollado en el contexto del proyecto internacional CamBioTec, y forma parte integral del mismo. La Iniciativa CamBioTec es una red de colaboración financiada por el International Development Center de Canadá, cuyo objetivo principal es promover la introducción de aplicaciones y productos biotecnológicos en áreas prioritarias de los sectores agroalimentario y ambiental de países latinoamericanos, bajo la idea de que la biotecnología puede contribuir de manera significativa a la práctica de una agricultura sustentable, y por lo tanto a mejorar la calidad del ambiente

La Iniciativa ha realizado ejercicios de planeación estratégica para la determinación de dichas áreas prioritarias en tres países de la región: Argentina, Colombia y México. Se ha establecido que es prioridad común para los tres países y probablemente para el resto de Latinoamérica, la aplicación de la biotecnología en el combate a las diversas especies plaga que afectan de manera significativa a las actividades agrícolas

La biotecnología ofrece técnicas y productos que reducen drásticamente los daños ambientales ocasionados por el uso irracional de plaguicidas sintéticos, y al mismo tiempo permite la competencia de las economías agrícolas en un mercado que exige cultivos de calidad, y cuya producción no genere más riesgos para la salud humana y animal, así como para el ambiente

Entre los productos biotecnológicos que representan una solución probada para controlar un amplio espectro de plagas que afectan múltiples cultivos importantes para México, están los bioplaguicidas formulados a partir de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Es por ello que dentro del marco de CamBioTec, se han realizado diversos estudios, incluyendo el presente, con la finalidad de difundir las ventajas del uso de estos productos y motivar a emprendedores e inversionistas a aplicar la biotecnología en esta área.

Las actividades agropecuarias son las que sustentan la mayor parte de la producción de alimentos a nivel mundial y son también las que históricamente han contribuido al deterioro de las condiciones ambientales y de los recursos naturales de los cuales dependen, ya que los esfuerzos internacionales dirigidos a elevar la productividad del campo, han ignorado la importancia de conservar el equilibrio ecológico en los sistemas agrícolas para asegurar la provisión de alimentos a las generaciones futuras, hasta fechas recientes.

Actualmente, los gobiernos de los países desarrollados y diversas organizaciones de cooperación internacional, intentan establecer las bases para la creación de nuevos sistemas de producción dentro del marco del desarrollo sustentable. Se busca también la participación activa de los países del Tercer Mundo como México, mediante el establecimiento de acuerdos internacionales, para lograr combatir problemas de interés común como la seguridad alimentaria, la pobreza, el deterioro de los recursos naturales, la disminución de la biodiversidad, etc.

Lo anterior resulta de gran importancia en países como el nuestro, en el cual las actividades agrícolas han desempeñado un papel primordial en la evolución histórica de la sociedad, y en donde el sistema agrícola actual se enfrenta a una crisis seria derivada de las malas políticas establecidas por los gobiernos, de las prácticas incorrectas de explotación de la tierra y del modelo de dependencia económica del que no nos hemos recuperado desde la época de la colonia española.

A partir de la implementación de las prácticas agrícolas de carácter intensivo, como el modelo de producción impulsado por la Revolución Verde después de la Segunda Guerra Mundial, se ha demostrado que si bien en un inicio el uso desmedido de insumos químicos como los plaguicidas sintéticos permitió elevar cuantitativamente la producción agrícola, en las últimas dos décadas se ha demostrado que en el largo plazo los efectos adversos de estos insumos son mayores que el beneficio que proporcionan.

Por este motivo, se han llevado a cabo en todo el mundo, investigaciones enfocadas a buscar alternativas sustentables para la elaboración de nuevos modelos de producción agrícola. Entre estas estrategias se encuentra la práctica de métodos de control biológico y de manejo integrado de plagas. El empleo de bioplaguicidas formulados a partir de microorganismos patógenos, representa uno de los mecanismos más exitosos en el combate a las poblaciones de insectos que año con año afectan la producción agrícola mundial de manera significativa, ya

que estos productos, dentro de los que cabe resaltar a los derivados de la bacteria Gram-positiva *Bacillus thuringiensis*, presentan una alta especificidad (alta toxicidad para especies blanco), seguridad ambiental (baja toxicidad para especies no blanco incluyendo al hombre y sus animales domésticos, baja permanencia en el ambiente) y compatibilidad con otros medios de control de plagas.

I. AGRICULTURA SUSTENTABLE

La búsqueda de paradigmas alternativos para el desarrollo de la población mundial, es una tarea que compete a toda la sociedad, incluyendo a los trabajadores del campo. La agricultura sustentable es uno de los puntos estratégicos para la sobrevivencia y el desarrollo de la especie humana, debido al gran número de personas involucradas en actividades agrícolas, a la cantidad de bienes implicados en dicha actividad y al efecto directo que ésta tiene sobre los recursos renovables y el medio ambiente.

La falta de leyes de mercado que garanticen un ambiente sano, hace necesaria la elaboración de modelos de desarrollo que tomen en cuenta el equilibrio ecológico y la diversidad cultural dado que el desarrollo económico ha ignorado históricamente una estrategia de conservación ecológica. Los esquemas y sistemas de producción y desarrollo que se han aplicado durante la historia reciente de la humanidad, por ejemplo la agricultura intensiva, han tenido efectos adversos importantes sobre el ambiente (erosión del suelo, contaminación de agua y aire, disminución de la biodiversidad, etc.), de las cuales dependen de una u otra manera los mismos modelos de desarrollo, al carecer en sus planteamientos y mecanismos de acción básicos, de un enfoque dirigido a la conservación de los recursos naturales renovables y no renovables.

1.1 SUSTENTABILIDAD

El término "sustentabilidad" tiene diversas acepciones, y si bien es empleado frecuentemente, es un concepto que aún se encuentra en proceso de construcción. Es importante señalar que la elaboración de estrategias y programas de acción para avanzar hacia el desarrollo de sistemas de producción sustentables, dependerá de la concepción que de dicho término se tenga. Pero la concepción más generalizada de "Desarrollo Sustentable", es la que propone garantizar la producción de hoy sin arriesgar la disponibilidad de recursos mañana (Torres, 1996).

Esta estrategia busca el mejoramiento de la calidad de vida de los pobres, tomando en cuenta la realidad social y medioambiental de los países en desarrollo para la formulación e implementación de programas adecuados, se fundamenta en la seguridad económica, la integridad ecológica y el mejoramiento la calidad de vida (Goldman, 1995).

Este nuevo paradigma mantiene y valora a los recursos naturales y humanos en los cuales se basa el desarrollo, y depende de la elaboración de políticas nacionales y regulaciones que incluyan en su campo factores ecológicos y culturales (Conway & Barbier, 1990)

Diversos encuentros y foros internacionales, y los documentos emanados de los mismos, han contribuido a la construcción del concepto de desarrollo sustentable. Entre los eventos y documentos que han sido de especial importancia para tal fin cabe mencionar: La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Estocolmo 1972); la Resolución de la Asamblea General de 1989; el Informe "Nuestro Futuro Común" elaborado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas; la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), conocida como la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992 y en donde se estableció oficialmente el término; el Foro Global de Organizaciones No Gubernamentales; la Conferencia Internacional de Agricultura Sustentable; Nuestra Propia Agenda (1990); los Tratados Alternativos de las ONG's (1992); la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible (1994); la Cumbre de las Américas (1994); la Declaración de Santa Cruz (1996); y el Foro Especial Río + 5 (marzo de 1992), entre otros. Estos eventos y documentos, han servido como punto de partida para la participación amplia y plural de todos los individuos que desean tomar parte en la construcción de un nuevo modelo de desarrollo, el cual se hace indispensable dada la inviabilidad del modelo actual.

Se han elaborado además, estrategias y programas orientados a proponer alternativas de desarrollo que concilien el crecimiento y el equilibrio ecológico, y aunque aún falta mucho por hacer, se han logrado avances en la toma de conciencia ecológica, siendo particularmente importantes la Agenda 21, el Convenio sobre Biodiversidad y la Carta de la Tierra.

Sin duda alguna, la idea de desarrollo sustentable en la actualidad, forma parte de diversas actividades humanas y no se encuentra restringida a ciertas áreas del conocimiento y de la investigación, ni a ciertas regiones; es de hecho, un concepto integral, interdisciplinario e internacional. Los temas Medio Ambiente y Modelos Sustentables, han pasado a ser del dominio mundial y requieren de la participación de todos los sectores de la sociedad; las estrategias de mejoramiento ambiental deben tener una aproximación sustentable, en particular para el caso de la agricultura y de la producción de alimentos (Torres, 1996).

La interdependencia de los sectores social, económico y político, así como la participación de actores rurales y urbanos, son necesarias para la formulación de planes y modelos de desarrollo alternativos. De igual manera, la participación internacional, pública y privada, así como la de la sociedad civil, son factores esenciales para asegurar la permanencia de cambios enfocados a la sustentabilidad.

Existe sin duda un gran número de definiciones para el término sustentabilidad, pero en todas ellas se reconoce a la naturaleza como soporte de la especie humana y la importancia de mantener la integridad de sus ciclos, ritmos y complejas interacciones, para lograr el uso de los recursos naturales en función de su vocación, colocando al ambiente y al desarrollo en un mismo plano.

Las principales definiciones del término “sustentabilidad” se resumen en la tabla 1

Tabla 1. Algunas definiciones del término “sustentabilidad”.

Característica de los modelos de desarrollo, que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. (Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo).
Propiedad de la economía que de manera equitativa provee de oportunidades para lograr un nivel de vida seguro, sano y de alta calidad, para presentes y futuras generaciones. (Consejo Presidencial para el Desarrollo Sustentable, EUA).
Permite que un proceso o estado se mantenga indefinidamente. (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).
Implica seguridad económica, integridad ecológica, calidad de vida y enriquecimiento con responsabilidad. (Elizabeth Kline, Universidad Tufts).
Conservación de recursos, producción no-tóxica, autosuficiencia local, escala apropiada, gobierno democrático, acceso al capital. (Centro para la Tecnología de Vanguardia, EUA).
Las tasas de uso de recursos renovables no exceden a las tasas de regeneración, las tasas de uso de recursos no renovables no exceden las tasas de desarrollo de sustitutos renovables, las tasas de emisión de contaminantes no exceden la capacidad de asimilación del medio ambiente. (Herman Daly, Universidad de Maryland).
Maximiza los beneficios del desarrollo económico, manteniendo los servicios y calidad del capital natural a lo largo del tiempo. (Comisión Europea).
Es un mandato: no nos debemos satisfacer mediante el empobrecimiento de nuestros sucesores; estamos obligados a dejar para el futuro, la capacidad generalizada de crear bienestar y no sólo una cosa en particular o un recurso natural. (Robert Solow, MIT).
Crecimiento económico, mercados abiertos y competitivos, regulaciones armonizadoras y bien dirigidas, eco-eficiencia, cooperación tecnológica, etc. (Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable, EUA).
Requiere de al menos una base constante de capital natural, entendido como el conjunto de todos los bienes ambientales (David Pearce, Universidad de Londres).
Respeto al aire, tierra y agua; respeto a la historia y cultura de la comunidad. Se incluye a las comunidades en las estrategias de desarrollo e implica crecimiento social (Proyecto para la Organización del Sudoeste, EUA).
La vía de desarrollo que maximiza los beneficios netos a largo plazo para la humanidad. (William Asscher & Robert Healy, Universidad Duke).
Los recursos naturales deben de utilizarse de tal forma que no se creen deudas ecológicas mediante la sobreexplotación de la capacidad productiva de la tierra (Jan Pronk & M. Haq, Programa de Desarrollo-ONU).

Fuente Goldman, 1995.

Concretamente, se entiende por sustentabilidad, a aquella propiedad de los modelos de desarrollo humano, que garantiza la conservación de los factores de los cuales depende dicho desarrollo para que las generaciones futuras puedan satisfacer sus necesidades. Dichos factores son diversos y de igual importancia, ya que si alguno faltara, el nivel de vida de las generaciones presentes y futuras se vería afectado

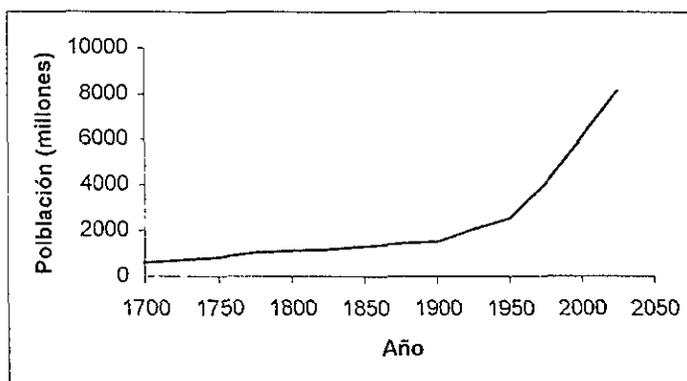
Entre estos factores se encuentran las oportunidades y la seguridad económicas, gobiernos democráticos, distribución equitativa de la riqueza, competitividad de mercados, políticas adecuadas, cooperación tecnológica, respeto a la historia y cultura de las comunidades, y por supuesto, conservación de los recursos naturales y de la integridad ecológica.

1.2 ANTECEDENTES DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Se considera a los avances logrados durante la Revolución Verde como un punto de partida significativo para el desarrollo actual del campo; nos encontramos en el estado de transición, en donde se tiene claro cuál es la meta final, pero aún se deben desarrollar e implementar en la práctica, vías y metodologías claras, lógicas y coherentes para alcanzarla.

El pensamiento sobre el desarrollo agrícola en los 60's y 70's, se enfocó al abastecimiento de alimento para una población mundial que crecía con rapidez (figura 1). En la tabla 2 y figura 2 se muestran las estadísticas relacionadas con el crecimiento mundial de la población humana a partir de los años 50's, publicadas por la organización no gubernamental Negative Population Growth.

Figura 1. Crecimiento histórico de la población mundial.



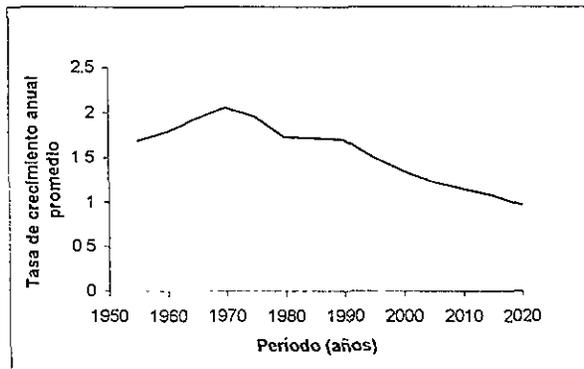
Fuente: Kidd & Pimentel, 1992.

Tabla 2. Cambios en la población mundial.

Período	Población Mundial Promedio	Tasa de Crecimiento Anual Promedio
1950-1954	2,639,119,887	1.68
1955-1959	2,889,012,587	1.78
1960-1964	3,147,511,969	1.92
1965-1969	3,486,914,992	2.05
1970-1974	3,860,294,346	1.95
1975-1979	4,231,371,168	1.72
1980-1984	4,610,752,707	1.71
1985-1989	5,019,286,630	1.69
1990-1994	5,442,837,517	1.50
1995-1999	5,845,972,248	1.34
2000-2004	6,234,025,827	1.22
2005-2009	6,613,320,593	1.14
2010-2014	6,991,360,275	1.07
2015-2019	7,358,879,390	0.96

Fuente: World Wide Web: http://npg.org/facts/world_pop_year.htm

Figura 2. Tasa de crecimiento anual promedio de la población mundial a lo largo del tiempo.



Fuente: World Wide Web: http://npg.org/facts/world_pop_year.htm

El problema del abastecimiento a la población creciente se solucionó con el incremento en la producción de alimento *per capita*, mediante la implementación de tecnologías adecuadas para medios ricos en recursos, prácticas de monocultivo, empleo irracional de fertilizantes y pesticidas e introducción de variedades resistentes, entre otras.

La Revolución Verde que resultó de estos modelos de producción, ha tenido un impacto dramático en los países en vías de desarrollo, dada la incompetencia de

dicho sistema para promover la equidad en la distribución de beneficios y sus fallas en asegurar estabilidad y sustentabilidad en la producción. Con el paso del tiempo se ha puesto de manifiesto que los efectos generados como consecuencia de la Revolución Verde, no son problemas de segunda o tercera generación que puedan ser resueltos mediante un ajuste tecnológico posterior, sino que se requiere de una solución igualmente revolucionaria y muy diferente tanto en concepto como en mecanismos de operación.

Como ya se mencionó, la solución de los problemas relacionados con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, no está restringida sólo a un sector de la sociedad o a un nivel determinado (local, regional, nacional o internacional), dado que los sistemas agrícolas no se encuentran aislados, sino interconectados de manera muy compleja, en todos los niveles.

1.2.1 Modelos de crecimiento económico

Las políticas implementadas durante los 50's y principios de los 60's de este siglo, estaban enfocadas hacia lograr un incremento en el crecimiento económico, lo cual se vio reflejado en un aumento real en las ganancias netas nacionales *per capita*, incluyendo a muchos de los países en vías de desarrollo. Entre 1950 y 1975, se registró un aumento en el producto interno bruto (PIB) en los países del Tercer Mundo en general, como se muestra en la tabla 3; sin embargo, los niveles de pobreza y desempleo siguieron incrementándose.

Tabla 3. Cambios en el producto interno bruto (PIB) para el Tercer Mundo, 1950-1975.

	PIB <i>per capita</i> 1950 (US\$)	PIB <i>per capita</i> 1975 (US\$)	% de crecimiento anual
Asia del Sur	85	132	1.7
África	170	308	2.4
América Latina	495	944	2.6
Asia del Este	130	341	3.9
China	113	320	4.2
Medio Oriente	460	1 660	5.2
Tercer Mundo en general	160	375	3.4

Fuente: Morawetz, D. 1977 *Twenty Five Years of Economic Development*, en Conway & Barbier, 1990.

Como respuesta a este problema, a finales de los 60's y principios de los 70's se impulsó la política de crecimiento económico con redistribución de los beneficios y ganancias, con la finalidad de elevar el nivel de vida de los grupos más pobres. La agricultura se volvió un sector prioritario debido a su potencial para eliminar la malnutrición y el hambre del mundo, además de ser una fuente de empleos. Por otro lado, se dejó claro que el problema de la pobreza no se solucionaría a menos que se cubrieran las necesidades básicas de estos grupos (nutrición, salud,

suministro de agua, vivienda, educación, etc.). Sin embargo en países como México, el desarrollo agrícola se ha subordinado históricamente a los objetivos de desarrollo industrial, perdiendo tanto productividad como competitividad.

Posteriormente, surgió el concepto de eco-desarrollo como una estrategia basada en la revaloración de los modelos tecnológicos tradicionales y en la recuperación de la importancia de las culturas locales; con el tiempo se llegó al de sustentabilidad, que es la idea más moderna en el campo del desarrollo.

1.2.2 La Revolución Verde

La agricultura intensiva moderna se fortaleció significativamente en los últimos 40 a 50 años como resultado de los avances tecnológicos y científicos que tuvieron lugar después de la Segunda Guerra Mundial. En esa época existía además una gran preocupación respecto al problema de la alimentación de una población mundial en rápido crecimiento. La Revolución Verde, impulsada principalmente por los Centros Internacionales de Investigación Agrícola (IARC's por sus siglas en inglés, IARC's), permitió que se incrementara la producción *per capita*, sin embargo el problema del hambre no se solucionó, sino que se incrementó. La Revolución Verde se basó esencialmente en cinco elementos:

- Programas de cultivo de variedades de cereales de rápida maduración, variedades insensibles a la duración del día y variedades de alto rendimiento.
- Organización, distribución y mayor uso de insumos como fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, medicinas veterinarias y otros aditivos no esenciales
- Mecanización creciente de la agricultura y consecuente reemplazo de la mano de obra humana y el uso de animales domésticos
- Prácticas de monocultivo.
- Implementación de estas innovaciones tecnológicas en las regiones no siempre agroclimáticamente favorables.

El impacto de este modelo en los países en desarrollo fue asombroso, la producción de alimentos (en particular cereales como el arroz y el trigo), se vio notablemente incrementada a partir de los años 60's. Se estima que entre una tercera parte y la mitad de la superficie destinada al cultivo de arroz en los países en desarrollo, está sembrada con variedades de alta productividad. Las aportaciones de la Revolución Verde permitieron que en los ocho países asiáticos que producen el 85 % del arroz de ese continente, se aumentaran 27 millones de toneladas a la producción anual gracias al cultivo de variedades de alta productividad, el uso de fertilizantes incrementó la producción en 29 millones de toneladas y la irrigación en 34 millones más

En México se conjugaron una serie de procesos, que dieron como resultado el fin de la etapa de producción extensiva desplegada en el curso de los años cuarenta y cincuenta, la cual agotó sus posibilidades a mediados de los sesenta, y abrió paso a la instauración de la fase intensiva basada en la elevación de la

productividad del trabajo agrícola mediante la mecanización y el uso inmoderado de insumos agrícolas (García, 1993).

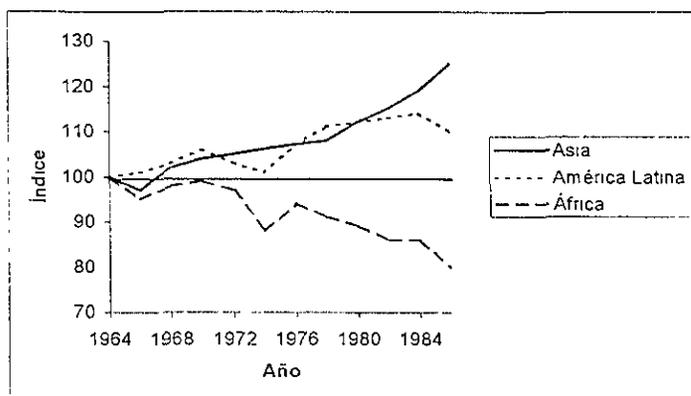
México obtuvo grandes avances de esta "intensificación" de la agricultura como resultado de la introducción de las nuevas variedades mejoradas de cereales principalmente; comparando la producción de los años 1945 a 1949, con la de los años 1968 a 1970, la de trigo aumentó más de 4.5 veces y la de maíz casi 3.5 veces. En el periodo comprendido entre 1968 y 1984, la producción de trigo se duplicó y la de maíz se incrementó en más de una 150%. Sin embargo, parte de los insumos que se usaron en esos cultivos eran y aún son de importación, como es el caso de plaguicidas, fertilizantes y maquinaria (Münch, 1992).

La producción de alimentos *per capita* en los países en desarrollo en general, se ha incrementado de manera importante a partir de la segunda mitad de la década de los 60's, como se muestra en la figura 3.

1.2.3 Problemas derivados de la Revolución Verde

Pese a los resultados observados en la producción de alimentos *per capita* a partir de los 60's, se ha asociado a este logro, una gran variedad de problemas relacionados con equidad, estabilidad, sustentabilidad, contaminación del medio ambiente y agotamiento de los recursos naturales. Ya para el inicio de los 70's, las hambrunas generalizadas por los problemas de sequía en diferentes regiones del mundo y la evidente crisis ambiental, cuestionaron a la Revolución Verde como una opción de lucha contra el hambre y se resaltaron sus efectos devastadores contra el medio ambiente.

Figura 3. Cambios en la producción de alimentos *per capita* entre 1964 y 1986.



Fuente. Adaptado de Conway & Barbier, 1990

Resulta evidente que el deterioro de los sistemas agrícolas se debió principalmente a la mala aplicación de las recetas de la Revolución Verde. Entre

los efectos más comunes que han resultado de dichas prácticas incorrectas, están el deterioro de la calidad del suelo y agua por abuso de la mecanización y mal manejo de agua de riego, mayor incidencia de plagas y enfermedades debido a las prácticas de monocultivo y al uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, elevados costos de producción y dependencia de combustibles fósiles, lo que redundó en la deforestación y desertificación del planeta; se estima que anualmente son destruidas 17 millones de hectáreas de selvas, las cuales serán transformadas en el mejor de los casos, en plantaciones de monocultivos y pastizales, cuando no se pierden los suelos por erosión (Calderón, 1993)

Asimismo, los problemas para el desarrollo de la agricultura, no sólo se deben a tecnologías inapropiadas, sino a la naturaleza de las políticas nacionales en función, la mayoría de las cuales ignoran al pequeño productor y a la degradación continua de los recursos naturales. Los sistemas de crédito, tenencia de la tierra y acuerdos comerciales, han tendido a favorecer la adopción de nuevas tecnologías por parte de grandes productores más que por pequeños productores (Conway & Barbier, 1990). Entre los acuerdos comerciales que han tenido un gran impacto sobre el desarrollo tecnológico del campo de los países en desarrollo particularmente, cabe mencionar a aquéllos impulsados por la Organización Mundial de Comercio (OMC), ahora Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD); esta organización integrada por 131 países, fue establecida en 1995 como resultado de las negociaciones de la Ronda de Uruguay y tiene como objetivos principales establecer acuerdos y normas que rijan las negociaciones comerciales entre países, dar solución a diferencias comerciales, establecer políticas nacionales e internacionales que garanticen un mercado equitativo para todos los agricultores, dar asistencia técnica y cursos de formación para países del Tercer Mundo, y estructurar acuerdos de cooperación con organismos internacionales

Los problemas y fallas derivados de la Revolución Verde han salido a la luz, y están siendo considerados en la formulación de nuevas políticas tanto nacionales como internacionales, que permitan la conservación de los recursos naturales en que se sustenta la agricultura.

1.3 EL CONCEPTO DE AGRICULTURA SUSTENTABLE

La elaboración de modelos de desarrollo enmarcados en el concepto de agricultura sustentable, ha llamado la atención de la comunidad en general

En primer plano cabe mencionar que el término "agricultura" se refiere al oficio, arte y ciencia de cultivar la tierra, al igual que las industrias primarias tradicionales como la silvicultura y la pesca, el recurso básico de la agricultura es el medio físico (Tivy, 1990). Etimológicamente la palabra agricultura proviene de las voces griegas *ager* que significa campo y *cultur* que se refiere al cuidado o cultivo el cultivo del campo. En sentido amplio la agricultura comprende toda la producción rural del campo, como lo son los cultivos, los bosques, el ganado, etc., en sentido

estricto el término se refiere exclusivamente a la producción de plantas cultivadas, aunque esto también incluye a las explotaciones no rurales como la hidroponía, aeroponía y la haponía, que son formas de producir cultivos sin suelo. Lo rural, identificado como lo ligado al campo, tiene como principal componente la actividad agrícola, el cultivo de plantas y de ganado, aves y colmenas; además contempla otras actividades productivas no estrictamente consideradas en la agricultura como la explotación forestal y la acuicultura (Calderón, 1993).

El término "Agricultura Sustentable", ha recibido muchas interpretaciones, las cuales dependen en gran medida, del contexto en el que nace dicha conceptualización:

Para agricultores e industriales, el término implica un deseo de consolidar y estructurar los avances de la Revolución Verde; para ellos, sustentabilidad y suficiencia alimentaria son equivalentes, y la agricultura sustentable puede emplear cualquier medio para lograr ese fin.

Para los biólogos, dichos medios son de gran relevancia; la agricultura sustentable, es una forma de proveer alimentos y fibras suficientes, mediante la conservación de los recursos naturales como agua, suelos y vida silvestre. Para nosotros, la sustentabilidad representa una responsabilidad con el medio ambiente y con las generaciones futuras, y una buena administración de nuestros recursos naturales.

Para los economistas, la sustentabilidad es eficiencia financiera, e implica el uso de recursos escasos de tal manera, que se beneficien tanto las generaciones presentes como las futuras.

Los sociólogos ven a la agricultura sustentable como el reflejo de los valores sociales. La definen como una vía de desarrollo relacionada con la cultura tradicional y con las instituciones.

Las diferentes y contrastantes interpretaciones, se han ido unificando con el paso del tiempo, tomando en cuenta que la sustentabilidad está dada en función del buen uso que se da a los recursos naturales del presente para satisfacer las necesidades de la población actual, asegurando su conservación para las generaciones futuras. En el discurso se ha promovido la agricultura sustentable de una manera bastante eficiente, y hoy se le acepta como una meta que debe ser incorporada en el diseño de nuevas políticas y programas de desarrollo.

Desafortunadamente, esta coalición de intereses, más que dar claridad al tema, ha provocado que los conceptos y definiciones se hagan aún más imprecisos.

La sustentabilidad determina la persistencia o durabilidad de la productividad bajo condiciones conocidas o posibles; es una función de las características intrínsecas del sistema, de la naturaleza y fuerza de los agentes que actúan sobre éste y de las actividades humanas con las que se relaciona. Se considera también

sustentabilidad agrícola como la habilidad para mantener la productividad tanto la de una parcela como la de una nación, frente a problemas como el incremento en la salinidad, la erosión del suelo o cualquier efecto acumulativo (Conway & Barbier, 1990).

El concepto de agricultura sustentable, va más allá de la conservación de los sistemas agroecológicos y de la preservación de los recursos naturales, dado que también considera la preservación de la cultura de los productores y la de los consumidores, entendiendo por conservación ecológica al esfuerzo deliberado impulsado por motivos múltiples, para evitar una degradación excesiva de los ecosistemas (Margalef, 1989).

Es un concepto holístico, es decir integral, dentro del cual cada uno de los componentes es de suma importancia y no se pueden entender de manera independiente; la agricultura sustentable se encuentra en íntima relación con el conjunto de la sociedad, con la seguridad alimentaria, con la dignificación de la vida rural y urbana, con el respeto a los derechos de las personas, con el mejoramiento ambiental, con la conservación y explotación de los recursos naturales, con la práctica del conocimiento empírico, etc.

La agricultura es sustentable cuando es ecológicamente adecuada, económicamente viable, socialmente justa, culturalmente apropiada y se fundamenta en un enfoque científico holístico. Preserva la biodiversidad, mantiene la fertilidad del suelo y la pureza del agua, mantiene y mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, recicla los recursos naturales y conserva energía, además de producir formas diversas de alimentos de alta calidad, fibras y medicinas.

La agricultura sustentable utiliza recursos renovables disponibles a nivel local, tecnologías apropiadas y accesibles y minimiza el uso de insumos externos y costosos, incrementando la independencia y autosuficiencia locales; asegura fuentes de ingresos estables para campesinos, pequeños productores rurales, granjas familiares y comunidades rurales e integra a los seres humanos al medio ambiente. Además, este modelo utiliza los avances de la ciencia moderna para integrarlos a la sabiduría tradicional acumulada a lo largo de los años por los productores y se da la importancia que merecen a los grupos de mujeres y niños (Tratado de las ONG's sobre agricultura sustentable)

En todos los casos, una agricultura sustentable requiere de consideraciones sobre el balance entre la sustentabilidad y otros objetivos del desarrollo entre y dentro de los diferentes niveles de los modelos. Las bases de la sustentabilidad del desarrollo de la agricultura dependerán del análisis de cada nivel dentro del sistema de producción agrícola, tanto de manera independiente, como en relación con los otros niveles

Se puede hablar de la necesidad de elaborar planes de sustentabilidad para el desarrollo de la agricultura en tres niveles principales: el internacional, enfocado al

comercio y el orden económico global; el nacional, dirigido a la creación de políticas y estrategias de gobierno adecuadas; y el nivel local, dedicado a satisfacer las necesidades de la población rural e impulsar su participación en las decisiones relacionadas con las actividades agrícolas.

Sin embargo, la sustentabilidad como criterio empleado para evaluar el desarrollo agrícola, debe tomar en cuenta otros parámetros que sirven como referencia para estimar el estado de los sistemas agrícolas, los cuales son la productividad, definida como la salida de producto por unidad de insumo externo (dicho de otra manera, mayor rentabilidad); estabilidad, o la constancia en la productividad frente a fuerzas externas resultado de las fluctuaciones normales y de los ciclos en el medio circundante; y la equitabilidad, entendida como la justa distribución de la productividad del sistema agrícola entre los beneficiarios humanos (Conway & Barbier, 1990).

1.3.1 Objetivos de la agricultura sustentable

Producción	Alta, eficiente y estable
Inversiones	Bajas y económicas
Técnicas aplicadas	Agricultura orgánica, conocimiento tradicional y huertos familiares, innovaciones amigables con la ecología de los sistemas de producción
Metas	Seguridad alimentaria, rentabilidad, autosuficiencia, conservación de la vida silvestre y de la biodiversidad, preservación de los valores tradicionales
Aspecto social	Responsabilidad con los más pobres y marginados como campesinos sin tierra, mujeres, niños y minorías indígenas, en términos de un pago justo por su trabajo Alto nivel de participación de la sociedad en las decisiones concernientes al desarrollo de las actividades agrícolas
Elaboración de programas y proyectos.	Niveles de compromiso y responsabilidad muy altos, dada la complejidad y la amplitud de metas que se pretende cubrir

Fuente: Elaboración propia.

1.4 IMPACTO AMBIENTAL DE LA AGRICULTURA

Se debe reconocer, que todo sistema agrícola y pecuario implica la perturbación de un sistema natural establecido y que la magnitud de dicho efecto dependerá de las condiciones ecológicas originales, de la superficie afectada, de la intensidad tecnológica usada en el sistema de cultivo, etc

Entre los efectos más comunes de las actividades agropecuarias sobre los ecosistemas, se puede citar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales

y subterráneos con residuos químicos y minerales, lo cual afecta directamente a las comunidades acuáticas tanto animales como vegetales; presencia de residuos tóxicos en alimentos; desarrollo de resistencia por parte de las plagas hacia el efecto de los plaguicidas; pérdida de suelo por erosión del mismo debido a la mecanización de las prácticas de arado y preparación del sustrato para la siembra; salinización del suelo por la intensa irrigación artificial, desertificación del paisaje por actividades relacionadas con el pastoreo y pérdida de la vida silvestre y la diversidad genética como resultado de todos los factores antes mencionados (Stiling, 1992; Carroll, *et al*, 1990).

La diversidad genética es una función derivada del número de genes y de las frecuencias genéticas dentro de una población dada, una población diversa genéticamente es aquella en la que hay diversas frecuencias; el tamaño de la población, las recombinaciones, el flujo génico, mutaciones, selección, deriva génica, cuellos de botella y la herencia no mendeliana, son algunos factores que determinan la diversidad genética de una población (Carroll, *et al*, 1990)

Los sistemas agrícolas son en realidad, sistemas ecológicos transformados por la actividad humana para producir alimentos y fibras; en esta transformación, la gran diversidad de vida silvestre de los sistemas originales se ve reducida a cultivos, plagas y malezas, lo que resulta en una fisonomía semejante a la de los sistemas ecológicos en fases incipientes.

Al iniciar las actividades agrícolas se busca encontrar un equilibrio entre las variedades que se desean cultivar y el hábitat físico, es entonces cuando se crea un tipo particular de ecosistema, en el cual el agricultor es una variable ecológica esencial que determina la composición, la funcionalidad y la estabilidad del sistema conocido como agroecosistema.

El agroecosistema difiere de otros ecosistemas silvestres en un medio físico similar, en que el primero es más simple, es decir, presenta menos diversidad de especies animales y vegetales y su estructura es menos compleja; la diversidad genética en los sistemas manipulados es menor y generalmente hay una reducción en la complejidad de la cadena alimenticia y en el número de niveles tróficos; el ciclaje de nutrientes también es diferente en ambos sistemas. La biomasa de los grandes herbívoros (como ganado, ovejas y cabras) es considerablemente mayor en los agroecosistemas que la de los animales ecológicamente equivalentes, normalmente sustentados por el ecosistema terrestre no alterado; como resultado de esto, la materia orgánica acumulada en el suelo y la actividad detritófaga de la microbiota del suelo es mucho menor en un agroecosistema (Tivy, 1990)

Por lo anterior, los sistemas agropecuarios deben establecerse dentro de modelos regionales que consideren la optimización de los recursos en general, tecnologías que aprovechen el flujo de energía y el uso de materiales que no deterioren los ecosistemas naturales

Diversas investigaciones realizadas en el mundo, han mostrado que la recuperación de las tecnologías tradicionales resulta una alternativa de gran relevancia para la formulación de proyectos para el desarrollo sustentable de las actividades agrícolas, si bien se orientan más a obtener calidad que cantidad.

Considerando a la luz solar como un recurso inagotable, la mayoría de los recursos de los cuales depende la agricultura, son potencialmente renovables siempre que se conserven dentro de ciertos límites: el suelo y sus nutrientes, el agua (derivada directa o indirectamente de la lluvia), la diversidad de vida silvestre, los procesos ecológicos como la capacidad del medio para controlar plagas o asimilar desechos. La renovación de dichos recursos depende de un buen manejo que garantice una base sustentable a largo plazo para la producción agrícola.

Se han realizado esfuerzos internacionales para crear programas de implementación de tecnologías y políticas que permitan la renovación de los recursos naturales en los países en desarrollo, pero dado que éstos carecen de la estructura política adecuada y además no son capaces de realizar una inversión tecnológica de gran magnitud, dichos programas son difícilmente llevados a la práctica. Por lo anterior, continua el deterioro de los recursos, haciéndose cada vez más complejo el problema de renovación de los mismos

La destrucción de los recursos renovables no es la única forma de manejo inapropiado de recursos. Los recursos renovables se desperdician si son sujetos a tecnologías inapropiadas o falta de conocimiento, por ejemplo, mecanización excesiva, uso indiscriminado de insumos fitosanitarios sintéticos (plaguicidas, fertilizantes y abonos), falta de capacitación en la aplicación de dichos insumos, carencia de conciencia ecológica, etc.

1.5 AGRICULTURA ORGÁNICA Y CONOCIMIENTO TRADICIONAL

El crecimiento económico en el marco del desarrollo sustentable, requiere de una modificación profunda del modelo económico, social y cultural imperante. La agricultura sustentable implica, además de los aspectos tecnológicos y de inversión de la producción, componentes sociales, ecológicos y culturales

La agricultura orgánica parte del supuesto de que en la unidad campesina y en las comunidades indígenas es posible encontrar los elementos del nuevo paradigma agrícola, dado que es en estos grupos en los que las diversas prácticas agrícolas se han desarrollado en torno a las relaciones seres humanos-naturaleza, al conocimiento del medio, a la combinación de la producción para autoconsumo y mercado y al manejo integrado y múltiple de los recursos (tierra, agua, bosques). La diversidad de los cultivos se ha mantenido gracias a la participación de los campesinos pobres que responden a un patrón de producción sustentable (Torres, 1996)

La agricultura orgánica se basa en la explotación de un mercado potencial determinado y específico, con base en productos obtenidos en apego a principios que contribuyen a lograr una alimentación sana. En la mayoría de las actividades relacionadas con la agricultura orgánica, se ha recurrido a retomar las prácticas tradicionales resultado del conocimiento milenar en relación con el aprovechamiento, manejo y uso de los recursos naturales.

Su objetivo es lograr una agricultura basada en prácticas orientadas a satisfacer las necesidades alimentarias de la población, pero se busca que posea la capacidad de atender a los mercados nacional e internacional; dichas prácticas prescinden parcialmente de la mecanización y del uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, por lo que a la larga representan menor daño para los ecosistemas y pueden implicar menores costos. Es necesaria, por otro lado, la incorporación del conocimiento científico a las prácticas orgánicas tradicionales, para lograr mejores resultados, obtener productos competitivos y recuperar las áreas deterioradas por el empleo de prácticas agrícolas inadecuadas, e incluso zonas abandonadas.

Torres (1996), propone que este modelo de producción deberá ser acompañado por la libre organización de los productores en cooperativas y asociaciones, de tal manera que se permita a los campesinos tener el control de los precios y agregar valor a sus productos. El modelo orgánico garantiza, hasta cierto punto, el equilibrio ambiental y plantea opciones reales de supervivencia a los pequeños productores de los países pobres, en tanto ese mercado específico no se sature.

En nuestro país, la agricultura orgánica inicia en el cultivo de café, el cual, en condiciones normales se desarrolla en zonas montañosas, preferentemente de 800 a 1100 m.s.n.m.; es en estas regiones en donde han sido confinados los principales y más numerosos grupos indígenas de México. En consecuencia, las principales comunidades que practican la agricultura orgánica se localizan en las sierras del sur y el sudeste del territorio nacional. El cultivo de café orgánico en México, representa una fuente de ingresos para los productores pobres (Torres, 1996)

En el marco del desarrollo sustentable y la conservación de recursos naturales, las propuestas de agricultura orgánica deben identificar el modelo tecnológico en el cual se adscriben, la dimensión de la producción y la productividad en el corto y el mediano plazos, la dinámica del mercado internacional, los costos de producción (los cuales idealmente deberán ser bajos), la demanda real de los productos, la biodiversidad en la estructura productiva agrícola, la vocación natural de los suelos, la problemática de los diversos estratos de productores, la recuperación de la inversión en el corto plazo, la estructuración de una industria biológica de empaque y procesamiento, la definición de políticas de crédito, el desarrollo tecnológico (incluyendo el biotecnológico), entre otros aspectos (Torres, 1996) Además se debe partir de que un proyecto de tal naturaleza no puede basarse únicamente en un criterio conservacionista de los recursos, sino en su aprovechamiento integral en equilibrio con el ambiente

El conocimiento tradicional del trabajo de la tierra y el cultivo de alimentos, responde a una estrategia de sobrevivencia y se ubica en un contexto socioeconómico, político y ecológico, que se ha venido gestando en el proceso del desarrollo histórico, y se ha transmitido de padres a hijos de generación en generación. Las presiones de la modernización han incluido en las prácticas agrícolas tradicionales algunas técnicas nuevas, pero en lo general se respetan los principios generales de convivencia con el medio ambiente y la poca o nula utilización de insumos, este tipo de agricultura no destaca por producir más, sino producir en condiciones que permitan conservar los recursos naturales en los que se sustenta la agricultura (Calderón, 1993).

Las tecnologías tradicionales se basan en las características de la economía campesina producción para autoconsumo y uso intensivo de la mano de obra familiar. por lo que la utilización de insumos ajenos al medio en el que se desenvuelve el agricultor, es limitada. Los principios básicos de la agricultura tradicional son

- Sostener la biodiversidad: policultivos
- Convivir con las plagas y enfermedades: control biológico de insectos y microorganismos
- Tratamiento del suelo como un sistema natural y consideración de la existencia de microorganismos benéficos
- No roturación del suelo: no labranza o labranza de conservación

Algunos sistemas de agricultura tradicional son los trashumantes o migratorios, que en nuestro país son mejor conocidos como de roza-tumba-quema, adaptados para ciclos de recuperación de vegetación. Sin embargo, ante la presión demográfica han resultado devastadores para los recursos naturales. Otros como las chinampas han desaparecido o están seriamente amenazados por la competencia en el uso del agua con las zonas urbanas industriales o por contaminación de los mantos acuíferos (Calderón, 1993).

Las expectativas de altos rendimientos en la productividad de los sistemas de agricultura tradicional son limitadas, pero el componente de sustentabilidad ambiental y su adaptación a la lógica de producción campesina, les han permitido vigencia a nivel local, frente a las presiones modernizadoras

Se puede decir, pues, que tanto la agricultura orgánica como la tradicional, representan prácticas agrícolas sustentables, ya que ambas comparten el principio de utilizar los recursos naturales de manera racional, asegurando su existencia en el futuro, en ambos casos se manejan prácticas de sustentabilidad ambiental y bajo uso de insumos comerciales. El primer caso se encuentra enfocado hacia la comercialización de los productos de las prácticas agrícolas y el segundo al autoconsumo, sin embargo ambas estrategias carecen del empleo indiscriminado de tecnologías derivadas de la Revolución Verde, por lo que se les ha considerado como alternativas para el trabajo del campo

Sin embargo se ha estimado que tanto las prácticas de agricultura orgánica como las relacionadas con el conocimiento tradicional, no resultan suficientes para cubrir las necesidades de los países en desarrollo, en los cuales la población humana continúa incrementándose velozmente y además se pretende cubrir un cierto mercado internacional; tal es el caso de México. Por este motivo, se ha intensificado la búsqueda de estrategias que permitan recuperar las ventajas de este tipo de prácticas, para establecer sistemas de producción integrales de alta productividad.

1.5.1 Sistemas agrícolas predominantes en el Siglo XX

Algunas características de los diferentes enfoques y estrategias actuales para el desarrollo de la agricultura se muestran en la tabla 4, en la cual se presenta el esquema de los sistemas de desarrollo rural prevaletentes, enmarcados en las actividades productivas como motor para el desarrollo.

1.6 SEGURIDAD ALIMENTARIA

Se considera a la seguridad alimentaria, como uno de los elementos indispensables para lograr un desarrollo sustentable. Se entiende por seguridad alimentaria, como la situación en la que un individuo, una familia, una comunidad, una región o un país, satisfacen adecuadamente sus necesidades nutricionales tanto diarias como anuales y se considera a la seguridad alimentaria como un derecho humano básico. Este concepto involucra la erradicación del hambre y la desnutrición crónica y se logra cuando los alimentos son producidos, procesados, almacenados y distribuidos localmente y se encuentran disponibles cotidianamente, independientemente de las variaciones climáticas y de otra índole, es decir, la seguridad alimentaria debe basarse en la autosuficiencia local (Conway & Barbier, 1990).

Pese al aumento en la producción de alimentos que se ha registrado en los últimos años, la seguridad alimentaria no se ha incrementado, de hecho, ha aumentado el hambre en el mundo. Se atribuye el problema de la inseguridad alimentaria mundial, a la distribución no democrática de tierras, créditos e información y el acceso a éstos (Torres, 1996).

Para abordar el problema de la seguridad alimentaria, se deben modificar las políticas comerciales dominantes en la actualidad, que han permitido que unas cuantas transnacionales dominen el mercado de alimentos y que los países en desarrollo dependan de unos pocos productos exportables, los cuales son vulnerables en el mercado internacional, y de la importación de alimentos.

Eradicar el hambre en el mundo es uno de los problemas más serios que enfrenta la humanidad actualmente. Esta situación sólo se verá mejorada mediante el establecimiento y cumplimiento de políticas que garanticen la distribución

Tabla 4. Sistemas agrícolas predominantes en el Siglo XX

	Agricultura de la Revolución Verde	Agricultura orgánica	Agricultura tradicional	Agricultura de bajos insumos (LISA)	Revolución tecnológica
Características básicas	Aplicación de ciencia y tecnología para crear condiciones favorables, riego o buen temporal. Prácticas de monocultivo, intensificación por especialización.	Sistemas adecuados a las condiciones locales, basados en estándares apropiados para el desarrollo de la agricultura como un ecosistema vivo y especializado; visión social y ecológica.	Sistemas complejos establecidos entre cultivos, animales y personas. Se basan en el conocimiento local.	Sistemas complejos basados en la integración de los principios agronómicos, el conocimiento local y las bases teóricas de la agroecología.	Sistemas complejos; aplicación de tecnologías de frontera y altos costos, siempre que sea rentable.
Metas	Económicas: maximizar la producción para el mercado.	Económicas, ecológicas y sociales: optimizar la producción para el consumo y el mercado, con base en la conservación de los recursos y del conocimiento de las comunidades rurales.	Autoconsumo para la subsistencia.	Económicas, ecológicas y sociales: optimizar la producción para el consumo y el mercado, con base en la conservación de los recursos y del conocimiento de las comunidades rurales.	Económica: máxima rentabilidad de la explotación.
Motivación	Negocio.	Compromiso.	Necesidad.	Compromiso.	Negocio.
Cultivos	Cereales principalmente.	Todos.	Alimentos básicos.	Todos.	Flores y hortalizas.
Diversidad de sistemas de cultivo	Baja (cultivos especializados).	Alta.	Alta (gran diversidad genética).	Alta.	Alta.
Sustrato	Suelos agrícolas de buena calidad.	Todo tipo de suelos.	Suelos agrícolas de mala calidad.	Suelos agrícolas de media a regular calidad.	Suelos de muy buena calidad o sustratos importados al sistema.
Nivel tecnológico (uso de insumos)	Muy alto.	Alto; tecnologías convencionales (sólo orgánicos).	Muy bajo.	Muy alto debido al pleno conocimiento de las relaciones ecológicas.	Muy alto; uso de todos los adelantos tecnológicos.
Control de plagas	Químico: eliminar o reducir plagas.	Natural. Busca la estabilidad y diversidad del agroecosistema para minimizar el uso de pesticidas.	Natural.	Químico y natural: reducción de pesticidas, uso de variedades resistentes y de enemigos naturales.	Agroquímicos y productos biotecnológicos.

Fertilización	Fertilizantes minerales.	Manejo adecuado de la materia orgánica, uso de la microbiota del suelo, manejo del flujo de nutrientes para asegurar disponibilidad y balance.	Orgánica, descanso, acarreo y otras fuentes naturales de fertilización.	Balace entre producción y conservación: orgánica y mineral.	Soluciones nutritivas
Mecanización	Intensiva.	Equipo ligero.	Muy baja	Labranza de conservación.	Equipo sofisticado de avanzada.
Riesgos ecológicos	Contaminación por uso intensivo de agroquímicos, disminución de reservas de recursos naturales; desarrollo de patógenos, erosión del suelo.	Potencial desarrollo de poblaciones de patógenos si no se logra un equilibrio ecológico.	Degradación y pérdida de suelo en áreas no aptas para la agricultura.	Potencial desarrollo de patógenos, erosión del suelo.	Potencial desarrollo de patógenos.
Investigación y Desarrollo	Altos. Instituciones internacionales, empresas, universidades y Sector Público.	Altos. Instituciones internacionales, universidades y ONG's.	Reducidos. Universidades y ONG's; tecnología desarrollada por los agricultores.	Altos. Universidades, Sector Público y ONG's.	Muy alto. Empresas y universidades patrocinadas por diversas fuentes.
Aplicación de la Biotecnología	Alta. Insecticidas, enzimas, plantas transgénicas.	Alta Microorganismos y organismos simbióticos, recursos genéticos locales, biofertilizantes, enzimas, bioplaguicidas.	Manejo local de microorganismos, conservación de recursos genéticos.	Modificación genética (resistencia a insecticidas), biofertilizantes y bioplaguicidas, microorganismos del suelo.	Muy alta. Cultivo de tejidos, plantas transgénicas, y productos biotecnológicos en general.
Aplicación de nuevos materiales	Coberturas plásticas, espantapájaros.	Plásticos de uso restringido.	No lo hay.	Restringido.	Muy alto. Geminadores, riego, coberturas plásticas.
Densidad de capital	Muy alta.	Alta.	Muy baja.	Alta.	Muy alta.
Diversidad de aplicación	Alta.	Alta, por conservar la diversidad genética y optimizar los recursos naturales.	Muy alta, por conservar la diversidad genética y optimizar los procesos naturales.	Muy reducida a condiciones de mercado y disponibilidad de capital y tecnología.	Muy reducida a la disponibilidad de capital y tecnologías.

Fuente: Adaptación de Torres, et al, 1996 y Calderón, 1993.

homogénea de las riquezas naturales y económicas entre la población, y por medio del uso racional de los recursos naturales. Para brindar seguridad alimentaria a las generaciones presentes y futuras, se deben estructurar programas viables que integren los conocimientos tradicionales de los pueblos a las propuestas modernas.

La seguridad alimentaria es responsabilidad de cualquier sociedad, y por lo tanto requiere de la participación de todos los sectores. La elaboración de programas y planes que promuevan la buena alimentación de la población humana, depende de las acciones de los gobiernos, de acciones internacionales y de la definición de las prioridades de financiamiento en todos los niveles.

1.7 FACTORES PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Para lograr que el desarrollo de las actividades agrícolas en todo el mundo sea sustentable, se deben tomar en cuenta aspectos importantes como las diferencias en materia de política, infraestructura y tecnología entre los países desarrollados y los del Tercer Mundo, la capacidad y el interés de cada país por lograr avances en los modelos de producción agrícola, la promoción de la participación de los agricultores en estos nuevos modelos, el apoyo a programas de investigación en el área de la agricultura, etc. Estos elementos permiten señalar y definir a los factores que determinarán la sustentabilidad de las prácticas agrícolas, tales como las actividades internacionales, políticas nacionales, productores e investigación agrícola

Por otro lado, existen indicadores de una agricultura sustentable (productividad, rentabilidad, estabilidad, equitabilidad, etc.), definidos por diversos elementos económicos, sociales, políticos y ecológicos, los cuales fueron explicados anteriormente.

1.7.1 Actividades internacionales

La sustentabilidad del desarrollo agrícola en los países en desarrollo particularmente, depende en gran medida de las relaciones internacionales y del comercio mundial; es en este nivel en el que se establecen las políticas de comercio y el orden económico global.

La población de los países no desarrollados es predominantemente rural. En promedio 62% de la fuerza laboral de las economías en desarrollo se encuentra relacionada con la agricultura y otras labores relacionadas con recursos primarios, como la pesca, la caza y las actividades forestales (Conway & Barbier, 1990)

De no tomarse las decisiones necesarias, muchas de las regiones en desarrollo continuarán dependiendo de la importación de alimentos y de la asistencia externa, debido a su incapacidad para producir los alimentos necesarios para satisfacer las necesidades básicas de su población en continuo crecimiento.

problemas que se agravan constantemente debido a las malas prácticas agrícolas que han devastado recursos como suelo y agua. Por otro lado, se estima que la inseguridad alimentaria seguirá creciendo en dichas regiones, puesto que el poder adquisitivo del sector más pobre, es cada vez menor.

Las políticas internacionales provocan que la economía de los países del Tercer Mundo, incluyendo a México, se caracterice por ser sumamente vulnerable a los cambios y crisis de los mercados externos debido a factores como crecimiento económico y comercial lento, deudas externas, inestabilidad en las tasas de cambio, inestabilidad financiera, guerras comerciales, etc

El establecimiento de redes internacionales de cooperación constituidas por agencias y comisiones, con la finalidad de orientar y promover esfuerzos hacia un modelo de desarrollo que implique una agricultura sustentable, ha tenido importantes repercusiones en la construcción de nuevos esquemas de desarrollo sobre todo para los países en desarrollo; entre las instituciones que destacan en este sentido están la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (WCED), el Grupo Consultivo en Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), la Fundación Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID), la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) y el Centro Internacional para el Desarrollo y la Investigación (IDRC)

1.7.2 Políticas nacionales

Compete a los gobiernos de cada país la elaboración e implementación de políticas y estrategias de gobierno adecuadas, que impulsen el desarrollo sustentable de las actividades agrícolas en coordinación con el desarrollo económico y tecnológico.

Se deben crear políticas que establezcan lazos entre la necesidad de producción para el mercado de alimentos doméstico y la competitividad de los productos agrícolas en el mercado internacional. Esto, además, tendrá implicaciones en las prioridades y objetivos de la investigación agrícola enfocada a la creación de proyectos productivos.

Estas nuevas políticas, deberán considerar la adopción de un ajuste estructural y asegurar la existencia de fondos públicos destinados a la investigación agrícola. Asimismo, se deberá favorecer la formulación de programas que apoyen e impulsen actividades agrícolas sustentables, basados en fomentar una conciencia ecológica entre los productores.

Por otro lado, es de gran importancia que se establezcan políticas que contemplen las necesidades nacionales en conjunto con los aspectos regulatorios y normativos relacionados con bioseguridad y derechos de propiedad intelectual, que garanticen la calidad y seguridad de los productos agrícolas

Los derechos de propiedad intelectual son los conferidos a las personas físicas o morales, sobre las creaciones de su mente y dan al creador un derecho exclusivo sobre el uso de su obra por un plazo de tiempo determinado. Con los avances en materia de biotecnología se hace cada vez más necesaria la creación de acuerdos legales, al margen de los intereses nacionales, que permitan establecer de manera clara los derechos que surjan de las innovaciones tecnológicas, las fuentes de germoplasma y otras fuentes biológicas; estos acuerdos deberán establecer los mecanismos efectivos para la transferencia de tecnologías y germoplasma, al mismo tiempo que asegure la entrada de las regalías que se desprendan de tales innovaciones, a la institución correspondiente (Brenner & Komen, 1994). En este campo, la OECD también ha participado estableciendo los lineamientos de protección y observancia del buen cumplimiento de la asignación de los derechos de propiedad intelectual.

1.7.3 Granjas y productores

Sin duda alguna, las políticas nacionales e internacionales son de gran importancia para la promoción del desarrollo sustentable, sin embargo, la agricultura sustentable depende de la acción diaria e individual de millones de campesinos y sus familias.

Mientras que los programas de investigación y análisis juegan un papel crucial en la reforma de las políticas, es necesario que la mayor proporción de esfuerzos dirigidos a la renovación del sistema de desarrollo en las próximas décadas se dirija a la implementación de programas cuyo principal objetivo sea establecer las prioridades de la población rural y colocarlas en primer plano, dar seguridad de derechos y ganancias al sector pobre de la sociedad, satisfacer las necesidades de la población rural e impulsar su participación en las decisiones relacionadas con las actividades agrícolas, para conformar así las bases de una agricultura sustentable

1.7.4 Investigación agrícola

Entre las consecuencias del nuevo enfoque que se está dando a las investigaciones agrícolas, se encuentra un cambio en el balance público-privado. Las firmas comerciales están jugando un papel cada vez más importante, mientras que las instituciones de investigación públicas se han consolidado como centros de investigación agrícola básica. De igual manera, las instituciones privadas no comerciales representan un gran apoyo para la investigación agrícola tanto básica como aplicada.

Para el caso de la investigación biotecnológica en particular, la inversión del sector privado en instituciones de investigación como universidades y otras dependencias públicas, es una tendencia mundial, aunque con frecuencia los objetivos de tales acuerdos dejan a un lado las necesidades de la propia sociedad. La ayuda financiera proveniente de fundaciones privadas y del sector público ha contribuido notoriamente con la investigación biotecnológica

Es claro que existe una interacción creciente entre los sectores público y privado en relación con la investigación agrícola, ya que en ambos existe interés por lograr resultados a corto plazo que puedan ser comercializados. Sin embargo, es probable que las diferencias en cuanto a las prioridades y las metas de la investigación disminuyan.

A partir de presiones políticas y comerciales, un número creciente de iniciativas internacionales está tomando parte en el estímulo al desarrollo de aplicaciones de la biotecnología en la agricultura de países en desarrollo; dichas iniciativas incluyen un amplio espectro de investigación biotecnológica, actividades de información y consultorías, y se encuentran respaldadas por agencias multilaterales, fundaciones privadas y firmas comerciales (Brenner & Komen, 1994).

Los Centros Internacionales de Investigación Agrícola (IARC's) pretenden ser una importante fuente de material y soporte técnico para los sistemas nacionales de investigación agrícola en países en desarrollo, pero la realidad es que al menos en México, poco es lo que estos organismos han aportado.

1.8 TECNOLOGÍAS PARA UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

En la actualidad, las actividades agrícolas se benefician de las innovaciones de la revolución biológica y química mediante las cuales se ha logrado incrementar la productividad de las tierras agrícolas.

Las tecnologías pueden ser clasificadas en dos grandes grupos. Las tecnologías disponibles y las tecnologías implementadas que son las que realmente se emplean en la producción, y no son necesariamente las tecnologías disponibles más avanzadas. La diferencia entre la frontera de las tecnologías disponibles y las implementadas, será un reflejo del medio económico.

En años recientes, la tecnología con enfoque industrial se ha convertido en un factor clave para el crecimiento económico, la productividad y la competitividad. La innovación tecnológica es un instrumento imprescindible para la formulación de estrategias competitivas, ya que es un proceso esencialmente interactivo que implica el establecimiento de articulaciones entre diversos actores (Brenner, 1993) y del cual han dependido históricamente las actividades agrícolas. Por otro lado, tanto la innovación como la asimilación tecnológica, son elementos importantes que permiten ubicar y definir a los factores e indicadores de la sustentabilidad agrícola.

Entre las tecnologías agrícolas que poseen un alto potencial de sustentabilidad se encuentran

- Policultivo: siembra de dos o más cultivos de manera simultánea en la misma porción de tierra. Los beneficios consisten en que los cultivos explotan diferentes recursos, o interaccionan unos con los otros; dichas interacciones podrán servir también como control de plagas y malezas.
- Rotación: siembra de dos o más cultivos en secuencia en la misma porción de tierra. Los beneficios son similares a los obtenidos por el policultivo.
- Agrosilvicultura: forma de policultivo en la cual herbáceas anuales son cultivadas entre árboles y arbustos perennes. Los árboles poseen raíces profundas que explotan el agua y nutrientes no disponibles para las herbáceas; por otro lado, los árboles proporcionan sombra y protección, mientras que el suelo cubierto de hierbas reduce la invasión de malezas y previene erosiones. Implica también el manejo de los bosques de manera coordinada con los cultivos agrícolas.
- Silvopastura: similar a la agroforestería, pero combina árboles con pastizales. La mezcla de árboles, pastos y herbáceas es un buen método para pastoreo de ganado mixto.
- Abono verde: consiste en el cultivo de leguminosas y otras plantas fijadoras de nitrógeno y su incorporación al suelo para el siguiente ciclo de cultivo. Los abonos verdes más utilizados son *Sesbania* y *Azolla*, especies que contienen algas verde-azules fijadoras de nitrógeno.
- Labranza de conservación: sistemas de manejo del suelo, en los cuales las semillas son colocadas directamente sobre la tierra, lo cual reduce los niveles de disturbio al suelo y por lo tanto hay menos pérdida de sedimentos y nutrientes. Por otro lado, se conserva al menos el 30% de los residuos de la cosecha anterior, los cuales se integran en el suelo para el próximo ciclo de siembra, y de esta manera reciclar los nutrientes del mismo.
- Control biológico de plagas: el uso de enemigos naturales (parásitos, parasitoides o predadores), para control de plagas. Si la plaga es exótica, estos enemigos deberán de importarse del lugar de origen de la plaga; si es autóctona, se deberán enfocar esfuerzos para aumentar el número de los enemigos naturales existentes.
- Manejo integrado de plagas: el uso de todas las técnicas apropiadas para controlar plagas de manera integrada, la cual estimulará más que destruir a los controles naturales. Si los plaguicidas son parte del programa, se deberán usar de manera selectiva y racional, para que no interfieran con los enemigos naturales. El control biológico es una parte importante de esta práctica.

1.8.1 La Biotecnología y la agricultura sustentable

La biotecnología es un campo complejo que puede ser definido de numerosas formas, sin embargo resulta imposible desarrollar una definición universalmente aceptada. La investigación biotecnológica puede ser caracterizada por factores como ser una actividad interdisciplinaria, dinámica y con un papel cada vez más importante en el sector privado, la biotecnología depende de los avances logrados en biología, genética, química e ingeniería.

Se acepta que el término biotecnología se refiere a la aplicación del conocimiento de los procesos biológicos con un fin útil, mediante el desarrollo y empleo de técnicas que usen a organismos vivos o partes de éstos, para hacer o modificar productos, para mejorar plantas o animales o para desarrollar microorganismos para usos específicos (Persley, 1990)

En los próximos años, los avances en la investigación biotecnológica tendrán importantes contribuciones en el cambio tecnológico dirigido a la producción agrícola. La biotecnología moderna es una ciencia joven que ha generado grandes expectativas como posible solución a la demanda creciente de alimentos y como medio para mejorar la productividad y la rentabilidad de las actividades agrícolas. Por ello, se le ha dado prioridad y otorgado recursos tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo (Solleiro, 1996)

Las herramientas biotecnológicas deberán complementar más que reemplazar a los métodos tradicionales usados para promover la productividad agrícola.

La investigación mundial en biotecnología agrícola se ha orientado fundamentalmente a las siguientes áreas:

- Plantas transgénicas resistentes a virus, hongos, bacterias, insectos o herbicidas.
- Plantas transgénicas con características nuevas o mejoradas (mayor atractivo comercial)
- Mapas genómicos de los principales cultivos.
- Células y plantas transgénicas como sistemas de producción de metabolitos secundarios, plásticos biodegradables, etc
- Reemplazo de agroquímicos por productos de origen biológico, como bioinsecticidas, bioherbicidas, control biológico de plagas, etc.
- Cultivo de células y de tejidos (propagación clonal y somoclinal, hibridaciones, cruces inter-específicas, etc)
- Procedimientos de diagnóstico mejorados para determinar enfermedades vegetales y animales (técnicas serológicas y de DNA).

En todos los casos, las investigaciones se encuentran dirigidas a cultivos de importancia alimenticia y/o económica, como cereales (arroz, maíz, sorgo), tubérculos (papa), leguminosas (frijol y chícharo), hortalizas, cultivos perennes (plátano, café, caña de azúcar, cacao) (Brenner & Komen, 1994)

Pese a todo lo que se ha dicho en torno al gran potencial de la investigación biotecnológica para modificar radicalmente la agricultura y la producción de alimentos en particular en los países en vías de desarrollo, la contribución real de la biotecnología para incrementar la seguridad alimentaria o para lograr una producción agrícola más sustentable en estos países aún permanece incierta (Brenner & Komen, 1994), particularmente en los países del Tercer Mundo que

carecen de los recursos económicos y humanos para mantenerse a la vanguardia de los avances en materia biotecnológica de los países desarrollados.

1.9 ACUERDOS INTERNACIONALES COMO ANTECEDENTES DE LOS PLANES PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA AGRICULTURA

Las acciones llevadas a cabo por agencias especializadas y por los gobiernos de los países interesados, en torno a la búsqueda de nuevas estrategias que permitan alcanzar el carácter sustentable de las actividades agrícolas, han favorecido la edición de informes, actas y reportes que han servido como plataforma para la elaboración de programas y planes de desarrollo agrícola en el marco de la sustentabilidad.

Dentro de dichos documentos, cabe mencionar a la Agenda 21 o Adopción de Acuerdos sobre el medio Ambiente y el Desarrollo, la cual quedó establecida en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, junio de 1992), y representa un plan de acción global.

Los logros de dicha Conferencia, también conocida como Cumbre de la Tierra, se pueden resumir como

- Agenda o Programa 21
- Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo
- Principios sobre los bosques
- Convención sobre la diversidad biológica
- Convenio marco sobre los cambios climáticos

En la Agenda 21 se intentan establecer las bases para la organización y la gestión de los recursos agrarios, combatir la deforestación, fomentar desarrollo rural y agrícola, así como combatir la desertificación y la sequía, y promover la conservación de la diversidad biológica y de la energía. Además se pretende determinar la relación que existe entre el deterioro ambiental y problemas como la sobrepoblación, el hambre, las políticas agrarias y las comerciales, etc., y se manifiesta el interés por integrar criterios respecto a lo que son las prácticas productivas rurales ambientalmente adecuadas.

En el documento se reconoce la importancia de la participación de los gobiernos, tanto de países desarrollados como de países en vías de desarrollo, y de agencias internacionales públicas y privadas para lograr avances en áreas como:

- **Reforma de las políticas agrícolas para asegurar el abasto alimentario y el desarrollo sustentable**

Para lograr una agricultura sustentable y desarrollo rural, se necesitan políticas coherentes a nivel nacional, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo. Es necesaria también, la evaluación de los efectos de las políticas

actuales sobre el sector agroalimentario, la seguridad alimentaria, el bienestar rural y las vías de comercio, para poder elaborar propuestas y planes de uso integrado de recursos animales, forestales y agrícolas, particularmente en regiones con ecosistemas frágiles y en áreas densamente pobladas.

- **Asegurar la participación y el desarrollo de recursos humanos**

Para lograr sistema de agricultura sustentable, es necesaria la participación de todos los sectores de la sociedad, por lo cual se debe crear conciencia entre la población, de la importancia que para este efecto tienen los grupos populares y las organizaciones rurales (grupos de mujeres, cooperativas, pueblos indígenas, pequeños agricultores, etc).

El desarrollo de recursos humanos que impulsen a las comunidades hacia la autosuficiencia y la cooperación, requiere asegurar el acceso equitativo de los grupos populares a la tierra, el agua y los recursos naturales, la tecnología, el financiamiento, los mercados y el procesamiento agroindustrial. Es de igual importancia, que se favorezca la participación popular en el desarrollo tecnológico y que se incorpore el conocimiento tradicional sobre prácticas agrícolas a las nuevas propuestas, además de brindar capacitación y la información necesaria para apoyar a las comunidades rurales en el manejo de recursos

- **Mejoramiento de los sistemas agrícolas y diversificación del empleo agrícola y no agrícola**

Se busca lograr una mayor productividad agrícola de manera sostenible, así como mejorar el nivel de vida de los campesinos, facilitar la transferencia de tecnologías productivas ambientalmente adecuadas y ampliar las oportunidades de empleo en áreas no agrícolas como la manufactura de productos y el procesamiento agroindustrial

Dentro de las actividades consideradas importantes para lograr el mejoramiento de los sistemas agrícolas, están el apoyo al desarrollo y/o reintegración de técnicas como la rotación de cultivos, el abonado orgánico y otras actividades que lleven a un menor consumo de insumos externos y al reciclaje de materiales y facilitar el acceso a infraestructura, servicios y tecnologías.

- **Planeación, información y educación agrícolas**

Existe una gran necesidad de incorporar a los campesinos y productores en el proceso de planeación de nuevas estrategias de desarrollo agrícola, para lo cual es indispensable obtener y difundir información sobre los recursos agrícolas, las tecnologías disponibles, los programas que se implementarán, etc , además se debe contar con una eficiente canalización de recursos

Los programas de información y educación agrícolas, a realizar en tres niveles: nacional, distrital y comunitario, implican el establecimiento de redes de información entre instituciones, gobiernos y sociedad.

- **Rehabilitación y conservación de suelos**

Debido a la gran importancia de la calidad del suelo para el desarrollo agrícola, se hace necesaria una planeación de su manejo a largo plazo y la implementación de acciones que detengan su deterioro. El registro y difusión de las prácticas autóctonas de conservación de suelos, de ordenamiento ecológico y etnobiológicos, como base para la investigación en este campo, son, desde luego, de suma importancia.

- **Conservación y uso sustentable del acervo genético de las plantas**

Un buen manejo de los recursos fitogenéticos es necesario para lograr la seguridad alimentaria. Con dicho fin, se han elaborado bancos de germoplasma y colectas de plantas útiles para la agricultura, además de fomentarse programas de conservación y manejo de recursos genéticos. En México, el CIMMYT tiene un banco en colaboración con el INIFAP, Chapingo; existen además algunos trabajos dirigidos a la conservación de la diversidad genética mexicana, particularmente para cultivos como el maíz y recursos forestales.

Por otro lado, se deben establecer acuerdos internacionales que regulen la generación y uso de recursos genéticos vegetales para la formulación de variedades transgénicas, para lograr una distribución justa y equitativa de los beneficios obtenidos a partir de dichas investigaciones.

Para los países en desarrollo es importante el intercambio y diseminación de recursos fitogenéticos, el fomento de la diversificación de cultivos y la producción de semillas mejoradas.

- **Manejo integrado de plagas**

Se considera que en un futuro, el control de plagas que combine el control biológico, la resistencia de las plantas y prácticas agrícolas adecuadas, es la mejor alternativa para lograr una mayor productividad en el campo. La promoción de un manejo integrado de plagas, será el resultado de la vinculación entre agricultores, investigadores y dependencias gubernamentales.

Además de los intentos realizados por los gobiernos de los países participantes en las cumbres y conferencias organizadas por las Naciones Unidas, por promover una cultura de agricultura sustentable entre los países del mundo, son también de

gran relevancia las actividades llevadas a cabo por organizaciones no gubernamentales (ONG's) en esta área

Existe un tratado de las ONGs sobre agricultura sustentable, el cual está dividido en tres secciones.

I. Preámbulo: políticas actuales y críticas

Se señala que al actual sistema de producción y comercialización es el responsable de la crisis social y ambiental por la que atraviesa la agricultura hoy en día, incidiendo tanto en regiones rurales como urbanas; dicho modelo ha sido incapaz de brindar una solución al problema del hambre en el mundo y ha contribuido con el deterioro de los ecosistemas, los recursos naturales, el paisaje, la diversidad cultural y el conocimiento autóctono y tradicional acumulado a través de miles de años por pueblos y comunidades

Las políticas nacionales de la mayoría de los países, están orientadas hacia la consolidación y el desarrollo de un patrón de agricultura industrial que es nocivo para el medio ambiente y para la calidad de vida de los seres humanos.

El sistema actual de agricultura industrial, se basa en el uso intensivo de productos químicos que degradan la fertilidad de los suelos, contribuyen con la desertificación, contaminan los recursos hídricos, promueven la salinización, destruyen los recursos genéticos y provocan cambios climáticos, entre otros efectos dañinos

Lo anterior aunado a que el modelo prevaleciente lleva a una disminución de los ingresos y a la explotación de los campesinos que trabajan en la agricultura de subsistencia, concentrando la tenencia de la tierra, la producción y los beneficios en una minoría.

II. Principios para una solución alternativa

El modelo de agricultura sustentable, representa una forma de organización social y económica que se fundamenta en la participación de la sociedad en su conjunto, reconociendo al ambiente y los recursos naturales como base de la actividad económica

Para ponerlo en práctica, es necesaria la identificación y solución de las causas principales de la degradación ambiental, y es necesario también, desarrollar y fortalecer propuestas y experiencias concretas, además de promover en todo el mundo una conciencia social crítica que permita superar la crisis social y ambiental que estamos viviendo

III. Plan de acción

Las ONGs se comprometen a promover la participación de los grupos de campesinos, pequeños productores rurales, grupos de mujeres y granjas familiares, en conjunto con los gobiernos e institutos de investigación, en la elaboración de nuevos patrones de organización social, económica y técnica en áreas rurales y en la conservación y mejoramiento de los sistemas de producción agrícola sustentables, restauración de sistemas agroecológicos y culturales y en el desarrollo de una agricultura sustentable. Por otro lado, se instará a los sectores público y privado, para que canalicen recursos hacia la investigación y métodos de agricultura sustentable.

También se requiere del establecimiento de redes de información y educación para consolidar las acciones y la cooperación, tanto a nivel local y nacional como internacional. Mediante campañas de educación y promoción se podrán introducir los principios y métodos de agricultura sustentable.

Se debe luchar por la preservación de los recursos genéticos y de la biodiversidad mediante una explotación regulada de los recursos naturales, programas de conservación y una reducción significativa en el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos, promoviendo la adopción de métodos de control biológico de plagas que eliminan el uso de insumos tóxicos.

Es de gran importancia la elaboración y promoción de políticas nacionales que favorezcan una distribución democrática y equitativa de la tierra y aseguren vías de comercio a todos los productores. Por otro lado, se deberán formular políticas nacionales e internacionales que regulen las tendencias actuales a la apropiación del capital genético y a patentar las formas de vida y se deberá impulsar una legislación que rija la investigación en materia biotecnológica para asegurar el control de los organismos modificados genéticamente y difundir la información sobre dicho campo entre la población, para evitar la monopolización de la biotecnología y la dependencia de los productores rurales

En octubre de 1994, gobernantes de la región centroamericana, se comprometieron en Managua a establecer una Alianza para el Desarrollo Sostenible de Centro América. El documento que surgió de esta reunión, que debe ser visto como un refrendo de la Agenda 21 aprobada en Río de Janeiro, compromete a los gobiernos centroamericanos a adoptar una estrategia integral para el desarrollo sustentable. Se enuncian como principios de esta alianza regional el respeto a la vida en todas sus manifestaciones, el mejoramiento de la calidad de la vida humana, el aprovechamiento de la riqueza de la tierra de manera sustentable, la promoción de la paz y la democracia como formas básicas de convivencia humana, el respeto a la pluriculturalidad de la región, el logro de una mayor integración económica de la región con el resto del mundo y, finalmente, la responsabilidad intergeneracional con el desarrollo sustentable. El documento también crea los instrumentos institucionales para garantizar el

cumplimiento de los cometidos de la alianza. Particularmente relevante es la creación de consejos nacionales para el desarrollo sustentable, con representación conjunta del sector público y de la sociedad civil.

Si bien se han formulado, aprobado y difundido una gran cantidad de documentos y acuerdos relacionados con la lucha para lograr un desarrollo sustentable en todos los países del mundo, la implementación de los planes de acción emanados de los foros y encuentros internacionales y regionales, ha enfrentado restricciones en los diferentes contextos sociales, económicos y ambientales. Por esto, los avances en el funcionamiento de los acuerdos son diferenciados y cada nación debe actuar de acuerdo a sus características sociales, políticas y económicas, sin embargo, el compromiso común es trabajar con los elementos propios de cada región para establecer las bases del nuevo modelo de desarrollo.

II. LA AGRICULTURA EN MÉXICO

Debido a sus características geográficas, topográficas y climáticas, nuestro país cuenta con un reducido potencial para la agricultura, debido a que más del 75% de la superficie del territorio nacional es montañoso (Alatorre, 1993). Según el tipo de clima, el territorio nacional se divide en: cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco y muy seco.

Tabla 5. Estructura de la superficie continental de los Estados Unidos Mexicanos según tipo de clima.

Clima	Porcentaje
Cálido húmedo	4.7
Cálido subhúmedo	23.0
Templado húmedo	2.7
Templado subhúmedo	20.5
Seco	28.3
Muy seco	20.8

Fuente: INEGI, 1997.

Como se puede ver en la tabla 6, de sus 1 959 248 km², el país tiene abiertos al cultivo alrededor de 311 044 km², lo que representa un 16% del total del territorio mexicano 254 877 km² están destinados al cultivo por temporal y 56 168 km² al cultivo por riego (INEGI, 1997), aunque en promedio se utilizan cada año sólo 168,000 km². Entre Veracruz, Jalisco, Chiapas, Zacatecas y Guerrero se distribuye poco más de un tercio de la superficie agrícola temporalera del país, mientras que un poco más de la mitad de la de riego, se localiza en Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán y Querétaro (Alatorre, 1993).

Tabla 6. Uso del suelo en México.

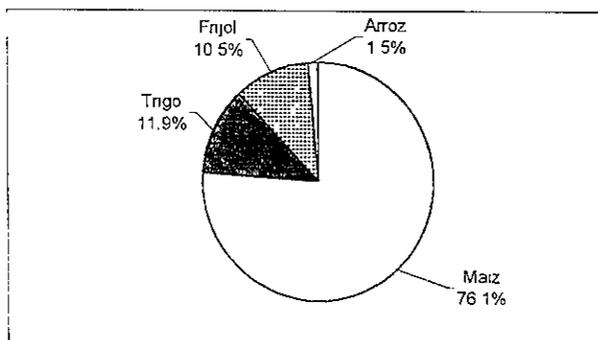
Concepto	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Superficie territorial total	1 964 381.71	100.00
Superficie con uso de suelo	1 083 460.84	55.15
Labor	311 044.52	15.83
Riego	56 467.57	2.87
Temporal	254 876.95	12.97
Pastos naturales	672 325.93	34.22
Bosque o selva	87 930.66	4.47
Sin vegetación	12 159.74	0.62

Fuente: INEGI, 1997

La capacidad de los suelos mexicanos para las actividades agrícolas mediante el sistema de temporal se considera excelente en 9% del territorio, buena en 11% y regular en 16% de la superficie, contra 64% considerada como mala (Alatorre, 1993).

En México se cultivan principalmente cuatro productos, que ocupan alrededor del 62% de las tierras agrícolas; los cereales junto con el frijol constituyen el principal grupo agrícola, ocupando el 46% de la tierra disponible, aunque sólo generan el 26% del producto agrícola total. El maíz se siembra básicamente en Jalisco, Veracruz, México, Puebla, Michoacán y Chiapas, mientras que el frijol es particularmente producido en Jalisco, Veracruz, Guanajuato, Chihuahua y Durango; el sorgo se cultiva sobre todo en Tamaulipas, Sinaloa, Michoacán, Jalisco y Guanajuato y el trigo en Sonora, Baja California, Chihuahua, Sinaloa y Guanajuato (Alatorre, 1993). En la figura 4 se muestra la estructura del valor de la producción de granos básicos en México durante 1995

Figura 4. Estructura del valor de la producción de granos básicos en México (1995).



Fuente: INEGI, 1997.

Por otro lado, la siembra de frutas y hortalizas se lleva a cabo en el 8.2% de la superficie cultivada y genera el 32.6% del producto agrícola total, además el interés por esta producción se ha incrementado dado su gran potencial exportador. La proporción de las hortalizas en las exportaciones agrícolas ha crecido del 11.2 al 25.4% entre 1980 y 1994; el clima estable del país permite la exportación de frutas y hortalizas durante todo el año, lo cual representa un elemento más para hacer atractiva la producción de estos productos (Solleiro, *et al*, 1998).

Por las características edáficas y de relieve, se ha determinado que los suelos con posibilidades de uso pecuario son los más abundantes (41% del territorio nacional), le siguen los de vocación forestal (41% entre bosques, selvas y matorrales) y, por último, los de uso agrícola (Alatorre, 1993).

Pese a estas características, la agricultura desempeñó un papel muy importante en el crecimiento de la economía mexicana, al menos hasta hace unas décadas.

2.1 BREVE HISTORIA DE LA AGRICULTURA EN MÉXICO

A través del conocimiento de la historia agrícola y agraria de México es posible entender muchos de los problemas de productividad actuales y elaborar nuevas propuestas para el desarrollo sustentable del sector agropecuario mexicano.

No obstante la información referente a las formas de producción agrícola que han existido en el país desde la época prehispánica hasta la actualidad, resulta un tanto complicado realizar una síntesis de la evolución de la agricultura mexicana y su impacto social en este siglo. Sin embargo se reconoce que las prácticas agrícolas han sido elementos de gran importancia dentro de la historia del país.

2.1.1 Antecedentes prehispánicos de la agricultura

El espacio geográfico en el que se dieron estas prácticas no era el mismo que conocemos en la actualidad, pues se contaba con recursos que hoy se han perdido como mayor cantidad de bosques, de recursos acuíferos, lagos y lagunas.

La agricultura mexicana en esa época era una de las más ricas de la historia de la humanidad. Se inició con la domesticación del maíz y el cultivo del mismo alternando con frijol, chile y calabaza. Esta combinación fue tan exitosa que se lograron satisfacer las necesidades alimenticias de toda la región mesoamericana, la intensidad lograda en las zonas chinamperas del Valle de México permitió generar excedentes que forjaron el desarrollo de las civilizaciones Tolteca, Tenoxca y Náhuatl, así como en el sureste el cultivo hidráulico de camellones permitió el surgimiento del Imperio Maya (Martínez, 1983).

La agricultura irrigada, tecnificada e intensiva en el uso de suelo y mano de obra, sigue siendo practicada en la actualidad en el campo mexicano, en el marco de una tradición milenaria

2.1.2 Antecedentes españoles

A la llegada de los españoles, los sistemas agrícolas se vieron sustituidos en gran medida por otras prácticas. Durante el dominio español, se produjeron grandes cantidades de productos europeos y apareció la ganadería, la agricultura a partir de 1550 se dividió en dos grandes tipos, la agricultura prehispánica maicera e intensiva que no desapareció, sino que sólo se vio modificada y mutilada, y la agricultura española extensiva con tracción animal.

Una de las consecuencias agrícolas más importantes que tuvo la llegada de los conquistadores a nuestro país, fue la introducción de cultivos europeos. Las

nuevas especies sustituyeron a las nativas, y los recursos fitogenéticos se incrementaron y modificaron; además se introdujeron también nuevas enfermedades y plagas que los antiguos pobladores no conocían.

Las políticas del dominio español limitaron la creación e incorporación de innovaciones a las actividades agrícolas, lo cual generó el patrón de dependencia tecnológica que caracterizó a la época de la colonia, del cual no nos hemos podido recuperar. En general, la producción agrícola se destinaba al autoconsumo o a los mercados locales (Gutelman, 1971).

Si bien los cambios fueron notorios en materia agrícola, más lo fueron en el orden agrario, ya que desaparecieron los sistemas indígenas y aparecieron sistemas como la hacienda, que dominaría el paisaje mexicano por más de cuatro siglos (la hacienda mexicana nacida en el siglo XVI sobrevivió transformada, ampliada o reducida casi hasta 1930).

La agricultura mexicana pasó a ser la subsidiaria de las actividades de minería dirigidas a la extracción de recursos, en especial la plata, conformándose un régimen de explotación de los recursos humanos y naturales. Este sistema agrícola-minero soportado por México y por otros países latinoamericanos, colocó a España como potencia mundial durante varios siglos, hasta que la Revolución Industrial del siglo XVIII puso fin al dominio del mercado español y a la subordinación que tuvo la agricultura mexicana con respecto a la minería durante tres siglos

Durante la época de la Colonia, en México como en la mayoría de los países de América Latina, la industria era esencialmente artesanal. Se fabricaban tejidos, joyas, y cerámica en cantidades pequeñas y en forma dispersa por todo el país (Gutelman, 1971)

2.1.3 La Independencia de México

La Independencia de México trajo consigo fuertes cambios en la estructura agraria nacional. Entre 1800 y 1850 siguió vigente el modelo español, pero a partir de 1850 México se incorporó al mercado mundial mediante productos agrícolas y pecuarios que fueron demandados principalmente por Estados Unidos. Por otro lado se abrieron las puertas del comercio internacional del azúcar, garbanzo, frijol y algodón; de esta manera, desde 1900 México se incorporó plenamente en el proceso de expansión capitalista estadounidense (Martínez, 1983).

La agricultura indígena sobrevivió este período, refugiándose en el altiplano central y en el sur del país, el norte y el bajo eran sede de la agricultura española, ahí se encontraban cultivos indígenas con técnicas europeas

No obstante, en ciertas haciendas la producción de fibras y grana cochinilla lograron un gran desarrollo, así como la exportación de maderas y el mercado nacional de bebidas alcohólicas extraídas del maguey (Gutelman, 1971).

V. BIOPLAGUICIDAS *Bt*

5.1 DESCRIPCIÓN E HISTORIA

No todas las bacterias que infectan a insectos son patógenos obligados. Dentro de este grupo, las bacterias formadoras de endosporas del género *Bacillus* son las más abundantes debido a que sus esporas, como los cuerpos de inclusión de la mayoría de los virus de insectos, son formas resistentes que les permiten sobrevivir fuera del hospedero por largos períodos de tiempo. Algunas de las especies de este género de bacterias, producen junto con la espora, un cristal proteico o cuerpo parasporal; entre éstas, *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), es la más conocida (De Bach & Rosen, 1991)

Esta bacteria fue aislada por primera vez en 1901 a partir de un gusano de seda muerto, sin embargo, fue hasta los años 50's cuando se encontró la relación existente entre la estructura cristalina producida por la bacteria y los efectos tóxicos observados al ponerla en contacto con larvas de insectos.

Los miembros del género *Bacillus* producen las enzimas catalasa y superóxido dismutasa. Como todas las bacterias formadoras de endosporas, este grupo ocurre naturalmente en la tierra. Las especies de bacterias pertenecientes al género *Bacillus*, se caracterizan por ser bacilos Gram-positivos móviles, con flagelos peritricos (insertados en muchos sitios alrededor de la superficie de la célula) y por producir endosporas; pueden ser aerobios obligados o facultativos (Brock & Madigan, 1993).

B. thuringiensis produce endosporas ovales de paredes delgadas en posición central, es una especie aerobia facultativa, termófila y acidófila que produce enzimas que le permiten hidrolizar la caseína y el almidón (Brock & Madigan, 1993). Esta especie se caracteriza por producir un cristal proteico durante el proceso de esporulación (figura 7) Dicho cristal está formado por una y más comúnmente por varias proteínas llamadas δ -endotoxinas o proteínas Cry, las cuales poseen actividad tóxica en diversos tipos de insectos (Lorence, 1996)

La primera descripción taxonómica válida de *B. thuringiensis*, se hizo en 1911; fue cuatro años después que se le dio el nombre con que hoy la denominamos. A partir de los estudios realizados en la década de los 50's, la comercialización de productos formulados con *Bt* tomó gran importancia en el mercado de los bioplaguicidas, al igual que las investigaciones en este campo (Lorence, 1996)

Figura 7. Sección de *Bacillus thuringiensis* durante el proceso de esporulación; se muestra la espora oval y el cuerpo cristalino parasporal.



Fuente: De Bach & Rosen, 1991

Se han descubierto subespecies y aislado cepas de *Bt*, cuyas propiedades tóxicas contra grupos de organismos plaga como lepidópteros y coleópteros, son muy poderosas.

Recientemente se ha visto que las toxinas Cry también poseen actividad en contra de nemátodos, platelmintos, ácaros, protozoarios, himenópteros y áfidos

Desde principios de siglo, y en particular a partir de la segunda mitad de la década de los 80's, se han registrado δ -endotoxinas con actividad tóxica específica hacia una gran diversidad de organismos que actúan como plaga. En la tabla 12 se señala el año en el que se encontró la actividad en contra de cada grupo de organismos

Tabla 12. Grupos de organismos contra los que se han detectado δ -endotoxinas con actividad tóxica específica, y año de su descubrimiento.

Grupo de organismos	Año de descubrimiento
Lepidópteros	1901
Dípteros	1977
Coleópteros	1983
Nemátodos	1988
Protozoarios	1989
Platelmintos	1990
Ácaros	1990
Himenópteros	1992

Fuente, Lorence, 1996

Esta gran diversidad de grupos de organismos blanco, ha llevado a pensar a científicos e industriales que, posiblemente existe una proteína Cry específica para cualquier grupo taxonómico de plaga. Por esta razón, existe una gran cantidad de investigadores, tanto en universidades como en la industria, y de recursos financieros destinados a la búsqueda de nuevas cepas que produzcan δ -endotoxinas más específicas y eficientes.

Los 20 tipos o variedades de *Bt* pueden ser clasificados en cinco grupos, de acuerdo a su actividad tóxica en contra de insectos: a) lepidóptero-específico, b) díptero-específico, c) coleóptero-específico, d) activo en contra de lepidópteros y dípteros, e) sin toxicidad registrada (De Bach & Rosen, 1991).

5.2 MECANISMO DE ACCIÓN

Además de la búsqueda de nuevas cepas de *Bt* que posean características tóxicas más acentuadas, la forma en que estas proteínas actúan es otra importante línea de investigación en este campo. Este conocimiento permitirá diseñar moléculas más potentes con nuevos y más amplio espectros de acción.

Actualmente, se sabe que las proteínas Cry se acumulan en la célula bacteriana, formando cristales durante el proceso de esporulación del bacilo. En forma cristalina, las proteínas se encuentran inmaduras y se les denomina prototoxinas que, para ser activas requieren de solubilizarse en las condiciones de pH extremo del intestino de los insectos; en ese mismo sitio se da una reacción de proteólisis necesaria para la activación de estas toxinas.

Los canales iónicos formados por las proteínas Cry, permiten el paso preferencial de cationes monovalentes, y pueden estar compuestos de una o de varias moléculas, por lo tanto su conductancia o la resistencia que debe vencer un ion para pasar a través de un canal, es muy variable. Cabe señalar, que los estudios de las propiedades de los canales formados a partir de δ -endotoxinas, se realizan con concentraciones micromolares de dichas proteínas, mientras que el efecto de éstas sobre las membranas de las células epiteliales, se produce a concentraciones nano o picomolares. Esto ha llevado a pensar que el receptor de las toxinas, reduce la concentración de proteína requerida para que éstas, o bien el complejo proteína-receptor, se inserten y formen poros en la membrana (Lorence, 1996)

Los productos maduros o toxinas, se unen a receptores localizados en la microvellosidad apical de las células epiteliales del intestino medio, en cuya membrana plasmática se insertarán, después de haber sufrido un cambio conformacional ocasionado como consecuencia de la interacción con el receptor. Esta inserción conduce a la formación y apertura de canales iónicos que alteran de manera irreversible la homeostasis celular, dado que a través de estos canales se da una entrada masiva de agua, lo que destruye el tejido epitelial del intestino y

lleva a la muerte de las larvas que ingieren las toxinas del *Bt*. En los últimos años se ha descrito a los receptores epiteliales, como aminopeptidasas de tipo N que se encuentran unidas a las membranas celulares por medio de anclas de glicosil-fosfatidil-inositol (Lorence, 1996)

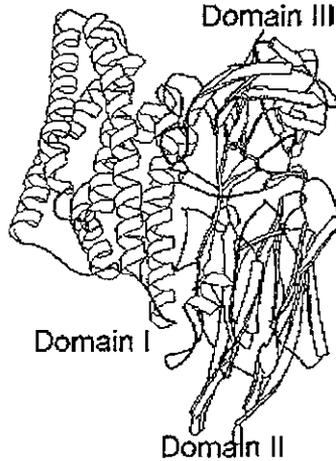
Se ha propuesto que al formar poros en la membrana, las δ -endotoxinas causan la muerte de las células epiteliales, por inactivar el sistema que mantiene el gradiente de pH; esta inactivación es el resultado de la alteración de la permeabilidad de la membrana, la cual en condiciones fisiológicas es poco permeable a cationes. Al perderse la fuerza motriz que mantiene el gradiente de mil veces más concentración de protones en el citoplasma que en el lumen intestinal, el primero se alcaliniza y esto interfiere con el metabolismo celular normal, teniendo como consecuencia final la destrucción del tejido intestinal. Cuando esta barrera mecánica se destruye, las esporas de patógenos localizadas en el ambiente tienen acceso a la hemolinfa, en donde proliferan gracias a la gran cantidad de nutrientes que ahí encuentran. Las larvas mueren entonces por inanición y por septicemia, en un lapso de 30 minutos a 3 días después de la ingestión de las toxinas (Persley, 1990)

A partir de diversos experimentos *in vitro*, los investigadores han señalado dos posibles mecanismos de acción para las δ -endotoxinas. Estas moléculas podrían inducir la apertura de alguna de las proteínas endógenas que permiten el paso de iones a través de la membrana que contiene a su receptor, es decir, se abre algún canal preexistente selectivo para cationes; o bien, las proteínas Cry forman *de novo* un canal iónico con o sin la ayuda del receptor, el cual será selectivo para cationes. Algunas δ -endotoxinas han sido estudiadas mediante su incorporación a bicapas planas formadas a partir de lípidos sintéticos. De esta manera se ha podido comprobar que dichas moléculas son capaces de formar canales iónicos en membranas lipídicas sin la presencia de receptores (Lorence, 1996).

Hasta ahora, se han descrito por lo menos cincuenta y dos genes cry diferentes, y se les ha clasificado en quince grupos (éstos a su vez divididos en subgrupos), de acuerdo con la similitud de la secuencia de aminoácidos que codifican. Además, mediante técnicas de alineación de la estructura primaria de la región tóxica de las proteínas Cry, se han identificado cinco regiones muy conservadas que están separadas por otras de escaso parecido y longitud variable (Lorence, 1996).

La estructura tridimensional de la porción tóxica de una de las proteínas Cry, la Cry3A de *Bacillus thuringiensis tenebrionis* ha sido determinada mediante difracción de rayos X, lo que ha permitido observar que la proteína se encuentra estructuralmente organizada en tres regiones, cada una con un plegamiento distinto o dominio. Cada dominio se ha asociado con una función específica.

Figura 8. Representación en forma de listones de la estructura tridimensional de la toxina Cry3A de *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*. El dominio I está constituido por siete α -hélices anfipáticas, seis de ellas están arregladas alrededor de una central, la α -hélice 5. El dominio II está formado por tres láminas β que terminan en asas en el vértice de la molécula; a esta topología se le conoce como prisma β . El dominio III tiene una estructura tipo β -emparedado, con una topología típica de doble hélice β .



Fuente: Li, J, *et al.*, 1991

- Dominio I (residuos 1 a 290), está constituido por siete α -hélices, seis de ellas poseen carácter anfipático y rodean a la α -hélice 5, la cual tiene características hidrofóbicas. Estos rasgos son propios de una estructura formadora de poros.
- Dominio II (residuos 291 a 500), está formado por tres láminas β -antiparalelas, que terminan en asas o rizados en el vértice de la molécula; a esta conformación se le ha llamado prisma β . La región que forma las asas es la menos conservada (región hipervariable); el intercambio de fragmentos de la región hipervariable entre tres proteínas muy relacionadas, resultó en el intercambio de especificidades, por lo que la función que se ha asignado a este dominio es la de ligando del receptor.
- Dominio III, también está compuesto por láminas β -plegadas arregladas en forma de emparedado (topología conocida como doble hélice β), las toxinas que presentan mutaciones en este dominio son sumamente inestables al tratamiento con proteasas, por lo que se piensa que su función está relacionada con la estabilidad estructural de la molécula, es decir, confiere resistencia a la proteólisis (Lorence, 1996).

Estos dominios constituyen la parte central de la molécula, y se cree que todas las proteínas Cry comparten estas características estructurales y funcionales, dado que las cinco regiones o bloques conservados de aminoácidos en las secuencias

de las proteínas de la familia Cry, se encuentran en estos tres dominios. Estudios comparativos de la estructura de las proteínas Cry3A y Cry1Aa, muestran que la única diferencia significativa entre estas dos moléculas, es la longitud de las asas que unen a las hojas β del dominio central. Información que favorece la idea referente a la región que forma estas asas, como determinante para la diferente especificidad de cada una de las proteínas Cry.

Se ha obtenido evidencia de que el dominio I, en particular la región conservada 1, está directamente relacionado con la formación del poro. Se hicieron proteínas Cry1Ac mutantes en la α -5, y para el caso de aquéllas que fueron alteradas mediante la inserción de residuos cargados o residuos de prolina, la efectividad para unirse al receptor en vesículas de membrana de la microvellosidad apical del intestino medio de tres insectos susceptibles (*Manduca sexta*, *Heliothis virescens* y *Trchoplusia ni*), se vio notablemente disminuida (entre diez y mil veces) (Wu & Aronson, 1992)

Se comprobó también que estas mutantes perdieron la capacidad para inhibir el transporte de leucina dependiente del gradiente de K^+ en las vesículas de membrana antes mencionadas, lo cual muestra de manera indirecta, que estas proteínas manipuladas fueron incapaces de alterar la permeabilidad de dichas membranas.

Por otro lado, se sintetizaron péptidos de la región correspondiente a la α -5 de Cry3A y Cry1Ac, ambos péptidos conservaron la capacidad de la molécula completa para formar canales iónicos selectivos para cationes en bicapas lipídicas sintéticas, lo cual apoya la hipótesis de que la α -hélice central es un componente estructural de los poros formados por las δ -endotoxinas (Gazit & Shai, 1995. Cummings *et al*, 1994).

Dean *et al* (1995), propone que por lo menos otra de las α -hélices que integran al dominio I (la α -7), podría participar también en la estructura del poro; otra teoría postula que esta hélice podría participar en conjunto con la β -1 del dominio II en la formación de un puente de comunicación entre estos dos dominios, el cual permite a la molécula hacer el cambio conformacional necesario para que ésta pase de su estado soluble en agua, a uno que le permita insertarse en un medio ambiente hidrofóbico como el presente en el interior de las membranas biológicas

Mediante experimentos de mutagénesis dirigida, es decir, ensayos en los que uno o varios de los residuos aminoacídicos presentes en una proteína, son sustituidos por otros, se ha podido comprobar que las regiones determinantes de la alta especificidad de cada una de las δ -endotoxinas activas en una especie determinada, es la correspondiente a las asas que se localizan en el vértice de la molécula, en la región del dominio II. Cuando se ha inducido una mutación en este fragmento, se ha observado que las proteínas Cry mutantes presentan modificaciones importantes en cuanto a su afinidad de unión con el receptor en todos los casos

Tres de las cinco regiones de aminoácidos conservadas dentro de la familia Cry se localizan en el dominio III. La evidencia obtenida por diversos investigadores indica que la preservación de la integridad de la molécula, depende de que se conserve la estructura globular de este dominio. Dicha estructura depende de que se mantengan las fuertes interacciones (puentes salinos) entre los residuos cargados positivamente de uno de los bloques y sus contrapartes negativas de otro (Nishimoto, *et al*, 1994).

Resultados de experimentos en los que se han intercambiado fragmentos entre las proteínas Cry1Aa y Cry1Ac y se ha analizado la interacción entre las proteínas quiméricas y su receptor proveniente de *Lymantria dispar*, sugieren que algunos residuos del dominio III también participan en la interacción con el receptor, pero aún se desconoce si esta es una función general de este dominio de las δ -endotoxinas (Lee, *et al*, 1995).

5.3 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN

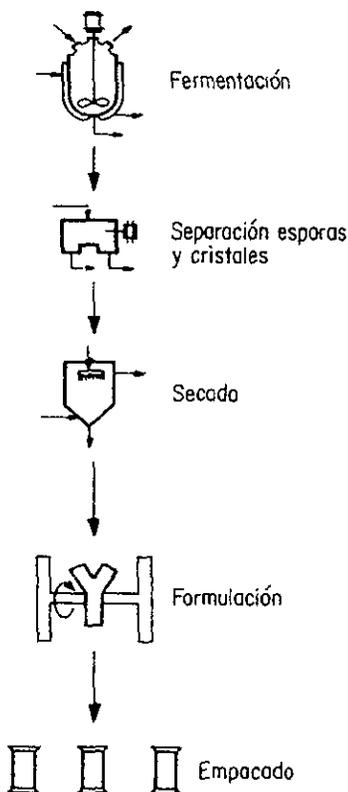
El proceso de producción de bioinsecticidas basados en *Bt* no es complicado. En términos generales, este proceso consta de las etapas siguientes: a) fermentación; b) separación de esporas y cristales del medio de cultivo; c) secado; d) formulación; e) empaçado (figura 9).

La producción debe iniciarse con la preparación del inóculo de bacterias que servirán como punto de partida para la fermentación. Se recomienda que dicho inóculo sea preparado utilizando un liofilizado de la cepa deseada para asegurar la viabilidad del cultivo; este liofilizado se siembra generalmente en un tubo inclinado con agar y a partir de éste se harán inoculaciones en matraces de 500 ml en un inicio, y en tanques semilla después. El tamaño del inóculo es un parámetro importante en la producción de las δ -endotoxinas. Se recomienda usar el 15% v/v de inóculo para obtener buenos rendimientos.

La tecnología más usada para la producción de *Bt* es la fermentación sumergida en biorreactores aireados y agitados. Los detalles de la fermentación, el proceso de recuperación y purificación de las esporas y cristales, y la formulación de los productos se mantienen como secretos industriales. Sin embargo, el proceso de fermentación es principalmente empírico y las características del medio de cultivo deben ser determinadas para cada cepa en particular.

El proceso de fermentación se lleva a cabo por lotes en biorreactores convencionales cerrados y provistos de un sistema de aireación y agitación. A partir de la inoculación, el control del proceso consiste en mantener fijos el pH, la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en el seno del líquido, ya que estos parámetros son los que determinarán la calidad del lote.

Figura 9. Proceso básico para la producción de bioplaguicidas basados en *Bacillus thuringiensis*.



Fuente: Lorence, 1996.

El pH de crecimiento óptimo para *Bt*, es cercano a la neutralidad (7), mientras que su temperatura óptima es de 29 a 30 °C. El nivel de oxigenación no debe ser menor del 20%, lo cual se logra manteniendo la aireación entre 0.3 y 1 volumen de aire por volumen medio de cultivo (v v.m.) y de 150 a 800 revoluciones por minuto (r.p.m) dependiendo del tamaño del tanque. Esta etapa dura aproximadamente entre 30 y 40 horas

El cultivo de las cepas de *Bt* es sencillo, se emplean medios artificiales ya que sus requerimientos nutricionales no son muy complicados; los bacilos, en general, crecen bien en medios sintéticos que contengan azúcares, ácidos orgánicos, alcoholes, etc como fuentes únicas de carbono, y amonio como única fuente de

nitrógeno (Brock & Madigan, 1993) En general, se emplean materias primas baratas para producir la máxima cantidad de ingrediente activo al menor costo.

Se deben elegir como materias primas para la elaboración del medio de cultivo, aquéllas que están disponibles durante todo el año; para lograr desarrollar un proceso reproducible lote a lote, se debe asegurar la uniformidad de las materias primas.

Las fuentes de carbono y nitrógeno usadas para el cultivo de *Bt* son materiales que contienen proteína insoluble, como melaza, líquido de remojo de maíz y harina de soya. *Bt* puede nutrirse de ese material, ya que produce grandes cantidades de enzimas extracelulares que le permiten solubilizarlo y degradarlo.

Para el caso de cepas obtenidas mediante manipulación genética, es posible desarrollar un proceso de producción industrial adecuado para cada una de ellas, mediante la inserción de los genes deseados en una cepa receptora de la cual ya se tenga conocimiento preciso de sus requerimientos nutricionales y de la tecnología de fermentación y formulación del producto final.

Posteriormente, por medio de un proceso de centrifugación, se separan las esporas y cristales del medio de cultivo y los restos celulares. Se recomienda lavar exhaustivamente con agua los sólidos de interés, ya que algunos compuestos contenidos en el medio de cultivo, contribuyen a incrementar de manera significativa la susceptibilidad de los cristales a la degradación por acción de los rayos ultravioleta del sol (UV).

Después, las esporas y cristales se deben someter a un proceso de secado por aspersión, con la finalidad de obtener un polvo seco que es el material con el que se formulará el producto final.

Los bioplaguicidas basados en *Bt* se han formulado de diversas maneras. Se tienen presentaciones como polvos humectables, gránulos dispersables, microgránulos y líquidos emulsificables de base acuosa u oleosa.

Los productos sólidos se formulan generalmente usando como soporte materiales inertes como borosilicatos, carbonatos, sulfatos, fosfatos o bien, materiales biológicos como la raspa de la mazorca del maíz después de desgranada, cáscara de arroz o cáscara de nuez; este tipo de productos por lo común incluyen además, adyuvantes para la dispersión, agentes estabilizantes y emulsificantes. Las formulaciones líquidas generalmente incluyen agentes reológicos, tensoactivos y emulsificantes.

Un ingrediente común en ambos tipos de formulaciones son los fotoprotectores ya que la inactivación de las preparaciones de *Bt* por acción de los rayos UV, es un problema que afecta la persistencia de estos productos, y por lo tanto su eficacia.

En el Anexo I se da un diagrama de flujo y una breve descripción del proceso de producción de plaguicidas a base de *Bt*, a escala industrial.

Debido a que los plaguicidas *Bt* deben ser aplicados sobre las hojas, su efectividad también se ve afectada por las lluvias y la irrigación, que lavan las hojas sin intención (Quintero, *et al*, 1997). La mayoría de los insecticidas basados en *Bt* pueden combinarse con otros agroquímicos como algunos plaguicidas, herbicidas y aditivos que promueven el apetito de los insectos.

Las dosis empleadas por hectárea varían de 50 miligramos a un kilo. Los productos se aplican a las plantas, suelo, agua o granos almacenados por aspersión o espolvoreo, para lo cual se emplea equipo convencional.

5.3.1 Cepas de *Bt* hiperproductoras

Uno de los aspectos críticos en la producción de plaguicidas *Bt*, es la disponibilidad de las cepas productoras de alto rendimiento y de acción específica contra la plaga que se desea combatir. Según Quintero, *et al* (1997), las variedades de *Bt* de mayor uso en el mercado son las siguientes:

- La variedad *kurstaki* ha sido usada durante muchos años para el control de larvas de lepidópteros. Los nombres de los productos comerciales conocidos en México, formulados a partir de toxinas producidas por esta variedad son "Biobit", "Condor", "Cutlass", "Dipel", "Javelin" y "Larvo-Bt"
- La variedad *aizawai* también es activa en contra de larvas de lepidópteros y se ha reportado que puede ser más efectiva contra ciertas especies que la variedad anterior. A partir de esta variedad se producen plaguicidas comerciales como "Xentari". También existen plaguicidas *Bt* que consisten en una combinación de cepas *kurstaki* y *aizawai*
- Un tercer tipo de *Bt*, es la variedad *tenebrionis*, la cual se aplica en el control de larvas de coleópteros y a partir de la cual se han comercializado productos como "Novodor" y encapsulados de toxinas *Bt* en *Pseudomonas* muertas como "M-Trak". Existe también un producto comercial llamado "Foli" que resulta de la combinación de *tenebrionis* y *kurstaki*.
- Una cuarta variedad de *Bt*, es la conocida como *israelensis*, la cual tiene alta actividad en contra de larvas de dípteros. Esta variedad sirve para la formulación de productos comerciales como "Bactimos", "Skeetal" y "Vectobac", entre otros

Dado que las cepas son un factor esencial para la producción de plaguicidas *Bt*, se deben buscar aquellas que posibilitan una producción eficiente. Si bien el acceso a las cepas que son propiedad de grandes empresas multinacionales no está cerrado totalmente, se pueden utilizar cepas nativas o desarrolladas localmente. Otra posibilidad para la producción de estos insumos, es el establecimiento de acuerdos de colaboración entre instituciones de investigación (Quintero, *et al*, 1997).

5.3.2 Formulación de plaguicidas *Bt*

El objetivo de una formulación, es proveer la combinación correcta de ingredientes que ofrezca un producto estable, seguro, efectivo y fácil de aplicar. Como ya se mencionó, las formulaciones *Bt* más comunes en el mercado son:

Polvos: formulados para su aplicación directa en las plantas. En esta modalidad, la materia activa se encuentra dispersada en un vehículo inerte sólido, como los talcos de silicatos, la piedra caliza o las tierras de diatomeas. A este tipo de agentes se agregan otros que dan estabilidad física contra la lluvia, por ejemplo, adherentes como dextrinas, gelatinas, albúminas y gomas diversas, además se añaden agentes que propician la fluidez como los silicatos aluminico-sódicos. Las concentraciones del principio activo en este tipo de polvos alcanzan hasta el 20% (Quintero, *et al*, 1997).

Granulados: se aplican directamente en las plantas y también en el terreno. Su apariencia es arenosa, con tamaños de partícula de 0.2 a 1.5 mm. Se preparan con agentes activos en un rango de 5 a 20% y el resto está compuesto por un soporte de vermiculita, kaolinita o attapulguita, entre otros materiales capaces de absorber el principio activo. Se recomienda este tipo de formulaciones para combatir plagas que pasan la mayor parte del tiempo en el suelo. La mayoría de los productos comerciales se presentan en esta modalidad (Quintero, *et al*, 1997).

Polvos humectables: caracterizadas por su capacidad de absorber agua y conservar la propiedad de mantenerse suspendidas durante el tiempo necesario para ser efectivas contra insectos, sin que se depositen en el seno del líquido. El principio activo, generalmente insoluble o muy poco soluble, está disperso en un material inerte, al cual se adicionan agentes humectantes como sulfonatos de alquilbenceno y alquilnaftaleno, alcoholes grasos sulfatados, aminas y aceites vegetales; también se agregan agentes de suspensión como caseinatos, carragenanos, almidón, material de celulosa y alcohol polivinílico, y agentes adherentes y estabilizantes (Quintero, *et al*, 1997).

Líquidos emulsionables, comprenden una solución del principio activo en un agente que al contacto con el agua produce emulsiones. Las concentraciones usuales de principio activo en esta presentación, van del 10 al 45%. La formulación comprende, además, agentes de suspensión, tensoactivos, dispersantes y el vehículo a base de agua o aceite (Quintero, *et al*, 1997)

Sistemas de liberación controlada, aunque son aplicaciones que se usan más en la industria farmacéutica, estos sistemas de liberación prolongada se basan en el uso de formas encapsuladas en un material biodegradable con feromonas atrayentes y modificadores químicos del comportamiento de los principios activos. Existen muchos sistemas de liberación controlada, como los reservorios, preparaciones de fibras huecas, plásticos porosos impregnados, espumas, etc (Quintero, *et al*, 1997)

5.4 PRODUCTOS COMERCIALES BASADOS EN *Bt*

Los productos del metabolismo de *Bt* con aplicación bioplaguicida (esporas y cristales), han sido usados como principio activo de insecticidas comerciales para controlar plagas agrícolas y forestales y como control de vectores de enfermedades. En realidad, la mayoría de las preparaciones comerciales basadas en *Bt*, son una mezcla de esporas y cristales (Persley, 1990).

En Europa, el uso de bioplaguicidas formulados con *Bt* se remonta a los años treinta; en Estado Unidos se han usado a partir de 1961, año en el que se registró el primer producto. En México fue hasta fines de los años sesenta cuando *Bt* comenzó a usarse en los campos agrícolas (Matten, *et al*, 1993)

La ventaja más relevante de los productos formulados a base de las esporas y cristales producidos por *Bt*, es su especificidad. Esto implica que no son tóxicos para los humanos ni para otros mamíferos, aves, plantas, ni insectos benéficos, aunque existen evaluaciones sobre la incorporación de los productos *Bt* a la microflora del suelo. Su baja persistencia en el ambiente y la baja tasa de desarrollo de resistencia por parte de los insectos hacia estos productos, son otras cualidades importantes. Sin embargo, se reconoce que se han realizado pocos estudios relacionados con los efectos de *Bt* sobre la salud humana y sobre el ambiente, además de que no se conoce mucho sobre la ecología de esta bacteria.

Según Lorence (1996), dentro de los principales productos comerciales basados en *Bt*, se distinguen tres grupos principales:

1. Primera generación: son aquéllos cuyo ingrediente activo es un conjunto de toxinas y esporas provenientes de una cepa nativa, generalmente aislada del suelo. Entre los productos comerciales de este tipo están "Dipel" producido por Abbott Laboratories y "Javelin" producido por Novartis, ambos productos están formulados con la misma cepa bacteriana, la HD-1 (*Bt kurstaki*), la cual ha sido la de mayor éxito comercial y es la base de la mayor parte de los productos registrados. Esta cepa es entre veinte y doscientas veces más potente que el resto de las cepas conocidas, ya que produce una combinación de cinco toxinas diferentes, de las cuales tres son activas contra lepidópteros (Cry1Aa, Cry1Ab y Cry1Ac), y dos son activas contra dípteros (Cry2A y Cry2B).
2. Segunda generación, son los constituidos por un conjunto de toxinas y esporas provenientes de una cepa en la que previamente se introdujeron, por medio de un proceso de conjugación, los plásmidos en donde están contenidos los genes cry de varias cepas nativas. El proceso de conjugación consiste en la transferencia entre dos bacterias, de pequeños trozos circulares de DNA extracromosomal denominados plásmidos, mediante la formación de puentes citoplasmáticos entre ellas. Entre este tipo de productos se encuentra "Agree" producido por Novartis y "Foil" producido por Ecogen.

3. Tercera generación: son los que en su formulación contienen bacterias muertas de la especie *Pseudomonas fluorescens*, a las que previamente les fueron insertados los genes que codifican para las δ -endotoxinas provenientes de *Bt*. La tecnología empleada para la elaboración de este tipo de productos, es conocida como "CellCap", y consiste en que una vez que las células recombinantes de *P. fluorescens* producen las toxinas de *Bt* en forma de cristales, éstas son tratadas con solventes que las mata pero que deja intacta su pared celular, por lo que se dice que las toxinas quedan encapsuladas; esta tecnología y los productos elaborados con la misma son propiedad de la empresa Mycogen. Existen en el mercado tres productos principales elaborados con dicha tecnología, registrados y comercializados en Estados Unidos: "MVP" para control de orugas, "M-Trak" para el control de escarabajos y "M-Peril" para el control específico del barrenador del maíz.

A continuación se muestra una tabla con los principales productos comerciales basados en *Bt*. La producción debe iniciarse con la preparación del inóculo de bacterias que servirán como punto de partida para la fermentación. Se recomienda que dicho inóculo sea preparado utilizando un liofilizado de la cepa deseada para asegurar la viabilidad del cultivo; este liofilizado se siembra generalmente en un tubo inclinado con agar y a partir de éste se harán inoculaciones en matraces de 500 ml en un inicio, y en tanques semilla después. El tamaño del inóculo es un parámetro importante en la producción de las δ -endotoxinas. Se recomienda usar el 15% v/v de inóculo para obtener buenos rendimientos.

La tecnología más usada para la producción de *Bt* es la fermentación sumergida en biorreactores aireados y agitados. Los detalles de la fermentación, el proceso de recuperación y purificación de las esporas y cristales, y la formulación de los productos se mantienen como secretos industriales. Sin embargo, el proceso de fermentación es principalmente empírico y las características del medio de cultivo deben ser determinadas para cada cepa en particular.

El proceso de fermentación se lleva a cabo por lotes en biorreactores convencionales cerrados y provistos de un sistema de aireación y agitación. A partir de la inoculación, el control del proceso consiste en mantener fijos el pH, la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en el seno del líquido, ya que estos parámetros son los que determinarán la calidad del lote.

Tabla 13. Principales productos comerciales basados en las toxinas producidas por *Bacillus thuringiensis*.

Compañía	Producto	Variedad/Cepa	Blanco	Proteínas
Abbott Labs.	Dibeta	N.D./N.D.	*	β-exotoxina
	Dipel	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Diterra	<i>tenebrionis</i> /8a8b	C	3A
	Gnatrol	<i>israelensis</i> /14	D	N.D.
	Xentari	N.D./N.D.	L	1Aa, 1Ab, 1C y 1D
All Union Inst. Agr. Microbiol	Biotoxybacillin	N.D./N.D.	*	β-exotoxina
American Cyanamid	Acrobe	<i>israelensis</i> /14	D	N.D.
Bacter	Beman <i>Bt</i>	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
Biochem Products	Bactmos	<i>israelensis</i> /14	D	N.D.
Chemapol-Biokma	Bathurin	<i>thuringiensis</i> /1	L	N.D.
Compagnia di Ricerca Chim (CRC)	Bactis	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
	Bactucide	<i>israelensis</i> /14	D	N.D.
	Exobac	N.D./N.D.	*	β-exotoxina
Ecogen, Inc.	Condor _a	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Cutlass _a	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Foit _a	N.D./N.D.	L/C	1Ac y 3A
	Raven _a	<i>kurstakii</i> /3a3b	L/C	1Ac, 3A y 3Bb
Farbwerke-Hoechst	Biospor	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
Fermenta ASC Corp.	Cutlass	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
Famos	Muscabac	<i>thuringiensis</i> /1	L	N.D.
Glavmikrobioprom	Dendrobacillin	<i>dendrolimus</i> /4	L	N.D.
	Endobacterin	<i>galleriae</i> /5 ^a 5b	L	N.D.
	Exsotoksin	<i>tolworth</i> /9	*	β-exotoxina
	Insektin	<i>thuringiensis</i> /1	L	N.D.
	Toxobacterin	<i>tolworth</i> /9	*	β-exotoxina
Grain Proc. Lab.	Parasporin	N.D./N.D.	L	N.D.
ICI Americas, Inc.	Ecodart	N.D./N.D.	N.D.	N.D.
Knoll Bioprod. Co. Inc.	Larvo- <i>Bt</i>	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
Korea Explosives	<i>Bt</i>	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
Kyowa Hakko Kogyo Co., Ltd	Selectgyn	<i>aizawai</i> /7	L	N.D.
LIBEC Laboratoire	Sporine	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
Merck	Agritol	N.D./N.D.	N.D.	N.D.
Mycogen	M-One	<i>tenebrionis</i> /8a8b	C	3A
	M-Peril _b	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
	M-trak _b	<i>sandiego</i> /8a8b	C	3A
	MVP _b	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Ab
Nor-Am Chemical Co.	SOK	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
Novartis	Agree _a	N.D./N.D.	L	1Aa, 1Ac, 1C y 1D
	Javelin	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Thuricide	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Certan	<i>aizawai</i> /7	L	N.D.
	Teknar	<i>israelensis</i> /14	D	N.D.
	Trident	<i>tenebrionis</i> /8a8b	C	3A
	Trident II	<i>tenebrionis</i> /8a8b	C	3A
	Vault	<i>kurstakii</i> /3a3b	L	N.D.
Delfin	N.D.	N.D.	N.D.	

Novo Nordisk	Biobit	<i>kurstakil3a3b</i>	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Foray 48B	<i>kurstakil3a3b</i>	L	1Aa,1Ab,1Ac, 2A y 2B
	Novodor	<i>tenebrionis/8a8b</i>	C	3A
	Skeetal	<i>israelensis/14</i>	D	N.D
Nutrilite Prod.	Biotrol BTB	N.D./N.D.	L	N.D
Pfizer	Envirobac-ES	N.D./N.D.	N.D.	N.D.
Phillips Duphar (Chemargo)	Bactospeine	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D.
	Bactimos	<i>israelensis/14</i>	D	N.D.
	Futura	N.D./N.D.	N.D.	N.D.
Procida	Plantibac	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D.
Radonja	Baturad	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D
	Nubilacid	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D
	Moskitocid	<i>israelensis/14</i>	D	N.D
Rohm and Hass	Bakhane	N.D./N.D.	N.D.	N.D.
Serun Zavod Kalinovica	Baktukal	<i>thuringiensis/1</i>	L	N.D.
Shionogi and Co., Ltd	Bacillex	<i>kurstakil3a3b y 7</i>	L	N.D.
Thompson-Hayward Chem. Co	Bactur	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D.
Towagosei Chem K.K.	Toaro-Ct	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D.
	Toaro	<i>kurstakil3a3b</i>	L	N.D.

Fuente. Adaptación de Bravo, *et al* (1992) en Lorence (1996).

N.D. = no disponible; * = no específico, a = curación de plásmidos y conjugación, b = tecnología "CellCap"; L = lepidópteros; C = coleópteros, D = dípteros

5.5 PLANTAS TRANSGÉNICAS PRODUCTORAS DE TOXINAS *Bt*

Varios grupos de investigación han dedicado su esfuerzo al desarrollo de plantas que expresen los genes *cry* de *Bt*, desde 1987 y hasta la fecha. Dicha expresión puede darse de manera constitutiva, lo cual implica que la proteína codificada por el gen se produce en todos los tejidos y órganos de la planta, o bien puede ser tejido específica, es decir, los genes se expresan sólo en ciertos tejidos vegetales.

El desarrollo de las técnicas adecuadas para la introducción de los genes que codifican para las δ -endotoxinas en otros organismos, ha permitido elaborar nuevas estrategias para proteger a los cultivos del daño causado por diversos tipos de plagas.

Para lograr que a partir de estos genes se produzca suficiente proteína, ha sido necesario modificar el material genético proveniente de la bacteria, para lograr el uso preferencial de codones de las plantas. Esto es porque la preferencia de uso de ciertos tripletes para determinado aminoácido, es diferente en bacterias que en plantas; por ejemplo, en *Bt* la lisina se acopla más frecuentemente con AAA (tripleto adenina-adenina-adenina), mientras que en la planta de maíz es con AAG (tripleto adenina-adenina-guanina). Esta modificación del uso preferencial de codones implica que el gen que se introducirá a la planta se debe sintetizar químicamente con base en la secuencia de aminoácidos de la proteína o proteínas de que se trate.

La mayoría de las empresas líderes en el desarrollo de plantas transgénicas, son transnacionales y estadounidenses. Entre 1987 y 1995 se realizaron en Estados Unidos 2 261 pruebas de campo con plantas transgénicas en 7 095 lugares diferentes. Del total, 23.1% son plantas resistentes a insectos (gracias a la introducción de los genes cry de *Bt*), 27.8% son resistentes a herbicidas, 26.8% presentan características mejoradas, 11.5% son resistentes a virus y 2.9% son resistentes a hongos.

En la tabla 14 se presenta una lista de las plantas transgénicas que han sido aprobadas en Estados Unidos para su producción masiva. Las empresas líderes en este rubro son Monsanto, AgrEvo y Calgene, las cuales han desarrollado 21, 13 y 11 variedades transgénicas respectivamente.

Los cultivos de los que se han desarrollado más variedades transgénicas son el maíz, el tomate y el ajonjolí. Las modificaciones genéticas más comunes han sido la tolerancia a herbicidas, la resistencia a insectos y la madurez retardada (calidad mejorada), con 26, 19 y 16 variedades aprobadas respectivamente, como se muestra en las figuras 10a y 10b. Plantas con estas características han sido liberadas al campo bajo permiso del gobierno de los Estados Unidos, como se muestra en la figura 11.

Tabla 14. Plantas transgénicas aprobadas en Estados Unidos.

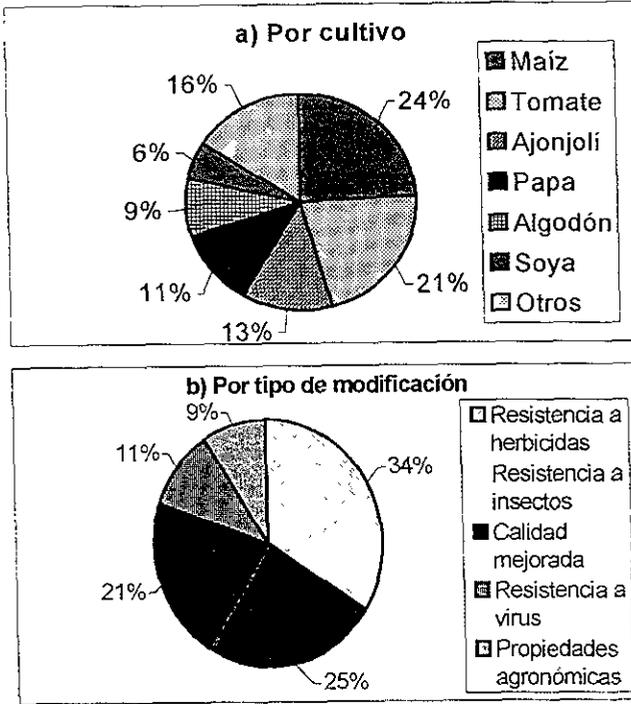
Cultivo	Empresa	Característica	Fecha
Tomate	Calgene	Madurez retardada	06/92
Calabaza	Unjohn	Resistencia a dos virus	07/92
Algodón	Calgene	Tolerancia a herbicidas	07/93
Soya	Monsanto	Tolerancia a herbicidas	09/93
Ajonjolí	Calgene	Modificación del aceite	03/94
Ajonjolí	Zeneca & Petoseed	Madurez retardada	07/94
Ajonjolí	Calgene	Madurez retardada	08/94
Tomate	Calgene	Madurez retardada	08/94
Tomate	Calgene	Madurez retardada	08/94
Papa	Monsanto	Resistencia a coleópteros	09/94
Tomate	Zeneca & Petoseed	Madurez retardada	10/94
Algodón	Monsanto	Resistencia a coleópteros	11/94
Algodón	Ciba Geigy	Resistencia a coleópteros	11/94
Maíz	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	12/94
Tomate	Calgene	Madurez retardada	01/95
Algodón	Monsanto	Tolerancia a herbicidas	02/95
Tomate	Monsanto	Madurez retardada	02/95
Maíz	Monsanto	Resistencia a lepidópteros	04/95
Tomate	Calgene	Madurez retardada	05/95
Maíz	DeKalb	Tolerancia a herbicidas	05/95
Tomate	Calgene	Madurez retardada	06/95
Maíz	Northrup King	Resistencia a lepidópteros	07/95
Maíz	Plant Genetic Systems	Plantas estériles	08/95
Algodón	DuPont	Tolerancia a herbicidas	09/95

Tomate	Monsanto	Resistencia a coleópteros	10/95
Papa	Agntope	Madurez retardada	11/95
Soya	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	12/95
Papa	Monsanto	Resistencia a coleópteros	12/95
Calabaza	Asgrow	Resistencia a tres virus	12/95
Papaya	Cornell University	Resistencia a virus	12/95
Maíz	Monsanto	Resistencia a lepidópteros	01/96
Papaya	Cornell University	Resistencia a virus	02/96
Soya	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	03/96
Maíz	DeKalb	Resistencia a lepidópteros	08/96
Maíz	Monsanto	Tolerancia a herbicidas Resistencia a lepidópteros	08/96
Tomate	Calgene	Madurez retardada	09/96
Maíz	DeKalb	Resistencia a lepidópteros	11/96
Maíz	Monsanto	Tolerancia a herbicidas Resistencia a lepidópteros	11/96
Maíz	Monsanto	Tolerancia a herbicidas	11/96
Soya	DuPont	Modificación del aceite	11/96
Ajonjolí	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	12/96
Soya	DuPont	Modificación del aceite	01/97
Algodón	Calgene	Tolerancia a herbicidas Resistencia a lepidópteros	01/97
Algodón	Monsanto	Resistencia a lepidópteros	02/97
Ajonjolí	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	04/97
Maíz	Monsanto	Tolerancia a herbicidas	04/97
Colza	Bejo	Madurez retardada	05/97
Papa	Monsanto	Resistencia a virus y a coleópteros	07/97
Ajonjolí	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	07/97
Maíz	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas Resistencia a lepidópteros	09/97
Tomate	Monsanto	Resistencia a lepidópteros	10/97
Remolacha	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	12/97
Papa	Monsanto	Resistencia a virus y a coleópteros	12/97
Papa	Monsanto	Resistencia a virus y a coleópteros	12/97
Maíz	Pioneer	Tolerancia a herbicidas	12/97
Soya	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	01/98
Remolacha	Novartis Seeds	Tolerancia a herbicidas	06/98
Ajonjolí	Monsanto	Tolerancia a herbicidas	08/98
Soya	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	08/98
Ajonjolí	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	10/98
Arroz	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	11/98
Maíz	AgrEvo	Tolerancia a herbicidas	12/98
Melón	Agntope	Madurez retardada	12/98
Papa	Monsanto	N D	04/99
Maíz	Mycogen	N D	06/99
Papa	Monsanto	N D	06/99
Tomate	DNA Plant Technology	N D	07/99

N D No disponible

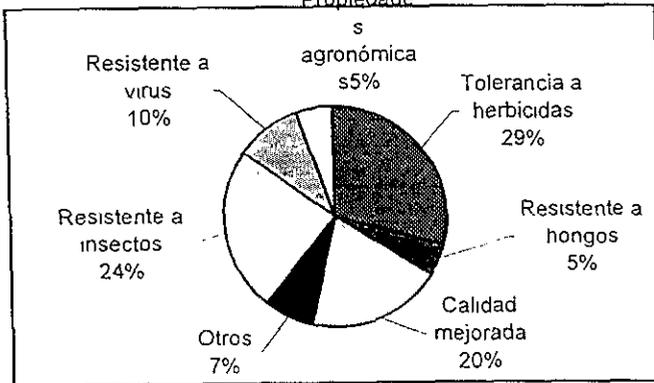
Fuente: Elaboración propia a partir de <http://www.aphis.usda.gov/biotech/petday.html>

Figura 10. Plantas transgénicas aprobadas en Estados Unidos (1992-1999).



Fuente. Elaboración propia a partir de <http://www.aphis.usda.gov/biotech/pctday.html>

Figura 11. Liberaciones al campo*: Categorías más frecuentes (1987-1999).



* Permisos y notificaciones otorgados

Fuente. <http://www.aphis.usda.gov/biotech/pctday.html>

El CIMMYT (Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y del Trigo), con sede en México, es uno de los centros de investigación y desarrollo financiados por el CGIAR. Ahí se ha desarrollado una variedad de maíz resistente a lepidópteros, la cual fue sembrada el 29 de febrero de 1996 en Tlaltzapán, Morelos. Para poder llevar a cabo las pruebas de campo, fue necesario realizar previamente un taller internacional al cual fueron convocados los especialistas de México y el mundo, con el propósito de determinar las medidas de bioseguridad convenientes para liberar al medio ambiente esta variedad modificada y prever los problemas que implicaría el intercambio de material genético entre el maíz modificado y el teocintle, posible ancestro del maíz.

5.6 NUEVOS SISTEMAS DE LIBERACIÓN DE LAS TOXINAS DE *Bt*

Desde hace varios años se han desarrollado proyectos de investigación con la finalidad de introducir los genes *cry* en otros microorganismos para usarlos como sistemas alternativos de liberación de δ -endotoxinas. Algunos de éstos se presentan en la tabla 15. Se ha aceptado que dichas sustancias representan un mecanismo para el control eficiente de plagas que se asocian con las raíces de las plantas y de plagas chupadoras.

Para combatir a las plagas de las raíces, se buscaron organismos que se asociaran de manera natural con éste órgano vegetal. *Pseudomonas fluorescens* es uno de ellos, pero esta opción no resultó viable ya que implicaba la liberación al medio ambiente de células transformadas de *P. fluorescens* vivas, bacilos Gram-negativos ocasionalmente patógenos.

La posibilidad que se consideró más adecuada, fue el uso de algunas variedades de bacterias del género *Rhizobium*; estos microorganismos establecen relaciones simbióticas de manera natural, con algunas leguminosas. Se ha propuesto que utilizando por ejemplo, *R. meliloti* y/o *R. leguminosarum vicacea*, se podría proteger a la alfalfa y al chile de dos coleópteros del género *Sitona*: *S. hispidulus* (escarabajo de la raíz del trébol) y *S. lineatus* (picudo de la hoja del chile). Mediante este sistema, las toxinas de *Bt* se expresan solamente en los nódulos de las raíces, por lo que se cree que podría funcionar como un medio efectivo para el control de plagas asociadas a dicho órgano, sin liberar directamente al medio ambiente organismos transgénicos.

Para el caso del control de plagas chupadoras y de algunos insectos barrenadores de cultivos, se ha pensado en utilizar como vector alternativo de liberación de δ -endotoxinas a *Clavibacter xyli cynodontis*, el cual es un microorganismo endofítico (habita en el xilema de las plantas). Esta característica lo pondría en contacto directo con las plagas chupadoras. El uso de *C. xyli* transgénico ha sido aprobado en Estados Unidos para hacer pruebas de campo con la finalidad de controlar al barrenador del maíz *Ostrinia nubilalis*.

El control de moscas y mosquitos con bioinsecticidas *Bt*, se ha limitado debido a la rápida sedimentación de las esporas y cristales contenidos en los productos disponibles actualmente. Para resolver este problema, se ha pensado introducir los genes *cry* en microorganismos que se desarrollan en las capas superiores de hábitats acuáticos, como *Caulobacter crescentus* y *Agmenellum quadruplicatum*

Tabla 15. Microorganismos que han sido usados como hospederos alternativos para la clonación de genes *cry* de *Bacillus thuringiensis*.

Hospedero	Gen	Organismo blanco
BACTERIAS		
<i>Agmenellum quadruplicatum</i>	cry4A cry4B cry11A cry4B	<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes aegypti</i> <i>Culex pipiens</i> <i>Culex restuans</i>
<i>Bacillus cereus</i>	cry1Ac cry1B cry2A	N.D. N.D. N.D.
<i>Bacillus megaterium</i>	cry11A cry1Aa cry1Ac cry2A	<i>Aedes aegypti</i> N.D. N.D. N.D.
<i>Bacillus sphaericus</i>	cry4B cry11A	<i>Aedes aegypti</i> <i>Aedes aegypti</i>
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	cry1Ab	N.D.
<i>Bacillus subtilis</i>	cry1A's cry1Ac	<i>Trichoplusia ni</i> N D.
<i>Bradyrhizobium sp.</i>	cry4's	N D.
<i>Caulobacter crescentus</i>	cry4B	<i>Aedes aegypti</i>
<i>Clavibacter xyli cynodontis</i>	cry1Ac	<i>Ostrinia nubilalis</i>
<i>Pseudomonas cepacia</i>	cry1Ac	<i>Manduca sexta</i>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	cry1Ab cry4B cry1Ac	N.D. <i>Anopheles stephensi</i> <i>Tipula oleracea</i> <i>Heliothis armigera</i>
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	N.D.	N.D.
<i>Rhizobium melloti</i>	N.D.	N D.
<i>Tetrahymena pyriformis</i>	cry4's	<i>Aedes aegypti</i>
BACULOVIRUS		
<i>Autographa californica</i>	cry1Ac cry1Ab cry11A	<i>Trichoplusia ni</i> <i>Pieris brassicae</i> N.D.

Fuente: Koziel, *et al* (1993) en Lorence (1996)

N D = No disponible

5.7 DESARROLLO DE RESISTENCIA A LAS TOXINAS DE *Bt*

Hasta hace algunos años se creía que los insectos no desarrollarían resistencia a las δ -endotoxinas producidas por *Bt*, dado que a pesar de que éstas han sido utilizadas comercialmente desde hace más de tres décadas, no se tenían reportes de aparición en el campo de poblaciones de artrópodos resistentes.

Sin embargo, recientemente se ha demostrado la aparición de poblaciones silvestres de *Plutella xylostella* resistentes a *Bt*, en Hawaii, Florida, Nueva York, Filipinas, Tailandia y Malasia

Por otro lado, se han aislado poblaciones de laboratorio resistentes a las proteínas Cry de al menos diez especies de lepidópteros, dos especies de coleópteros y cuatro especies de dípteros. De las diez especies de lepidópteros, cinco, *Trichoplusia ni*, *Plutella xylostella*, *Heliothis virescens*, *Spodoptera exigua* y *Plodia interpunctella*, han desarrollado un alto nivel de resistencia; estas cinco especies pertenecen a tres familias diferentes dentro del orden Lepidoptera. Noctuidae, Plutellidae y Pyralidae, lo que implica que la capacidad de desarrollar resistencia a *Bt*, está presente en este orden de insectos.

No se ha podido establecer un mecanismo general de resistencia desarrollado por las diferentes especies de insecto, pues se ha visto que para *Plodia interpunctella* y *Plutella xylostella*, el medio principal de resistencia a los efectos de las δ -endotoxinas es la reducción de la tasa de unión de estas proteínas a sus receptores en el intestino medio, mientras que para *Heliothis virescens* no se ha encontrado una relación clara entre los cambios en la unión de la toxina y la resistencia a Cry1Ab y Cry 1Ac. Se cree que el mecanismo de resistencia desarrollado por *H. virescens* es diferente al de las otras dos especies, dado que se ha visto que en las poblaciones resistentes hay una disminución tanto en afinidad como en concentración del receptor de las toxinas.

Dado que no todos los casos de resistencia son debidos a cambios en los parámetros de unión de las proteínas Cry a sus receptores, se estima que existen otros mecanismos para que se presente este fenómeno, tales como la disminución de la solubilización del cristal insecticida, la alteración de las proteasas responsables de la activación de las prototoxinas o la reducción de la sensibilidad a los eventos posteriores a la unión, como la inserción en la membrana celular y la formación de canales iónicos. Estas especulaciones se han visto apoyadas por evidencia encontrada en una cepa de *Plodia interpunctella*, en la cual la resistencia se debió a la alteración en la activación de una prototoxina específica para dicho insecto.

En fechas recientes se ha propuesto que otro posible mecanismo de resistencia, al menos para insectos sensibles a la toxina Cry1Ac, es la liberación del receptor, es

decir, de la aminopeptidasa tipo N que está anclada a la membrana del intestino larvario por un puente de glicosil-fosfatidil-inositol. Dicha liberación podría llevarse a cabo por medio de un corte específico de este puente por acción de las fosfolipasas que son específicas para este sustrato.

El desarrollo de resistencia por parte de los insectos a las δ -endotoxinas es un problema que tiene que ser combatido y que se hace más preocupante si se considera que existen ya al menos cinco variedades de plantas recombinantes que expresan los genes cry. Los científicos han planteado diferentes estrategias que permitirán manejar esta situación y evitar la expansión y eventual aparición de nuevas poblaciones resistentes. En la tabla 16 se describen tales estrategias.

Tabla 16. Posibles estrategias para el manejo de la resistencia desarrollada por insectos hacia las proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis*.

Estrategia	Recomendación
DOSIS ALTAS	Cultivos con muy altos niveles de expresión de las proteínas Cry para matar marginalmente a los insectos resistentes y prevenir el desarrollo de resistencia a través de mutaciones múltiples
DOSIS BAJAS	Niveles sub-letales de las proteínas Cry podrían retardar el crecimiento de los insectos y aumentar su susceptibilidad a la depredación por insectos benéficos. Debe evitarse combinar este enfoque con el uso de insecticidas de amplio espectro para evitar la reducción de las poblaciones de insectos benéficos.
ROTACIÓN	Uso alternado de pesticidas químicos y plantas transformadas con las toxinas de <i>Bt</i> . La presión de selección intermitente podría favorecer a las poblaciones nativas de insectos si los resistentes son menos competitivos, o si la resistencia es inestable y se pierde rápidamente cuando la presión de selección se elimina.
GENES MÚLTIPLES	Tipos múltiples de genes insecticidas introducidos a los cultivos (equivalente a la mezcla de insecticidas químicos, una exitosa estrategia de manejo de resistencia). La escasez actual de genes alternativos (como los inhibidores de proteasas), hace que esta estrategia se considere de largo plazo. Una variante de este enfoque es la combinación de plantas transgénicas con los genes de <i>Bt</i> y aplicación selectiva de químicos para eliminar a los insectos resistentes
REEMPLAZAMIENTO	Si la resistencia a los genes cry de <i>Bt</i> surge más lentamente que la introducción de nuevos genes a las plantas, entonces será posible evitar la aparición de resistencia. Esta estrategia estará limitada por el grado en que ocurra la resistencia cruzada hacia dichas proteínas.

REFUGIOS	Combinación de semillas transformadas con una pequeña proporción de semillas silvestres. Los insectos nativos podrían tener entonces refugios en el campo y presumiblemente se evitaría la ausencia de la competencia de éstos con los insectos resistentes.
----------	--

Fuente: Adaptación de Brunke & Meeusen (1991).

5.8 PERSPECTIVAS DEL USO DE PRODUCTOS *Bt*

Se estima que la importancia actual de los productos *Bt* en el mercado internacional se conservará, alcanzando un crecimiento anual de entre 20 y 25% a nivel mundial y una expansión de entre el 5 y el 10% en Estados Unidos. El creciente descubrimiento de cepas de *Bt* y de δ -endotoxinas con actividades nuevas y más poderosas, indica que el control de plagas de importancia agrícola y médica mediante el uso de *Bt*, es una alternativa que tiene y tendrá gran relevancia para la población humana.

Algunos de los elementos que han favorecido la expansión del mercado de los productos *Bt* en particular, y de los bioinsecticidas en general, son la toma de conciencia de los efectos que los residuos químicos en los productos agrícolas tienen sobre la salud humana y animal y el cambio en las regulaciones gubernamentales en cuanto al uso indiscriminado de plaguicidas químicos.

Se ha descubierto la existencia de algunas toxinas con actividad específica hacia protozoos del género *Giardia* (la especie *Giardia lamblia* es el flagelado más común del tracto digestivo humano y es altamente contagioso; se adquiere vía oral, a través de alimentos y agua contaminada) lo que indica que las δ -endotoxinas podrían ser empleadas como ingredientes activos de productos farmacéuticos de consumo animal y humano.

Tomando en cuenta la muy alta especificidad de las proteínas Cry y la gran biodiversidad que poseen países en desarrollo como Brasil, Colombia y México, es posible que ahí puedan hallarse nuevas cepas de *B. thuringiensis* con aplicaciones específicas para el control de las plagas que afectan a nuestros ecosistemas y que son diferentes a las encontradas en los países desarrollados; esta riqueza podría explotarse comercialmente.

La factibilidad técnica para la producción de bioinsecticidas *Bt* en América Latina es alta, ya que el proceso de producción de esta bacteria es relativamente sencillo pues no requiere de equipo sofisticado y existen varios grupos que podrían aportar el capital para construir una planta productora de estos bioplaguicidas. En general, la producción de productos *Bt* en América Latina es un proyecto atractivo.

El desarrollo de resistencia hacia las δ -endotoxinas por parte de los insectos, es un problema con el que se tendrá que lidiar en todos los lugares en los que se utilizan los productos formulados a base de *Bt*. La implementación de medidas

adecuadas para disminuir a niveles mínimos la tasa de desarrollo de resistencia, será sin duda un reto muy difícil de vencer, sobre todo en los países en desarrollo

5.9 ASPECTOS COMERCIALES Y DE MERCADO DE LOS PLAGUICIDAS *Bt*

Las tendencias del mercado de *Bt*, indican un crecimiento de entre 20 y 25% a nivel mundial y una expansión de entre el 5 y el 10% para estos productos tan sólo en Estados Unidos (Lorence, 1996). El *Bt* usado para el control de plagas en cultivos agrícolas, presenta amplias posibilidades de desarrollo de mercados en Latinoamérica.

En principio, las aplicaciones de productos *Bt* son dirigidas al control de plagas de insectos en cultivos agrícolas, sin embargo con las modificaciones que se han hecho a cepas productoras, se han abierto las posibilidades de aplicación de estos productos en otros campos, como el hogar y los hospitales, para el control de poblaciones de cucarachas y en el área médica veterinaria como fármaco en el control de protozoarios y otros parásitos de animales (Quintero, *et al*, 1997).

5.9.1 Compañías líderes en el mercado de productos *Bt*

Las empresas líderes en la producción de bioinsecticidas *Bt* se encuentran distribuidas en Estados Unidos y Europa; de éstas, las multinacionales son las que acaparan la producción. Las compañías líderes en la comercialización de estos productos durante 1990 fueron Abbott (Estados Unidos) y Sandoz (Suiza), juntas vendieron el 70% del total de productos *Bt* en ese año. El resto lo ocuparon muchas firmas de menor tamaño, entre las que están Phillips Duphar y Novo Nordisk.

La adquisición de la compañía alemana Phillips Duphar por parte de la firma danesa Novo Nordisk en 1992, dio lugar a una redistribución importante del mercado mundial de productos *Bt*.

Desde 1990 hasta la fecha, de las aproximadamente ochenta empresas involucradas en el mercado de productos *Bt*, la empresa estadounidense Abbott Laboratories continúa siendo líder en este mercado. Se estima que las firmas Novo Nordisk, Mycogen y Ecogen representarán una fuerte competencia en los próximos años.

Por otro lado, en 1996, Sandoz y Ciba-Geigy se unieron para dar lugar a una nueva y poderosa multinacional llamada Novartis. Es de esperar que la presencia de este emporio genere ajustes significativos en el mercado mundial de bioplaguicidas *Bt*.

En los inicios de los 90's, más de la mitad de los productos *Bt* se utilizaban en Estados Unidos y Canadá, el 18% en Oriente, 10% en China y 8% en Centro y Sudamérica. En Estados Unidos y Canadá, el uso de estos productos se destina a

cuatro áreas principales: la forestal, el combate de moscas y mosquitos, el control de plagas de vegetales y del algodón y el control de plagas de la alfalfa y del tabaco (Lorence, 1996). El 99% de los productos *Bt* comercializados en Estados Unidos en ese período, se destinó a los estados del sur (Florida, Texas, Arizona y California); hay una tendencia a incrementar el uso de productos *Bt* en ese país, en cultivos de lechuga, col, hortalizas, cítricos, uvas y maíz.

Las tendencias en el mercado mundial de bioinsecticidas *Bt*, serán el resultado de las asociaciones y redes de alianzas y colaboraciones que las empresas logren establecer para poder competir con las grandes transnacionales. Un ejemplo de esto es la unión de Monsanto Company (líder en la introducción de los genes cry en plantas transgénicas) y Mycogen (empresa propietaria de casi la totalidad de nuevas δ -endotoxinas provenientes de la colección más grande y mejor caracterizada de cepas de *Bt*); los efectos de esta asociación revolucionarán la distribución del mercado mundial de productos *Bt*.

Pese a las tendencias actuales en la aplicación de *Bt* como método para el control de plagas, se reconoce que en países en desarrollo el uso de estos plaguicidas no está aún suficientemente difundido, por lo que existe un amplio mercado potencial. En México existen en el mercado productos *Bt* formulados a partir de ingredientes activos de importación, los cuales cubren sólo una parte muy reducida de las necesidades de control biológico de plagas en cultivos agrícolas (Quintero, *et al*, 1997).

5.9.2 Mercado internacional de *Bt* y sus tendencias

El uso de productos *Bt* se ha incrementado notablemente en los últimos años a nivel mundial. La amplia aceptación de estos bioplaguicidas se debe a su baja toxicidad, a la rápida biodegradación de las toxinas, las cuales no dejan residuos en el medio ambiente y a su alta especificidad.

Aunque no existen cifras exactas sobre los montos de producción y ventas de los bioplaguicidas derivados de *Bt*, se estima que el mercado mundial de dichos productos es de entre 60 y 140 millones de dólares. Se calcula que tan sólo en Estado Unidos el mercado de *Bt* asciende a 55 ó 60 millones de dólares (Tilton, 1993). Estados Unidos consume alrededor del 40% de los productos *Bt* comercializados mundialmente, y se estima que el mercado internacional de *Bt* para fines de los 90's será del orden de 220 millones de dólares, lo cual indica que Estados Unidos tendrá un mercado de consumo de aproximadamente 90 millones de dólares, mientras que los países latinoamericanos tendrán en conjunto apenas un mercado cercano a 17.6 millones de dólares (apenas el 8% del total). Los especialistas coinciden en que el mercado está creciendo a tasas muy elevadas, del orden del 20% anual (Quintero, *et al*, 1997).

5.10 PANORAMA DE LA INVESTIGACIÓN DIRIGIDA A *Bt* EN MÉXICO

Casi la totalidad de los insecticidas biológicos a base de *Bt* que se emplean en México son productos de importación, aunque el uso de estos productos es muy común. El uso de *Bt* está permitido en actividades agrícolas, domésticas, urbanas e industriales, dado que son considerados como sustancias de baja toxicidad y con baja persistencia en el ambiente

A pesar de que no hay investigaciones ni datos acordes a la biogeografía del país, en México se han identificado varias colecciones importantes de cepas de *Bt*. La mayor de las colecciones está en la Universidad de Nuevo León y consta de alrededor de 4 000 cepas; en el Instituto de Biotecnología de la UNAM (IB-UNAM) hay aproximadamente 2 000 cepas, y en las sedes del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) de la Ciudad de México e Irapuato, hay aproximadamente 1 500 cepas (Quintero, *et al*, 1997). En varios casos, se trata de cepas que atacan a dos o tres tipos de insectos y que pueden ser empleadas en la producción de insecticidas comerciales.

Las instituciones mexicanas que cuentan con líneas de investigación dirigidas al trabajo con *Bt*, son: la Universidad Nacional Autónoma de México, en donde se han logrado avances principalmente en la identificación de genes, purificación de *Bt*, colección de cepas y formulación de insecticidas; la Universidad Autónoma de Nuevo León dirige esfuerzos a aspectos de formulación, colección de cepas y cultivo de las mismas; y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, que trabaja en la caracterización, cultivo de cepas, identificación de genes, formulación y escalamiento del proceso (Quintero, *et al*, 1997)

En la tabla 17 se presentan las instituciones nacionales que poseen experiencia en la investigación relacionada con *Bt*.

Tabla 17. Experiencia de diferentes instituciones mexicanas en la investigación dirigida a *Bt*.

Institución	Caracterización de cepas	Determinación de especificidad	Medios de cultivo	Fermentación	Escalamiento de procesos	Pruebas de campo
UANL	X	X		X	X	X
CINVESTAV-Irapuato						X
CINVESTAV-DF	X		X	X	X	
IB-UNAM	X	X	X	X		
UAEM		X				
Inst. Tec. de Durango	X					
CIMMYT						X

Fuente. Quintero, *et al*, 1997

5.11 MARCO JURÍDICO Y NORMATIVO RELACIONADO CON EL USO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE *Bt*.

Las disposiciones gubernamentales en materia de regulación y normalización del uso, producción y comercialización de insumos agrícolas, determinan las características de los productos para que puedan ser empleados de manera segura, así como los requisitos que deben cumplir las empresas para ejecutar pruebas de campo, registrar productos y satisfacer estándares mínimos de calidad (Quintero, *et al*, 1997)

5.11.1 Propiedad industrial (patentes)

El análisis de patentes permite conocer el grado de desarrollo y dominio sobre las tecnologías de interés y permite identificar a las empresas líderes.

En la actualidad, Estados Unidos es el país en donde se solicitan más patentes relacionadas con *Bt*, siendo las más comunes, las que se refieren al hallazgo de nuevas cepas, procesos de obtención de toxinas, técnicas de modificación genética y mapeo genético; se tienen pocos registros de patentes relacionadas con las formulaciones del producto comercial. La empresa de este país, Mycogen Corporation, es la que posee el mayor número de patentes otorgadas en Estados Unidos relativas a tecnologías *Bt* (Quintero, *et al*, 1997).

Un caso aparte son las patentes norteamericanas de plantas transgénicas, rubro sobre el cual existen diversas solicitudes y patentes otorgadas. La primera patente en este campo, fue otorgada en 1993 a la empresa Agracetus y corresponde a las plantas transgénicas que expresen las toxinas de *Bt*. Igualmente, se han registrado patentes sobre los vectores transformadores de las células de las plantas y los métodos para obtenerlas. Las empresas líderes en esta área son Mycogen Plant Sciences Inc., Novartis y Monsanto. Esta última empresa posee patentes que protegen a plantas de tomate y papa resistentes a coleópteros (Quintero, *et al*, 1997).

El caso de México es muy diferente. Entre 1970 y 1996 se obtuvieron únicamente dos Certificados de Invención y se registraron catorce solicitudes de patente. Los Certificados de Invención corresponden a una forma de protección otorgada en México hasta antes de 1991, cuando entró en vigor una nueva legislación que permitió la protección de productos y procesos mediante patentes (Quintero, *et al*, 1997). A partir de la publicación de la nueva ley en materia de propiedad industrial, la actividad de patentes en México relacionadas con *Bt*, se ha incrementado notablemente en los últimos años, siendo Mycogen y Ecogen las empresas que más han hecho solicitudes de patente.

5.11.2 Organismos Federales encargado de la certificación y regulación del uso y comercialización de plaguicidas.

Estados Unidos es el país que más avances ha logrado en materia de certificación y regulación de plaguicidas, incluyendo por supuesto a los bioplaguicidas formulados con *Bt*.

El organismo federal encargado de aprobar el uso de plaguicidas en Estados Unidos, es un comité integrado por varias dependencias conocido como Agencia de Protección al Ambiente (EPA). Esta agencia emite el documento oficial denominado "Acta Federal de Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas" (FIFRA), en el cual se establecen los procedimientos que deben cumplirse para obtener el registro de un plaguicida, la información que deben contener las etiquetas de este tipo de productos, las penalizaciones y permisos para el uso experimental de ciertos productos, etc. En este país, sí hay normas de aplicabilidad específica a *Bt*, además haber un gran número de documentos oficiales publicados referentes a bioplaguicidas, como el "Acta del Control de Sustancias Tóxicas" (TSCA).

Los productos *Bt* son siempre considerados por los organismos federales de Estados Unidos, como sustancias de baja toxicidad y exentas de límites de tolerancia. La EPA ha aprobado su comercialización total después de varios años de estudiar los aspectos relacionados con el uso de estos productos (Quintero, et al, 1997)

En términos de regulación fitosanitaria y ambiental y en actividades de normalización, México pretende seguir una tendencia a la equivalencia con los países de la Organización Mundial de comercio y con los integrantes del TLCAN.

Las dependencias gubernamentales involucradas con prácticas de regulación y certificación de plaguicidas pertenecen a cuatro Ministerios de Estado: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGAR), Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Salud (SSA) y Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)

Las principales leyes que conforman el marco legal en materia de plaguicidas son la Ley de Metrología y Normalización, la Ley de Sanidad Vegetal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley General de Salud

El 15 de octubre de 1987 se integró la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), con la finalidad de unificar el procedimiento de regulación y control de los insumos fitosanitarios, integrar el inventario de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas y sus productores, revisar las tarifas arancelarias de importación y exportación de dichos insumos, promover la elaboración de normas oficiales mexicanas en esta materia, promover la capacitación de personal técnico y realizar estudios sobre las características y propiedades de los insumos fitosanitarios

La CICOPLAFEST publica anualmente el "Catálogo Oficial de Plaguicidas", documento en el cual se especifican las características de los bioplaguicidas *Bt*, presentadas en la tabla 18.

Tabla 18. Información oficial sobre los bioplaguicidas formulados con *Bacillus thuringiensis* según la CICOPLAFEST

Categoría toxicológica del producto: IV (ligeramente tóxico)

Uso: Agrícola y urbano

Dosis letal media: DL50 oral (rata) 5000 mg/kg

Tipo de plaguicida: Insecticida biológico de ingestión

Incompatibilidad: No mezclarlo con productos de fuerte reacción alcalina

Contraindicaciones: No almacenarlo a más de 32°C. No dejar sobrantes de la mezcla en los tanques por más de 12 horas.

Persistencia: Poco persistente

Efectos adversos al ambiente: Ninguno

Efectos adversos a la salud: Ligeramente peligroso

Precauciones: Evitar ingestión, inhalación y contacto directo con piel y ojos, no almacenar ni transportar junto con productos alimenticios, ropa o forraje. Mantener fuera del alcance de los niños y animales domésticos. No reutilizar envases. No almacenar en casa-habitación.

Intervalo de seguridad en días: Sin límite

Límite Máximo de Residuos, p.p.m.: Exento

Fuente: Catálogo Oficial de Plaguicidas, CICOPLAFEST México, 1995.

Por otro lado la SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural), publica anualmente, la Guía de Pesticidas Autorizados y Empleados, en la cual se especifica la dosis de *B. thuringiensis* permitida y empleada para cada tipo de cultivo, así como una lista detallada de las plagas que afectan a cada uno de los cultivos y el tipo de formulaciones empleadas para cada caso.

5.11.3 Normas mexicanas relacionadas con insumos fitosanitarios *Bt*

Las normas oficiales mexicanas relacionadas con plaguicidas, se refieren a los requisitos necesarios para producir, formular y/o maquilar productos de esta naturaleza. Dichos documentos son de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, pero son generales, dado que incluyen en sus cláusulas a todo tipo de plaguicidas, sin hacer distinción alguna entre productos químicos y agentes de

control biológico, y no se especifica el caso de los insumos elaborados a partir de *Bacillus thuringiensis*.

En todos los casos, las normas y proyectos de normas son emitidas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal.

México cuenta con un marco regulatorio y normativo medianamente estructurado en materia de insumos fitosanitarios, en el que se vincula la acción de varias autoridades y secretarías. Esto ha sido necesario para asimilar la importancia que tiene el uso de métodos y productos biológicos para el control de plagas en los cultivos agrícolas y para la salud pública.

En este campo, en términos generales se cuenta con normas que regulan aspectos sobre ensayos de campo para el establecimiento de límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas en productos agrícolas (NOM-050-FITO-1995); publicidad de insumos fitosanitarios (NOM-053-FITO-1995); comercialización de plaguicidas agrícolas (NOM-003-FITO-1995); fabricación, formulación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas agrícolas (NOM-034-FITO-1995) y aplicación aérea de plaguicidas agrícolas (NOM-052-FITO-1995) Ya que los productos formulados con *Bt* están exentos de Límites Máximos de Residuos, según lo establecido por la CICOPLAFEST (entendiendo LMR como la concentración máxima de residuos de plaguicida permitida en o sobre vegetales previa a la cosecha), la NOM-050-FITO-1995, no es aplicable para el caso de los bioplaguicidas *Bt*. Existe una norma más que se refiere al manejo de plaguicidas sujetos a recomendación de un profesional fitosanitario (NOM-051-FITO-1995), los pesticidas formulados a partir de *Bacillus thuringiensis* no entran en la lista de plaguicidas que requieren de una recomendación escrita para su adquisición y empleo, por lo que esta norma no se aplica a los pesticidas *Bt*

En el Anexo II se presentan las sinopsis de las normas oficiales mexicanas publicadas en el Diario Oficial de la Federación, relacionadas con el uso de plaguicidas.

5.12 MERCADO DE PLAGUICIDAS *Bt* EN MÉXICO

Aunque los productos *Bt* que circulan en el mercado mexicano son de importación, el uso de estos productos está muy difundido y pese a que su uso no es constante y no se dispone de las mejores tecnologías para aplicarlos, existe una gran diversidad de cultivos que son tratados con bioplaguicidas *Bt*. Además existe mucha desinformación sobre aspectos relacionados con estos insumos, como por ejemplo sus ventajas, la forma de aplicación y su potencial

En el Anexo III se da una lista de los cultivos nacionales sobre los que se ha autorizado la aplicación de plaguicidas *Bt*, y de las plagas combatidas por este

medio, según la información publicada por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST).

Los cultivos en los cuales se usa *Bt* actualmente son muy diversos e incluyen hortalizas, árboles frutales, cereales y granos, plantas ornamentales, tubérculos, fibras, tabaco, etc. También las plagas que se combaten con estos productos son variadas, pero principalmente se trata de lepidópteros, coleópteros y dípteros; existen plagas comunes a diversos cultivos como el gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*) y otras específicas para ciertos cultivos como el barrenador del fruto de la piña (*Thecla basilides*) y el gusano verde de la alfalfa (*Colias eurytheme*) (Quintero, et al, 1997).

Cabe remarcar la importancia que tiene la autorización de la aplicación de productos *Bt* sobre los cultivos de maíz, ya que de éste depende una parte muy importante de la alimentación de la población mexicana y por lo tanto este cultivo ocupa una porción mayoritaria de la superficie territorial destinada a prácticas agrícolas.

Además del maíz, los principales cultivos agrícolas de México destinados a exportación (principalmente a Estados Unidos), representan un mercado potencial para la aplicación de bioplaguicidas *Bt* como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Principales cultivos agrícolas mexicanos de exportación, con posibilidad a tratamiento con *Bt*.

Cultivo	Valor (millones de USD)*	Superficie Total Cultivada (has)
Jitomate	479.68	68,049
Algodón	150.08	175,375
Pepino	108.56	14,103
Cebolla	103.47	33,478
Garbanzo	103.46	88,910
Melón	62.54	31,513
Sandía	46.10	32,925
Frijol	18.61	2,385,652
Maíz	17.69	9,371,392
Brócoli y Coliflor	11.40	67,990

* Valor correspondiente a las exportaciones de cada cultivo fresco o refrigerado; en el caso del frijol y garbanzo, seco o desvainado, algodón sin cardar.

Fuentes: Tarifa General de Impuestos al D.O. del 31 de diciembre de 1996. Base de datos SCIM. SECOFI-DGSCE. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos 1994. SAGAR. Tomos I y II

5.12.1 Importaciones nacionales de *Bacillus thuringiensis*

En la actualidad, todos los productos comercializados y empleados en México cuya formulación está hecha con *B. thuringiensis* son importados y distribuidos por laboratorios y empresas transnacionales involucradas con el mercado de productos agroquímicos, pese a la amplia aplicación de dicho producto.

En términos legales, los productos *Bt* están considerados dentro de la fracción arancelaria 38.08.10.02, en la cual se encuentran incluidos también los productos plaguicidas formulados a partir de Aldicarb y Oxamil. Ambos productos son de naturaleza química y son considerados por la CICOPLAFEST como de toxicidad extrema y alta toxicidad respectivamente (nivel I y II).

Las cifras oficiales de importaciones por fracción arancelaria, correspondientes al período comprendido entre 1991 y 1994, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20. Importaciones de la fracción arancelaria 38.08.10.02, entre 1991 y 1994.

País de origen	Cantidad (kg.)	Valor (miles de pesos)	País de origen	Cantidad (kg.)	Valor (miles de pesos)
1991			1992		
Dinamarca	24,000	506	Estados Unidos	630,474	12,568
Estados Unidos	888,625	14,893	Francia	108,000	1,537
Francia	40,081	561	Suiza	23,190	1,508
Suiza	16,005	810	Total	761,664	15,613
Total	968,711	16,770			
1993			1994		
Estados Unidos	520,760	15,474	Dinamarca	5,342	203
Francia	51,840	904	Estados Unidos	657,831	16,583
Suiza	11	1	Suiza	4,020	271
Total	572,611	16,379	Total	667,193	17,057

Fuente: Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, INEGI

Las importaciones correspondientes a la fracción arancelaria a la cual pertenecen los productos *Bt* ascienden a varios miles de pesos anuales. Los países de origen de las materias primas para la formulación de estos productos son principalmente Estado Unidos, Suiza, Francia y Dinamarca.

Se estima que la tendencia en el mercado de bioplaguicidas *Bt* en México, sea el incremento en el uso de dichos productos tanto en actividades rurales como

urbanas, por lo que el establecimiento de plantas nacionales productoras de *Bacillus thuringiensis*, resulta un proyecto muy atractivo

5.12.2 Productos Bt comercializados en México

Aualmente se publica en México el Diccionario de Especialidades Agroquímicas (DEAQ), en donde se tiene un registro de los productos y sus distribuidores, así como del nombre comercial de cada uno de ellos, su formulación, instrucciones de uso, dosis, cultivos y plagas que controla, medidas de protección, etc.

Una misma empresa puede producir una amplia gama de plaguicidas con el mismo nombre, pero que varían en su formulación, tal es el caso de Abbott que produce el producto conocido como "Dipel", pero según su formulación y por lo tanto su potencia, será dado a conocer como "Dipel 2X", "Dipel 8L", etc.

La información relacionada con los productos Bt comercializados en México se presenta en la tabla 21.

Cada empresa es la responsable del precio que da al consumidor, de los cursos que se da a los usuarios para el empleo del producto, etc. En general, esta capacitación se da en cursos teórico-prácticos cuyos costos son solventados por la empresa distribuidora o por los representantes de ventas, los cursos de asistencia técnica van dirigidos a agricultores y técnicos. En los cursos teóricos se tratan temas como manejo de plagas, cómo actúa Bt sobre los insectos, cómo preparar el pesticida y cómo aplicarlo, en los cursos prácticos, se dan demostraciones sobre la preparación y aplicación del producto principalmente

Tabla 21. Productos Bt comercializados en México.

Empresa	Producto comercial	Precio al público	Ingrediente activo (% en peso)	Ingredientes inertes (% en peso)
CIBA GEIGY MEXICANA, S. A. DE C.V.	AGREE Polvo humectable	\$ 213.60 / kg	<i>Bacillus thuringiensis</i> , variedad aizawai, raza GC-91 %: No menos de 3.8% 25,000 UI de potencia/mg	Dispersantes, humectantes, esporas viables y resto del medio de cultivo %: No mas de 96.2%
ISK México	CUTLASS Polvo humectable	\$ 200 00 / kg	<i>Bacillus thunnngiensis</i> berliner, variedad kurstaki, cepa eg 2371. %: No menos de 10.00% equivalente a 100g de IA/kg.	Dispersantes y suspendentes %: No más de 90 00%
ABBOTT de México	DIPEL 2X Polvo humectable		<i>Bacillus thunnngiensis</i> % 6 4 %. 32,000 UI de potencia/mg	Dipersantes y suspendentes %: 93 6%

	DIPEL 8L Suspensión acuosa		17,600 UI de potencia/mg	
SANDOZ AGRICOLA, S.A. DE C.V.	JAVELING WG Gránulo dispersable	\$ 240.00 / kg	<i>Bacillus thuringiensis</i> berliner, variedad kurstaki, serotipo 3a 3b %: 6.4% equivalente a 53 billones de unidades/kg	Dispersantes, diluyentes y materiales de fermentación. %: 93.6%
SANDOZ AGRICOLA, S.A. DE C.V.	THURICIDE PH Polvo humectable	\$ 137.00 / kg	<i>Bacillus thuringiensis</i> berliner, variedad kurstaki, serotipo 3a 3b %: No menos de 3.2% equivalente a 32g de IA/kg 16,000 UI de potencia/mg	Diluyente, restos de cultivo, humectante, dispersante y antiteronante. %: No más de 96.80%
ABBOTT de México	XENTARI GRD Gránulo dispersable		<i>Bacillus thuringiensis</i> , variedad aizawai % 3.0%	Portadores, adherentes y tensoactivos. % 97.00%

Fuente: Diccionario de Especialidades Agroquímicas. México, 1994.

A partir de la información presentada, se puede afirmar que el mercado potencial de bioplaguicidas *Bt* en México es muy amplio. Actualmente sólo una fracción muy pequeña del mismo está siendo atendida, por lo que se esperaría que el consumo de productos *Bt* crezca en los próximos años si los costos de adquisición, aplicación y capacitación fueran accesibles para los pequeños productores mexicanos. Se estima que aquellos productores que emplean sistemas de riego son usuarios potenciales de *Bt*.

Es necesario considerar que para que este tipo de productos ocupen un lugar importante dentro del mercado nacional de insumos fitosanitarios, se requiere de programas dirigidos a sensibilizar a los productores. Se debe crear una cultura agrícola que no fomente el empleo de plaguicidas y fertilizantes químicos, sino el uso de alternativas que si bien no tienen efectos inmediatos, representan opciones sustentables para el desarrollo de las actividades agropecuarias en México en el mediano y largo plazos.

VI. CONCLUSIONES. EL BIÓLOGO Y LA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Históricamente, la agricultura ha representado una actividad de gran importancia para el Hombre, debido a que las actividades agropecuarias son las que garantizan el suministro de alimento para la población humana, es decir, la seguridad alimentaria de la población depende de una agricultura eficiente. Además, una fracción importante de la humanidad está directamente relacionada con el trabajo del campo y existe una gran cantidad de bienes implicados en dichas actividades. Por un lado la agricultura representa el medio para combatir los problemas de hambre del mundo, y por el otro es una fuente importante de empleo en todo el planeta.

A lo largo del tiempo, estas prácticas han generado un vasto conocimiento y han impulsado el desarrollo de diversas tecnologías, varias de las cuales no han sido explotadas, con la finalidad de elevar la productividad del campo y la calidad de los productos agrícolas, así como de diversos modelos de producción y leyes de mercado.

Sin embargo, en fechas recientes se ha reconocido que los modelos de desarrollo y las tecnologías implementadas, como es el caso de la Revolución Verde, han ignorado el impacto de las actividades agrícolas sobre el ambiente y los recursos naturales. Como consecuencia, la búsqueda de nuevos modelos de desarrollo para la población humana, ha despertado el interés internacional de todos los sectores de la sociedad. Actualmente, el paradigma de la sustentabilidad es el que ha sido aceptado como marco para la estructuración de las nuevas propuestas y programas de desarrollo, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo

El desarrollo sustentable surge como una preocupación fundamental de nuestro tiempo, es un signo del progreso moral del género humano, pues este tema implica un sentido de interdependencia y un deber de cooperación entre todos los miembros de la sociedad, hechos notoriamente ausentes a todo lo largo del siglo XX. Se entiende como un proceso tendiente a satisfacer las necesidades de la población actual, a lograr el crecimiento económico y a la mejora en la calidad de vida de los seres humanos sin poner en peligro la preservación de los equilibrios ecológicos del planeta ni, por lo mismo, la posibilidad de las futuras generaciones de disfrutar de un ambiente sano. Es un concepto integral en el cual están involucradas diversas actividades y áreas de conocimiento humanas, dentro del ámbito internacional. Debido a que la agricultura es considerada como un sector prioritario dentro de los esquemas de desarrollo, se busca la estructuración de modelos alternativos de producción dentro del marco de una agricultura sustentable

Entre los factores que son necesarios para luchar por el desarrollo sustentable se encuentran la cooperación internacional (hasta hoy, el mecanismo más común de cooperación regional ha sido las cumbres presidenciales); una visión a largo plazo (responsabilidad intergeneracional, equidad e interdependencia global y fortalecimiento de los mecanismos de gobernabilidad global); enriquecimiento de los sistemas educativos para lograr un cambio drástico de actitud por parte de individuos y sociedades frente al manejo de los recursos naturales y el progreso económico; y fortalecimiento de la sociedad civil y de las organizaciones no gubernamentales (ningún cambio cultural de importancia puede darse sin la colaboración de la sociedad civil)

En la última década, se han llevado a cabo diversos foros de discusión con la participación de representantes de diversos países del mundo, con el fin de establecer los lineamientos y planes de acción que contribuirán a fomentar la cultura del desarrollo sustentable, la cual se estructura en tres ejes: conservación, democracia y equidad. Se requiere de la participación, tanto de los gobiernos como de la sociedad civil, para que las resoluciones y acuerdos que han emanado de estas reuniones internacionales, sean implementados con éxito. Sin embargo, la formulación y la aprobación de diversos documentos, ha enfrentado variadas restricciones para su adecuación e implementación en los diferentes contextos sociales, económicos y ambientales. Es a partir de estos resultados que surge la necesidad de realizar reuniones regionales en todo el mundo, en las cuales se llevan a cabo consultas para determinar la situación de los procesos nacionales y regionales en la perspectiva del desarrollo sustentable, y en las que se comparten experiencias para aprender de los errores y éxitos comunes.

En los países del Tercer Mundo, los principales obstáculos para la reestructuración de los modelos de desarrollo, son la ausencia de políticas integradas, la debilidad institucional para hacer cumplir los acuerdos, la falta de claridad conceptual alrededor de la sustentabilidad, la falta de capacitación técnica, la falta de liderazgo en desarrollo sustentable, la ausencia de políticas públicas sobre desarrollo sustentable de las grandes ciudades, la falta de una estrategia de comunicación, difusión y educación en desarrollo sustentable que permita hacer cumplir la normatividad, y la falta de recursos financieros

El tema Ambiente es un punto central para la elaboración de modelos sustentables alternativos tanto para el caso de la agricultura y producción de alimentos, como para las otras actividades económicas primarias de la humanidad. Se buscan estrategias innovadoras que promuevan el mejoramiento ambiental, la preservación de la vida silvestre y el uso racional de recursos naturales, así como la implementación de tecnologías amigables para el ambiente

Por ello, la participación activa de biólogos con una formación sólida, críticos y científicamente capaces, comprometidos socialmente con los grupos marginados y con una actitud consciente de la transformación social y económica, resulta indispensable para elaborar modelos de desarrollo exitosos que consideren al medio ambiente y a la cultura agronómica tradicional, como la base del desarrollo

de la humanidad. Por lo mismo, se requiere de profesionales que colaboren en la estructuración de programas y proyectos que consideren a la conservación de recursos naturales y biodiversidad como un elemento central, pero enfocados a la explotación y el uso adecuado y controlado de los mismos, ya que es a través del manejo y uso racional de los recursos como se puede hacer una tarea efectiva de conservación y asegurar el futuro tanto de las especies, como del Hombre. Dichos programas deberán considerar los aspectos relacionados con la regeneración natural de los ecosistemas y los recursos que en cada caso sean utilizados, lo que llevará a su conservación.

Asimismo, contrario a los paradigmas establecidos por la Revolución Verde, los nuevos modelos de producción agrícola, deberán asegurar la conservación de la calidad del suelo y el agua, y ofrecer alternativas sustentables para el control de plagas, sin elevar los costos de producción ni el uso de insumos agroquímicos, para que de esta manera se fomente la independencia y autosuficiencia locales.

Es muy importante tener en cuenta que para lograr una agricultura sustentable, se deben integrar equipos interdisciplinarios e internacionales en los que sin duda el papel del biólogo es y será fundamental; sin embargo toda persona relacionada con el proceso, deberá contar con conocimientos básicos de las disciplinas involucradas y deberá también saber relacionarse con los diferentes profesionales y los sectores de la sociedad nacional e internacional (agrónomos, agricultores, biólogos, químicos, biotecnólogos, economistas, ingenieros, legisladores, sociólogos, etc.), para lograr la meta de la sustentabilidad.

Cabe señalar que dado que el concepto de agricultura sustentable abarca no sólo la preservación de los sistemas agroecológicos y los recursos naturales, sino también la conservación de la cultura y el conocimiento tradicional de los productores y consumidores, es necesario que durante la planeación de las estrategias de producción, estos aspectos sean tomados en cuenta. Dado que el conocimiento milenario sobre prácticas agrícolas varía significativamente entre los diversos grupos humanos del mundo, se deberá integrar la información rescatada a las nuevas propuestas, según las características geográficas y étnicas de la región en la cual se aplicarán los nuevos programas. Sin duda, esta integración e incluso la puesta en marcha de los modelos alternativos de producción agrícola, podrán lograrse únicamente promoviendo la participación de todos los sectores de la sociedad, incluso los marginados, en las decisiones relacionadas con el desarrollo de las actividades agrícolas.

Las prácticas agrícolas futuras deberán, además de garantizar el no deterioro del medio ambiente, cubrir las necesidades alimenticias de una población humana que durante este siglo creció aceleradamente, de hecho se ha calculado que la población mundial continuará creciendo a una tasa elevada durante décadas, y se estima que aproximadamente el 90% de este crecimiento tendrá lugar en países en desarrollo. Esto implica que para la estructuración de los nuevos modelos de producción agrícola se deberá considerar como un aspecto central, el nivel de productividad de las actividades propuestas como alternativas para lograr una

agricultura sustentable. Por ejemplo, las prácticas de agricultura orgánica y tradicional, si bien son consideradas como actividades sustentables, también son catalogadas como modelos de baja productividad, por lo que se requiere necesariamente de la integración de las ventajas de estas prácticas, con los elementos que permitan elevar su rendimiento y mantener su rentabilidad, para poder ofrecer una seguridad alimentaria a los países en desarrollo.

La innovación tecnológica es una actividad que históricamente ha demostrado ser indispensable para lograr cambios en los sistemas de producción agrícola. Tal es el caso de la Revolución Verde de mediados de siglo. Las innovaciones en las cuales se sustentó el incremento en la productividad agrícola como la implementación de variedades de cereales de rápida maduración y de alto rendimiento, las modificaciones en la distribución y modo de empleo de insumos como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y medicinas veterinarias y la excesiva mecanización de la agricultura, fueron elementos que marcaron la evolución de la agricultura a nivel mundial.

Sin embargo, aunque en un principio dichas innovaciones favorecieron un incremento en la producción de alimentos *per capita* a partir de los años 60's, en las últimas décadas se han puesto de manifiesto una gran variedad de problemas y efectos devastadores derivados de la mala aplicación de dichas innovaciones tecnológicas y de las políticas nacionales en materia de legislación agropecuaria. Los efectos actuales de la Revolución Verde, se han relacionado con la equidad, estabilidad, sustentabilidad, contaminación ambiental, desequilibrio ecológico y agotamiento de los recursos naturales

En este sentido, compete al biólogo iniciar y dar seguimiento al estudio y análisis de la magnitud del impacto de las tecnologías agrícolas sobre la estructura y funciones de los agroecosistemas y ecosistemas, considerando los efectos del deterioro de la calidad de suelo, agua y aire, tanto por acción de contaminantes como por la mecanización inmoderada de los sistemas productivos; la deforestación para el establecimiento de nuevas parcelas, la baja diversidad genética de los sistemas agrícolas modernos, el efecto del uso irracional de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, etc. Los estudios ecológicos y de impacto ambiental en los que el biólogo debe participar de manera crítica y activa, son necesarios para poder crear los nuevos modelos agrícolas que sustituyan a los derivados de la Revolución Verde

Asimismo, actualmente se buscan tecnologías que permitan elevar la productividad de las tierras destinadas para la agricultura sin deteriorar el medio ambiente, que optimicen el uso racional de los recursos naturales y que favorezcan el crecimiento económico. Por ello, la innovación tecnológica en materia agrícola y la recuperación de las prácticas tradicionales son actividades que han cobrado importancia en los últimos años para la estructuración de estrategias productivas competitivas

Por otro lado, la investigación en Biotecnología y la selección de las tecnologías que se implementarán para elevar la productividad y la calidad de los sistemas agroecológicos, requiere también de la participación del biólogo, tanto dentro de los laboratorios, como en las pruebas de campo y los aspectos de bioseguridad y propiedad intelectual derivados de las actividades biotecnológicas agropecuarias

Si bien la situación actual de los sistemas de producción agrícolas a escala mundial, demanda la reestructuración de los modelos de producción, la problemática se complica más cuando se trata de dar un nuevo enfoque a las prácticas agropecuarias de los países del Tercer Mundo, como es el caso de México.

Estas regiones del globo se han caracterizado desde siempre, por ofrecer una economía inestable y dependiente, por ser regiones sobrepobladas y con un alto porcentaje de habitantes rurales considerados como extremadamente pobres, y carecer de la infraestructura tecnológica y legislativa adecuada para la implementación de modelos de desarrollo sustentables, además de presentar modelos de producción de subsistencia.

En países no desarrollados, al igual que en el resto del mundo, la participación del biólogo en las modificaciones en los sistemas agrícolas, es necesaria y particularmente valiosa, ya que es justamente en los países en desarrollo, en los que se concentra la mayor parte de la biodiversidad mundial y en los cuales el deterioro ambiental es más intenso a consecuencia de las malas prácticas agrícolas (15 de los 17 países megadiversos del mundo pertenecen al Tercer Mundo, entre los cuales está México).

Es por ello que nuestro país necesita de biólogos conscientes de la situación ambiental crítica por la que se atraviesa actualmente y con la capacidad de proponer estrategias inteligentes, bien dirigidas y fundamentadas en criterios éticos, que ofrezcan soluciones en el corto, mediano y largo plazos, para frenar la destrucción de los ecosistemas, la desaparición de la vida silvestre y la contaminación ambiental, y que por otro lado favorezcan la regeneración de las regiones más dañadas.

Asimismo, el biólogo mexicano se debe involucrar y comprometer con la tarea de rediseñar y planificar los modelos de producción agrícola nacionales, para lo cual es necesario conocer la situación actual y los antecedentes históricos del sector agropecuario del país, tanto en el aspecto económico, político y social, como en el relativo a productividad, rentabilidad, etc

Indudablemente, el fin de siglo y la globalización de la economía, han traído retos importantes en relación con las actividades agrícolas nacionales e internacionales, el establecimiento de acuerdos de cooperación internacional y el apoyo a países en desarrollo. Para lograr superarlos, ha sido esencial avanzar hacia la sustentabilidad agrícola. Sin embargo, se requiere de esfuerzos nacionales

políticos y económicos y de la participación de la sociedad, para que en México se establezcan las bases de una agricultura sustentable.

Entre dichos esfuerzos cabe destacar la importancia de asegurar la existencia de fondos públicos destinados a la investigación agrícola y fomentar programas y actividades educativos que impulsen una conciencia ecológica entre la sociedad civil, los productores agrícolas y las autoridades.

Uno de los problemas principales de mayor relevancia para la agricultura tanto en México como en el resto del mundo, es el control de los organismos plaga que año con año ocasionan pérdidas económicas significativas en este sector.

Es en este campo, en el que la participación del biólogo es necesaria y de primaria importancia, ya que conociendo los efectos que el uso intensivo de plaguicidas sintéticos ha tenido sobre el medio ambiente y la salud humana y animal, la búsqueda de alternativas para el control de plagas se ha convertido, en la última década, en una actividad que demanda la participación de especialistas con conocimientos y formación académica relacionada con las ciencias biológicas.

Actualmente, se considera que el control biológico de plagas representa la alternativa más sustentable para proteger a los cultivos y animales domésticos de los ataques de especies plaga, la mayoría de ellas pertenecientes al grupo de los insectos y artrópodos relacionados, aunque también hay roedores, aves, mamíferos, hierbas o malezas y patógenos vegetales que afectan directamente a la producción agrícola, ya que no requiere del uso de costosas sustancias tóxicas ni contaminantes.

Se estima que las pérdidas anuales en cuanto a productividad y calidad de las cosechas como consecuencia de plagas, enfermedades y malezas para el caso de México, ascienden a más del 25% de la producción total, lo cual tiene efectos directos sobre la economía del sector productor. Esto sucede en el resto del mundo pese a la aplicación intensiva de medidas de control, debido a que las especies plaga han desarrollado mecanismos de resistencia al efecto de los plaguicidas químicos.

Los problemas derivados de la mala aplicación de plaguicidas sintéticos y de la naturaleza misma de estos productos, han llevado a la estructuración de mecanismos legales de regulación del uso y producción de plaguicidas en los países desarrollados. Desafortunadamente, estas acciones normativas no se han aplicado en los países en desarrollo como el nuestro, en los cuales se continúan produciendo y utilizando algunos plaguicidas que han sido prohibidos en otros países. Esta situación además de tener consecuencias serias sobre el ambiente y la salud pública, ha llevado al establecimiento de normas estrictas en el comercio internacional de productos agrícolas, lo que ha tenido consecuencias económicas importantes para los países exportadores en vías de desarrollo.

En este crítico contexto, la búsqueda e implementación de métodos efectivos que garanticen el control de las poblaciones plaga sin afectar al medio ambiente ni a la salud humana, han sido desde hace unos años, puntos esenciales dentro de la estructuración de modelos para el desarrollo sustentable de las actividades agropecuarias.

Sin duda el control biológico de plagas (CBP), práctica milenaria, ha ofrecido una alternativa única para disminuir los efectos adversos de las especies plaga sobre los cultivos agrícolas, los animales domésticos y la salud del Hombre. Estos métodos se basan en el uso de los enemigos naturales de las especies a combatir, para controlar el tamaño de las poblaciones de las mismas, en términos generales, los enemigos naturales se pueden clasificar en patógenos, depredadores y parásitos. Es decir, el CBP es el resultado del control y aplicación de las relaciones ecológicas naturales entre dos o más especies en beneficio del hombre, y es un método efectivo, no tóxico, poco costoso, no azaroso y que no induce el desarrollo de resistencia por parte de las especies plaga.

Dentro de las técnicas de CBP, se pueden distinguir dos categorías: las técnicas naturales (en las cuales la acción de los enemigos naturales no es manipulada por el hombre) y las artificiales o aplicadas (en las que sí hay manipulación por parte del hombre, de la acción de los enemigos naturales). Dentro de este último grupo están los bioplaguicidas, de los cuales los más comunes son los microorganismos como bacterias, hongos, protozoarios y baculovirus, aunque también se consideran bioplaguicidas a nemátodos, insectos y a los productos del metabolismo de algunos organismos como esporas, proteínas cristalinas, feromonas, ácidos grasos, etc

El manejo integrado de plagas (MIP), es otra alternativa sustentable para el sector agropecuario, en este caso se busca la integración de diferentes mecanismos de control de plagas para lograr mejores resultados en el corto y largo plazos, siendo el CBP una de las herramientas más importantes para el MIP.

Considerando a los mecanismos de CBP como casos concretos de ecología aplicada, resulta evidente que para lograr un programa exitoso de esta naturaleza, se requiere de profesionales con un amplio conocimiento de los aspectos biológicos de la plaga a combatir y de los enemigos naturales que se utilizarán con ese fin. Una exitosa estrategia de control de plagas de carácter biológico, requiere de un profundo conocimiento de las relaciones interespecíficas que tienen lugar dentro de un agroecosistema, de hecho, el éxito de las prácticas de control biológico se relaciona de manera directa con el nivel de investigación desarrollado para cada caso y de un buen análisis e integración de la información obtenida

Estudios básicos de sistemática, filogenia, biogeografía, biología (ciclos de desarrollo, comportamiento, fisiología, genética, reproducción, nutrición, cultivo, biología de poblaciones) y ecología de las plagas y sus enemigos naturales son parte integral del control biológico, con el cual se busca influenciar la dinámica de la población plaga mediante la implementación de tácticas de manejo, por lo que

se debe llevar a cabo una investigación profunda de la estructura de edades de la población a combatir, los factores que propician cambios en el número de individuos de una población (migraciones, depredación, competencia), ecología de poblaciones y comunidades discretas, etc.

Dada la naturaleza del problema que representa el crear estrategias para el combate a especies plaga, se puede considerar que el biólogo es el único profesional con los conocimientos necesarios para dirigir y coordinar los esfuerzos destinados a esta tarea.

Entre los mecanismos de control biológico aplicado, los microorganismos patógenos han cobrado gran importancia en los últimos años. En particular, las bacterias esporulantes de la especie *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), son bien conocidas y empleadas en todo el mundo para controlar la densidad poblacional de diversos organismos plaga pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos de insectos (coleópteros, lepidópteros y dípteros). *Bt* produce un cristal proteico durante el proceso de esporulación, el cual está constituido por proteínas conocidas como δ -endotoxinas o proteínas Cry, las cuales poseen actividad tóxica hacia las larvas de diversos tipos de insectos.

La comercialización de productos *Bt* tuvo sus inicios en los años 50's, pero fue hasta la segunda mitad de la década de los 80's cuando realmente se popularizó el uso de estos insumos.

La ventaja más relevante de los productos formulados a base de las esporas y cristales producidos por *Bt*, radica en que la acción de las δ -endotoxinas es altamente específica contra ciertos grupos de insectos plaga, mas no se les ha encontrado propiedades tóxicas ni para el ambiente ni para la salud de insectos benéficos y animales vertebrados incluyendo al ser humano; son sustancias de baja persistencia en el ambiente debido a que la incidencia de rayos UV las destruye. En cuanto al desarrollo de resistencia por parte de las plagas hacia el efecto de las proteínas Cry, la tasa es baja.

Sin embargo, dichas características no son un motivo para usar a esta bacteria indiscriminadamente; *Bt* debe usarse sólo cuando sea necesario y en las menores cantidades posibles, procurando que su aplicación forme parte de un programa de manejo sustentable e integrado de plagas. De esta manera, se evitará en lo posible la contaminación de las especies silvestres que ocurren naturalmente en los suelos y se controlará el desarrollo de resistencia por parte de las especies de insectos plaga. Además, se deben considerar los posibles efectos del uso de estos productos en el largo plazo, tanto en términos de la salud humana, como en lo relativo al ambiente y especies no blanco, antes del uso intensivo de los mismos.

Por otro lado, se considera que el cultivo de *Bt* es sencillo, dado que sus requerimientos nutricionales no son muy específicos. La producción a gran escala

de toxinas *Bt* se realiza empleando materias primas baratas como fuentes de carbono y nitrógeno para la fermentación, como melaza, maíz y harina de soya

Los productos comerciales formulados a partir de *Bt*, tienen diversas presentaciones (polvos humectables, gránulos dispersables, microgránulos y líquidos emulsificables de base acuosa u oleosa) También existen en el mercado productos *Bt* derivados de la ingeniería genética y la biotecnología, tales como cepas recombinantes, toxinas encapsuladas, plantas transgénicas y otros mecanismos de liberación de toxinas.

La importancia para la población humana del uso de esta bacteria para controlar plagas tanto en el sector agropecuario como en el sector salud, seguirá incrementándose. Por otro lado, dada la sencillez del proceso de producción de *Bacillus thuringiensis*, la factibilidad técnica para su producción en países de América Latina es bastante alta.

En los países en desarrollo, el uso de los bioinsecticidas *Bt* no está muy difundido, por lo que existe un amplio mercado potencial en estas regiones. Solamente el 8% del mercado internacional total corresponde a América Latina. En México, existen en el mercado únicamente productos *Bt* formulados a partir de ingredientes activos de importación, pese a que el uso de estos productos es muy común en actividades agrícolas, domésticas, urbanas e industriales, gracias a su baja toxicidad y baja permanencia en el ambiente.

Existen disposiciones gubernamentales en materia de regulación y normalización de aspectos relacionados con los insumos agrícolas en todos los países del mundo. En este sentido, Estados Unidos es el país que cuenta con el sistema legal más desarrollado, siendo la EPA (Agencia de Protección al Ambiente), el organismo federal encargado de aprobar el uso de plaguicidas en ese país

Los productos *Bt* han sido considerados por los organismos federales de Estado Unidos, como sustancias de baja toxicidad y exentas de límites de tolerancia, por lo que la EPA ha aprobado su comercialización total. En materia de regulación fitosanitaria, México ha seguido una tendencia a la equivalencia con los países de la OMC y con los integrantes del TLCAN; en este sentido, el Gobierno mexicano deberá dirigir su atención a la promulgación de regulaciones formuladas a partir del conocimiento de las condiciones ambientales y características biológicas propias de nuestro país

Los organismos gubernamentales relacionados con las prácticas de regulación y certificación de plaguicidas en México son la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGAR), Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Salud (SSA) y Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). Con la finalidad de unificar el procedimiento de regulación y control de los insumos fitosanitarios, integrar el inventario de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, revisar las tarifas arancelarias para la importación y exportación de dichos productos, promover la elaboración de

normas oficiales mexicanas en esta materia y promover la capacitación de personal técnico especializado en realizar estudios sobre las características y propiedades de los insumos fitosanitarios, en 1987 se creó la CICOPLAFEST (Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas).

Las normas mexicanas de aplicación obligatoria, relacionadas con plaguicidas, hacen referencia a los requisitos para producir, formular y/o maquilar este tipo de productos; todas las normas son emitidas por la SAGAR a través de la Dirección General de Sanidad Vegetal. No existen en México, normas relacionadas con el uso, producción y comercialización de productos *Bt* en particular

Asimismo, Estados Unidos es el país que cuenta con el mayor número de patentes otorgadas en relación con *Bacillus thuringiensis*.

Pese a que los productos *Bt* que circulan en México son importados y a la carencia de las tecnologías para su aplicación, su uso está muy difundido y un gran número de cultivos nacionales de importancia económica son tratados con bioplaguicidas *Bt*, incluyendo hortalizas (calabaza, chile, jitomate), árboles frutales (aguacate, cítricos), cereales y granos (arroz, frijol, maíz, sorgo, trigo), plantas ornamentales, tubérculos (papa), fibras (algodón), tabaco, etc.

Cabe señalar que la autorización del uso de bioinsecticidas *Bt* sobre el cultivo de maíz, es sumamente importante para un país como México, ya que es de este cultivo del cual depende una elevada proporción de la población nacional y al cual se destina un alto porcentaje de la superficie territorial agrícola total.

Además del maíz, otros productos mexicanos destinados a la exportación, como jitomate, algodón, pepino, cebolla, garbanzo, melón, sandía, frijol, brócoli y coliflor, representan un mercado potencial muy importante para la aplicación de productos *Bt* en nuestro país.

Se puede afirmar pues, que si bien sólo una fracción muy pequeña del mercado de bioplaguicidas *Bt* está siendo atendida en México, éste es potencialmente muy amplio y se puede esperar que crezca significativamente en los próximos años, si los costos de adquisición, aplicación y capacitación estuvieran al alcance de los pequeños productores y no sólo de los que emplean sistemas de riego

Asimismo, la formación de profesionales interesados y comprometidos con la búsqueda de nuevos elementos que favorezcan la introducción y difusión de los bioplaguicidas en el mercado nacional, es necesaria para impulsar el desarrollo sustentable del sector agropecuario en México

Las instituciones mexicanas que realizan investigación importante en relación con *Bacillus thuringiensis*, son la Universidad Autónoma de Nuevo León, CINEVESTAV-Irapuato, CINEVESTAV-DF, Instituto de Biotecnología-UNAM, Universidad Autónoma de Morelos, Instituto Tecnológico de Durango y CIMMYT

En la actualidad, la búsqueda de nuevas cepas de *Bt* y estudios sobre los mecanismos de acción de las proteínas Cry, son las líneas de investigación más relevantes y en las que se demanda la participación del biólogo. Por otro lado, tomando en cuenta la muy alta especificidad de las proteínas Cry y la gran biodiversidad que poseen países en desarrollo como Brasil, Colombia y México, es posible que ahí puedan hallarse nuevas cepas de *B. thuringiensis* con aplicaciones específicas para el control de las plagas que afectan a nuestros ecosistemas y que son diferentes a las encontradas en los países desarrollados.

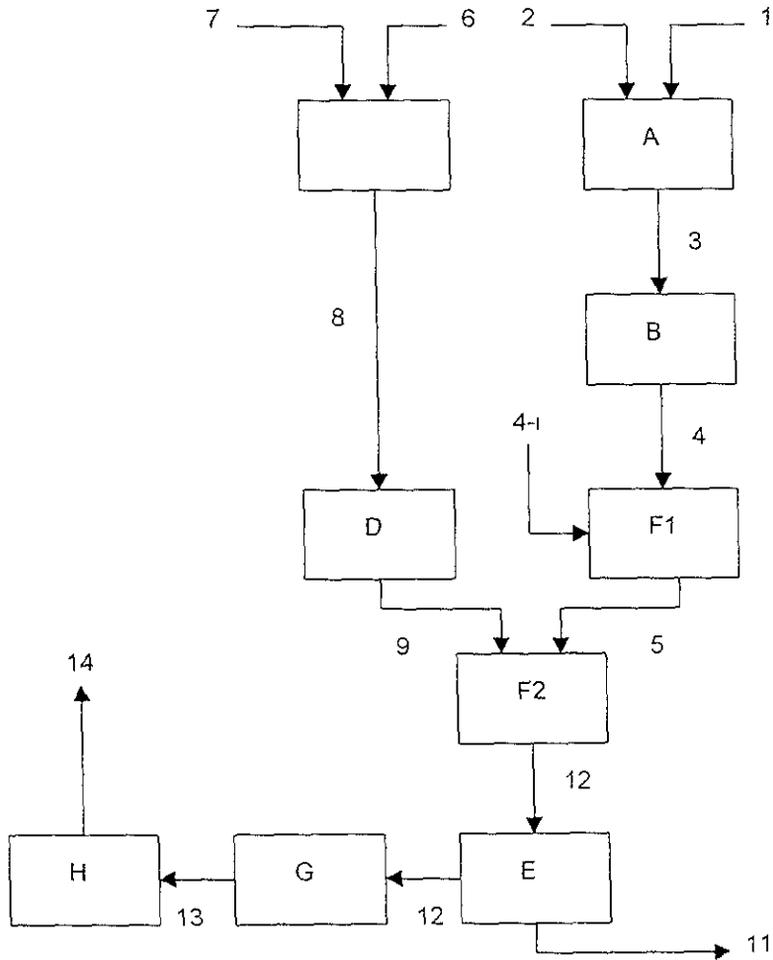
El desarrollo de resistencia por parte de las poblaciones plaga hacia los efectos de los bioinsecticidas *Bt*, es sin duda un problema con el que se tendrá que contender y cuya solución requiere de la participación interdisciplinaria e integral de diversos profesionales, incluyendo al biólogo.

En este contexto, la importancia de los bioplaguicidas *Bt* como una alternativa sustentable para el desarrollo de las actividades agrícolas para un país como México, dependerá sobre todo, de las posibilidades de distribuir los productos y programas de sensibilización y capacitación correspondientes a los pequeños agricultores. Se espera que con la producción nacional de las materias primas necesarias para la formulación de los plaguicidas *Bt*, los costos de los productos comerciales se vean disminuidos y las posibilidades de ampliar su uso se incrementen en todo el país.

Este es un ejemplo concreto de un estudio integral completo, en el cual se consideraron aspectos diversos sobre un tema central, en este caso los productos formulados a partir de las toxinas producidas por *Bacillus thuringiensis*. El estudio comprendió desde elementos de la naturaleza de la bacteria productora, la estructura de las proteínas que produce y su mecanismo de acción, hasta aspectos comerciales y de mercado, dentro del marco jurídico y normativo relacionado con su producción y comercialización.

ANEXO 1

Diagrama de flujo y breve descripción del proceso de producción de Bt a escala industrial.



Fuente Quintero, *et al.* 1997

OBTENCIÓN DEL INÓCULO

El proceso inicia con la etapa (A) en la cual se mezclan las corrientes de medio de cultivo (1) y (2), a temperatura ambiente y con agitación constante. La mezcla resultante (3) se vacía en un esterilizador (B); ahí, el medio de cultivo (4) se purifica y luego es alimentado al fermentador (F1) conocido como fermentador semilla. Al mismo tiempo, se prepara en el laboratorio la cepa de *Bt* (4-i) y se introduce en dicho fermentador semilla. El producto de esta fermentación (5) es una de las corrientes de alimentación a la fermentación (F2). Al final de esta etapa, conocida como fase de crecimiento, se recomienda que la concentración que alcance el cultivo en la fase líquida sea de alrededor de 25 gramos por litro. La concentración del cultivo al final de la fermentación se conoce como biomasa.

PREPARACIÓN DE LOS MEDIOS DE CULTIVO PARA LA FERMENTACIÓN

Simultáneamente al proceso de obtención del inóculo, se mezclan los nutrientes (6) y (7) en un sistema (C) con agitación constante. Mediante esta operación se hace la preparación del medio de cultivo para la fermentación de las cepas de *Bt*. Esta corriente de nutrientes (8) pasa a un medio de esterilización (D) para conformar el medio de cultivo (9) que se alimentará al fermentador (F2).

Entre los aspectos más importantes que determinan la efectividad y el buen comportamiento del medio de cultivo para la fermentación, están los nutrientes que constituyen la fuente de carbono. Una de las fuentes de carbono recomendables para este proceso es la melaza de caña, ya que además de ser rica en nutrientes, es de fácil acceso; este nutriente puede ser complementado con harina de soya u otros elementos y debe enriquecerse con una fuente de nitrógeno como el sulfato de amonio. Los minerales deben estar presentes en el medio de cultivo a una determinada proporción.

FERMENTACIÓN (F2)

Esta etapa consiste en una fermentación sumergida que se lleva a cabo en un tanque agitado, por lotes, utilizando agitación mecánica y aireación por burbujeo. La fermentación continúa hasta el punto en que la bacteria ha comenzado la formación de esporas, lo cual significa que se han generado las endotoxinas por agotamiento de nutrientes y que constituyen el principio activo del producto final.

El tiempo necesario para lograr la fermentación es de entre 6 y 10 horas, manteniéndose a temperaturas de entre 25 y 35 C y a un pH de 7 en el medio de cultivo. La aireación debe ser controlada en valores de 1 vvm, manteniendo el oxígeno disuelto en concentraciones mínimas del 10%. Bajo estas condiciones de operación y después de 24 a 30 horas, se puede considerar que el 90% de las células habrán esporulado y producido las endotoxinas. En promedio, al final de este proceso, se obtienen 10 gramos de principio activo por litro de caldo de fermentación.

SEPARACIÓN POR CENTRIFUGACIÓN

Una vez obtenidas las proteínas (10) de la etapa de fermentación (F2), se procede a la concentración de los cristales y de las esporas. Esta operación se realiza mediante una centrifugación (E), donde los cristales se lavan con agua y se vuelven a centrifugar. Después se debe hacer una dilución para alcanzar una concentración de sólidos de alrededor del 30% para conformar una suspensión (12), mientras que se separan los desechos (11).

SECADO POR ASPERSIÓN

Esta etapa consiste en llevar la suspensión resultante (12) a una etapa de secado por aspersión (G), en donde se debe obtener un producto (13) con una humedad máxima del 4%.

FORMULACIÓN

En la fase de formulación (H), el producto seco obtenido (13), se mezcla con un diluyente sólido (14) que puede ser talco mineral, quedando una concentración del 20%. Finalmente, el producto comercial se empaca en presentaciones generalmente de 2 kg y se almacena en espera de los resultados de las pruebas de control de calidad para ser comercializado. La mejor forma de obtener los parámetros de control de calidad del lote obtenido es mediante la técnica de bioensayos y la medición de la cantidad de proteína.

La técnica de bioensayo consiste en alimentar con el producto, a larvas del insecto plaga blanco y medir su efectividad (dosis letal media). Normalmente, las evaluaciones de *Bt* se hacen respecto al producto obtenido e una cepa de referencia.

Fuente: Quintero, *et al* 1997

ANEXO 2

Sinopsis de las normas mexicanas publicadas en el Diario Oficial de la Federación, relacionadas con el uso, comercialización y producción de plaguicidas.

México D.F., miércoles 14 de febrero de 1996

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana **NOM-053-FITO-1995**, por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para realizar la difusión de la publicidad de insumos fitosanitarios.

Unidad administrativa responsable de la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana:
DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL.

Objetivo y campo de aplicación: la presente Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los requisitos y criterios que deberá cumplir la publicidad de insumos fitosanitarios que se emplean en el manejo de plagas. Es de cumplimiento obligatorio para todas las personas físicas o morales que utilicen la publicidad como medio de promoción de insumos fitosanitarios que se emplean en el manejo de plagas.

Especificaciones y aplicabilidad: sólo se podrá difundir publicidad de productos registrados y sobre los usos autorizados ante la dependencia competente. La publicidad sobre el insumo fitosanitario deberá indicar el número de registro ante la CICOPLAFEST, categoría toxicológica del producto, etc y deberá cumplir con los criterios y requisitos establecidos en la norma publicada.

Comentarios: esta norma es de aplicación general para cualquier tipo de insumo fitosanitario, independientemente de su naturaleza. Esta Norma Oficial no tiene concordancia con ninguna internacional, por no existir referencia al momento de elaborarse, pero se apega a los lineamientos establecidos en el Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. FAO

México D.F., lunes 24 de junio de 1996

NORMA Oficial Mexicana **NOM-003-FITO-1995**, por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de

funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en comercializar plaguicidas agrícolas.

Objetivo y campo de aplicación: la presente Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer el procedimiento que deben cumplir las personas físicas o morales que se dediquen a la comercialización de plaguicidas, para presentar el aviso de inicio de funcionamiento y obtener la certificación de cumplimiento de la Norma, para ser inscritas en el Directorio Fitosanitario correspondiente, así como las obligaciones que se deriven de la misma.

Especificaciones y aplicabilidad: las personas físicas o morales que se dediquen a la comercialización de plaguicidas agrícolas, deberán presentar por duplicado a la Secretaría, a través de las delegaciones estatales correspondientes, organismos de certificación o unidades de verificación aprobados o acreditados, el aviso de inicio de funcionamiento en un plazo no mayor de veinte días naturales a partir del inicio de sus actividades, al cual debe anexarse la siguiente información

- a) Nombre, denominación o razón social, domicilio fiscal de la persona física o moral, según se trate;
- b) Registro federal de contribuyentes, con cédula de identificación fiscal,
- c) Lista de plaguicidas que pretende comercializar,
- d) Testimonio notarial que acredite la representación del apoderado o representante legal de la persona moral, o en su caso, de la persona física cuando actúe otra en su nombre;
- e) Propuesta del responsable técnico que deberá ser Ingeniero Agrónomo con experiencia mínima de tres años en recomendaciones de uso de plaguicidas, quien deberá cumplir los siguientes requisitos
 - Copia íntegra de cédula profesional
 - Curriculum actualizado con la documentación comprobatoria
- f) Comprobante de pago de derechos bajo tarifa vigente estipulada por la Ley Federal de Derechos.

Una vez que la empresa presenta el aviso de inicio de funcionamiento, quedará inscrita en el Directorio Fitosanitario correspondiente. La Secretaría directamente o a través de los organismos de certificación o unidades de verificación, verificará en un plazo no mayor de 60 días naturales, que la persona física o moral que se dedique a la comercialización de plaguicidas cumple con lo estipulado, si se cumple con estos requisitos, se otorgará el certificado del cumplimiento de la norma, si no, se dará plazo para realizar una regulación al término de la cual se deberá solicitar la verificación otra vez que de no ser acreditada, representará sanciones para el interesado.

Una vez presentado el aviso de inicio de funcionamiento, el interesado deberá solicitar cada dos años una verificación y certificación del cumplimiento de la Norma Oficial.

Deberá notificarse cualquier modificación a las condiciones bajo las cuales se presentó el aviso de inicio de funcionamiento. El interesado deberá informar sobre la terminación de las actividades de la empresa y cumplir con las siguientes disposiciones comercializar solamente plaguicidas registrados por la CICOPLAFEST, llevar el control del número de registro de los plaguicidas y

empresa formuladora que se los provee, no vender plaguicidas caducos, adulterados, introducidos ilegalmente al país o prohibidos; no vender plaguicidas a granel; llevar un registro y control de los plaguicidas que requieren recomendación escrita para su comercialización, cantidades, compradores, etc ; dar capacitación al personal que expende plaguicidas agrícolas mediante cursos; deberá haber un responsable agrónomo; entregar cada dos años a la Secretaría el listado de las empresas formuladoras, fabricantes e importadoras con las que tiene relación.

Comentarios: es una norma de aplicación general, no hace diferencia entre los diferentes tipos de plaguicidas que se comercializan, a excepción de los que requieren de recomendación escrita de un profesional fitosanitario.

Esta Norma Oficial Mexicana no tiene concordancia con ninguna norma o recomendación internacional, por no existir referencia al momento de elaborar la presente

México, D.F. lunes 24 de junio de 1996.

NORMA Oficial Mexicana **NOM-034-FITO-1995**, por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en la fabricación, formulación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas agrícolas.

Objetivo y campo de aplicación: la presente Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria dentro del territorio nacional y tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir las empresas dedicadas a la fabricación, formulación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas, para presentar el aviso de inicio de funcionamiento y obtener la certificación del cumplimiento de sus disposiciones para ser inscritas en el Directorio Fitosanitario correspondiente, así como las obligaciones que se deriven de la misma -

Especificaciones y aplicabilidad: los interesados deberán presentar por duplicado a la Secretaría, directamente o a través de los organismos de certificación o unidades de verificación aprobados o acreditados, el aviso de inicio de funcionamiento en un plazo no mayor a sesenta días naturales a partir del inicio de sus actividades, al cual debe anexarse la siguiente información,

- a) Nombre, denominación o razón social, domicilio fiscal, teléfono y giro de empresa
- b) Acta constitutiva de la empresa
- c) Registro Federal de Contribuyentes, con cédula de identificación fiscal.
- d) Lista de plaguicidas que se pretenden fabricar, formular, maquilar o importar
- e) Testimonio notarial que acredite la representación del apoderado o representante legal de la persona moral o, en su caso, de la persona física cuando actúe otra en su nombre

- f) Domicilio y croquis de localización de oficinas y bodegas.
- g) Las empresas formuladoras y/o maquiladoras deberán presentar relación de empresas a las que se presta el servicio de maquila, con inscripción vigente como empresas formuladoras por maquila y productos a maquilar
- h) Las empresas formuladoras por maquila deberán presentar relación de empresas a las que se envía a maquilar, con inscripción vigente como empresas formuladoras y/o maquiladoras y productos de maquilado.
- i) Con excepción de las empresas importadoras y las formuladoras por maquila, las otras empresas deberán designar a un responsable técnico de control de calidad, quien debe ser profesional en el área de Química, tener una copia íntegra de la cédula profesional y tener *curriculum vitae* actualizado con documentación comprobatoria donde avale experiencia en el control de calidad de plaguicidas.
- j) Comprobante de pago de derechos bajo la tarifa establecida en la Ley Federal de Derechos.

Una vez presentado el aviso de inicio de funcionamiento, el interesado deberá solicitar cada dos años directamente a la Secretaría o a las unidades de verificación u organismos de certificación, una verificación y certificación del cumplimiento de esta Norma, a fin de mantener vigente su inscripción al Directorio Fitosanitario, al cual queda inscrito el interesado una vez que se ha presentado el aviso de inicio de funcionamiento.

Cualquier modificación a las condiciones iniciales bajo las cuales se presentó el inicio de funcionamiento o se certificó el cumplimiento de la norma, deberá notificarse a la Secretaría, organismos de certificación o unidades de verificación.

Una vez inscritos en el Directorio Fitosanitario, los interesados deberán realizar el manejo de plaguicidas conforme a la autorización obtenida de la CICOPALFEST; el propietario del registro debe responsabilizarse de la información agronómica contenida en la etiqueta (dosis, cultivos autorizados, nombre científico y común de las plagas, preparación, etc.).

Las empresas fabricantes, formuladoras e importadoras deben prestar asesoría técnica a los distribuidores y comercializadores de plaguicidas, para asegurar el buen uso de los mismos

Comentarios: esta norma cuenta con diversas especificaciones que deben ser cumplidas. La norma es aplicable a todos los plaguicidas, independientemente de su naturaleza

Esta Norma Oficial no tiene concordancia con ninguna Norma o recomendación internacional, por no existir referencia al momento de elaborar la presente.

México D.F., lunes 26 de agosto de 1996

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana **NOM-052-FITO-1995**, por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para presentar el aviso de inicio de funcionamiento por las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas agrícolas

Unidad administrativa responsable de la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana:
DIRECCIÓN GENERAL DE SANIDAD VEGETAL.

Objetivo y campo de aplicación: la presente Norma Oficial tiene por objeto establecer los requisitos y especificaciones fitosanitarias que deben cumplir las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas agrícolas, así como propietarios de pistas y/o aeronaves, para presentar el aviso de inicio de funcionamiento y obtener el certificado de cumplimiento de la Norma, para ser inscritas en el Directorio Fitosanitario correspondiente; así como las obligaciones que se deriven de la misma.

Las disposiciones de esta Norma Oficial Mexicana resultan aplicables para todas las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas que operen dentro del territorio nacional

Especificaciones y aplicabilidad: el interesado presentará por duplicado a la Secretaría, a través de Delegaciones Estatales correspondientes, los organismos de certificación o unidades de verificación aprobados, el aviso de inicio de funcionamiento el cual debe contener los datos de la empresa aplicadora, de las pistas utilizadas por la empresa, los pilotos que prestan sus servicios a la empresa y las aeronaves utilizadas.

Una vez que las personas físicas o morales que se dedican a la aplicación aérea de plaguicidas, presentan el aviso de inicio de funcionamiento, quedan inscritas en el Directorio Fitosanitario correspondiente y deben someterse a verificaciones sobre el cumplimiento de la Norma que deben solicitarse cada año a la Secretaría o a través de los organismos de certificación o unidades de verificación

Comentarios: la Norma se aplica a cualquier tipo de pesticida, independientemente de su naturaleza. En la Norma se especifican diversos requisitos que deben cumplirse.

Esta Norma no tiene concordancia con ninguna norma o recomendación internacional, por no existir referencia al momento de elaborarla

Otras Normas Oficiales Mexicanas vigentes y en proyecto relacionadas con el tema se presentan a continuación:

a) Ecológicas

- **Norma Oficial Mexicana NOM-090-ECOL-1994** Establece requisitos para el diseño y construcción de los receptores de agroquímicos
- **Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.** Establece las características de los residuos peligrosos, el listado, y los límites que hacen a un residuo peligroso

b) Sanitarias

- **Norma Oficial Mexicana NOM-044-SSA1-1993.** Establece requisitos para contener plaguicidas. Envase y embalaje.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-045-SSA1-1993.** Establece el etiquetado de plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial.
- **Norma Oficial Mexicana NOM-046-SSA1-1993.** Establece el etiquetado de plaguicidas. Productos para uso doméstico.
- **Proyecto de NOM-058-SSA1-1993.** Establece requisitos sanitarios para establecimientos que fabrican y formulan plaguicidas y fertilizantes y que procesan sustancias tóxicas o peligrosas
- **Proyecto de NOM-043-SSA1-1993.** Almacenamiento de plaguicidas

c) Zoosanitarias

- **Norma Oficial Mexicana NOM-023-ZOO-1994.** Establece el análisis de residuos de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves, por cromatografía de gases

d) Fitosanitarias

- **Proyecto de NOM-032-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico.
- **Proyecto de NOM-033-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en comercializar plaguicidas agrícolas
- **Proyecto de NOM-034-FITO-1995** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en la fabricación, formulación, formulación por maquila, formulación y/o maquila e importación de plaguicidas agrícolas.
- **Proyecto de NOM-050-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para efectuar ensayos de campo para el establecimiento de límites máximos de residuos de plaguicidas en productos agrícolas
- **Proyecto de NOM-051-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias agrícolas cuya adquisición y aplicación está sujeta a la recomendación escrita de un profesional fitosanitario
- **Proyecto de NOM-053-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para realizar la difusión de la publicidad de insumos fitosanitarios
- **Proyecto de NOM-057-FITO-1995.** Establece los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas.
- **Proyecto de NOM** para el manejo y disposición final para envases de plaguicidas y fertilizantes.

e) Higiene y seguridad industrial

- **Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1993.** Relativa a la seguridad e higiene en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles (DOF, 031293)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-006-STPS-1993.** Relativa a la seguridad e higiene para la estiba y desestiba de los materiales en los centros de trabajo (DOF, 031293)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-009-STPS-1993.** Relativa a la seguridad e higiene para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo(DOF, 130694)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1993.** Relativa a la seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen y manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral (DOF, 080794).

f) Transporte

- **Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCT2-1994** Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados(DOF, 301095)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-003-SCT2-1994.** Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos (DOF, 210895)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-004-SCT2-1994** Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos (DOF, 130995)
- **Norma Oficial Mexicana NOM-005-SCT2-1994.** Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos (DOF, 240795).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCT2-1994** Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos (DOF, 230895).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-007-SCT2-1994** Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos (DOF, 180895).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-010-SCT2-1994.** Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos (DOF, 250995).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-011-SCT2-1994.** Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas (DOF, 250995).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-019-SCT2-1994.** Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos (DOF, 250995)

- **Norma Oficial Mexicana NOM-028-SCT2-1994.** Disposiciones especiales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables transportados(DOF, 041095).
- **Norma Oficial Mexicana NOM-043-SCT2-1994.** Documentos de embarque de substancias, materiales y residuos peligrosos (DOF, 231095)

ANEXO 3

Cultivos mexicanos autorizados por la CICOPLAFEST, para el tratamiento con Bt como medida de control contra plagas de insectos.

Uso autorizado	Plagas y patógenos	Formulación	Dosis
Aguacate	Barrenador de ramas y tallo <i>Copturus aguacatae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Ajonjolí	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Alfalfa	Falso medidor de la alfalfa <i>Autographa californica</i>	G.D. 03	0 15-0 25 kg/ha
	Gusano terciopelo <i>Anticarsia gematalis</i>	G.D. 03	0.15-.025 kg/ha
	Gusano verde de la alfalfa <i>Colias eurytheme</i>	G.D. 03	0 15-0.25 kg/ha
Algodón	Falso medidor de la alfalfa <i>Autographa californica</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano bellotero <i>Heliothis sp</i>	G.D. 03	0 5-1 kg/ha
	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	G D 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano terciopelo <i>Anticarsia gemmatalis</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Medidor de la hoja del algodonerero <i>Alabama argillacea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Apio	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	P.H. 10	0.5-1 5 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	P.H. 10	0 5-1 5 kg/ha
Arroz	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	G.D. 03	0 6-2 2 kg/ha
Berenjena	Gusano de cuerno <i>Protoparce carolina</i>	G.D. 03	0 5-1 kg/ha

Betabel	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Brócoli	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-0.5 kg/ha
	Marposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.25-0.5 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.25-0.5 kg/ha
Cacahuete	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano terciopelo <i>Anticarsia gemmatilis</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Calabacita	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	G.D. 03	1-2.5 kg/ha
Calabaza	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha
Caña de azúcar	Barrenador común de la caña de azúcar <i>Diatraea saccharalis</i>	P.H. 03	0.3-0.4 kg/ha
Cártamo	Gusano de la yema del tabaco <i>Heliothis virescens</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Cebada	Gusano soldado <i>Mythimna unipuncta</i>	G.D. 03	0.6-2.2 kg/ha
Cebolla	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	G.D. 03	0.6-2.2 kg/ha
Chicharo	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Chile	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano del cuerno del jitomate <i>Manduca quinquemaculata</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha

Ciruela	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Citricos	Gusano perro del naranjo <i>Papilio cresphontes</i>	P.H. 10	0.5-1 kg/ha
Col	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Col de Bruselas	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Coliflor	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Colza	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	SUSP.A. 02	0.5-2 l/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	SUSP.A. 02	0.5-2 l/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	SUSP.A. 02	0.5-2 l/ha
Espinaca	Gusano del fruto <i>Heliothis zea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano de cuerno del jitomate <i>Manduca quinquemaculata</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Fresa	Gusano del fruto <i>Heliothis zea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Frijol	Gusano falso medidor de la col	G.D. 03	0.25-0.75 kg/ha

	<i>Trichoplusia ni</i> Gusano verde del trébol <i>Plathypena scabra</i>	G.D. 03	0.25-.075 kg/ha
Garbanzo	Gusano de la yema del tabaco <i>Heliothis virescens</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Girasol	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano terciopelo <i>Anticarsia gemmatalis</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha
Jitomate	Gusano del fruto <i>Heliothis zea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano de cuerno del jitomate <i>Manduca quinquemaculata</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Lechuga	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Limón	Gusano perro del naranjo <i>Papilio crasphontes</i>	G.D. 03	0.25-0.5 kg/ha
Maíz	Barrenador común de la caña de azúcar <i>Diatraea saccharalis</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano elotero <i>Heliothis zea</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano cogollero* <i>Spodoptera frugiperda</i>	GRAN 03	10-15 kg/ha
	Gusano soldado <i>Mythimna unipuncta</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha

Manzano	Gusano de bolsa <i>Malacosoma sp</i>	G.D 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	G D. 03	0.5-1 kg/ha
Melón	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha
Mostaza	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G D. 03	0.25-1.5 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris rapae</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha
Nabo	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	P.H. 03	0.25-0.5 kg/ha
	Mariposita blanca de la col <i>Pieris sp</i>	P H 03	0.25-0.5 kg/ha
	Palomilla dorso de diamante <i>Plutella xylostella</i>	P.H. 03	0.25-0.5 kg/ha
Naranja	Gusano perro del naranja <i>Papilio cresphontes</i>	G D. 03	0.25-0.5 kg/ha
Nogal	Barrenador de la nuez <i>Acrobasis caryae</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Nogal pecanero	Gusano telarano del otoño <i>Eyphanta cunea</i>	G.D 03	0.6-1.1 kg/ha
Nopal	Gusano joroba roja <i>Parayalosis sp</i>	G D. 03	0.5-1 kg/ha
Okra	Gusano del fruto <i>Heliothis sp</i>	G.D 03	0.6-1.1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.6-1.1 kg/ha
Ornamentales	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G D. 03	0.5-1 kg/ha
Papa	Gusano de cuerno del tabaco <i>Manduca sexta</i>	G D. 03	0.5-1 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha
Pastizales y pastos	Gusano falso medidor <i>Mocis latipes</i>	G D. 03	0.6-2.2 kg/ha
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D 03	0.6-2.2 kg/ha
	Gusano soldado	G.D. 03	0.6-2.2 kg/ha

	<i>Spodoptera exiqua</i>			
	Medidor de la hoja del algodonero <i>Alabama argillacea</i>	G.D. 03	0.6-2.2 kg/ha	
Pepino	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha	
Perejil	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha	
Piña	Barrenador del fruto de la piña <i>Thecla basilides</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha	
Sandía	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.25-1.5 kg/ha	
Sorgo	Gusano cogollero* <i>Spodoptera frugiperda</i>	GRAN. 03	10-15 kg/ha	
	Gusano soldado <i>Mythimna unipuncta</i>	P.H. 03	0.5-1 kg/ha	
Soya	Gusano del fruto <i>Heliothis zea</i>	G.D. 03	0.5-0.75 kg/ha	
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-0.75 kg/ha	
	Gusano peludo <i>Estigmene acrea</i>	G.D. 03	0.5-0.75 kg/ha	
	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	G.D. 03	0.5-0.75 kg/ha	
	Gusano terciopelo <i>Anticarsia gematalis</i>	G.D. 03	0.5-0.75 kg/ha	
Tabaco	Gusano de cuerno <i>Manduca sp</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha	
	Gusano de cuerno del tabaco <i>Manduca sexta</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha	
	Gusano de la yema del tabaco <i>Heliothis virescens</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha	
	Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	G.D. 03	0.5-1 kg/ha	
Tomate cáscara	de	Gusano afiler del tomate <i>Keiferia lycopersicella</i>	P.H. 10	1-2.5 kg/ha
		Gusano del fruto <i>Heliothis zea</i>	P.H. 10	1-2.5 kg/ha
		Gusano falso medidor de la col <i>Trichoplusia ni</i>	P.H. 10	1-2.5 kg/ha

	Gusano soldado <i>Spodoptera exiqua</i>	P.H 10	1-2.5 kg/ha
--	--	--------	-------------

G D = Gránulos Dispersables P H = Polvo Humectable SUSP A. = Suspensión Acuosa GRAN = Granulado

* Aplicación al cogollo

Fuente Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plagucidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) Catálogo Oficial de Plagucidas, México 1995

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Alatorre, G. (compilador). 1993. *¿Qué es la Agricultura Sustentable?*. Cuadernos para el desarrollo sustentable, Fundación Friedrich Ebert. México. 58pp.
2. Albert, L.A. 1983. *Repercusiones del uso de plaguicidas sobre ambiente y salud*. Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB. Xalapa, Ver. México.
3. Almeida, W.F. 1982. *Fundamentos toxicológicos de los plaguicidas*. Ponencia presentada en el Taller "Adiestramiento en prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". CINES San Cristóbal de las Casas, Chis. México.
4. Amaya, R.R. 1983. *Políticas de uso de plaguicidas en México: las autoridades*. Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB. Xalapa, Ver. México.
5. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos, 1994. INEGI.
6. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1997. INEGI.
7. Arata, A. 1982. *El control integrado en la agricultura*. Ponencia presentada en el Taller "Adiestramiento en prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". CINES. San Cristóbal de las Casas, Chis. México.
8. Arata, A. 1983. *Perspectivas del uso de plaguicidas: historia, situación actual y necesidades futuras*. Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB Xalapa, Ver. México.
9. Asociación Nacional de Ingenieros Químicos. *Diccionario de Especialidades Agroquímicas*. México, 1994.
10. Bodegas, P R. 1983. *Control Integrado II*. Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB. Xalapa, Ver. México.
11. Brenner, C. 1993. *Technology and Developing Country Agriculture: The impact of Economic Reform*. OECD Paris, France. Pp: 9-38
12. Brenner, C & J. Komen. 1994. *International Initiatives in Biotechnology for Developing Country Agriculture: Promises and Problems*. Technical Papers of the OECD Paris, France 60pp.

13. Brock, T. & M. Madigan. 1993. *Microbiología*. Prentice Hall. México. 956pp.
14. Brunke, K J & R L. Meeusen. 1991. *Insect Control with genetically engineered crops*. TIBTECH 9, pg. 197-200.
15. Calderón, R. 1993. *La formación de profesionales para el desarrollo rural: el caso de la Agronomía en México*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Desarrollo Rural, UAM-X. México. 335pp.
16. Carrol, C R. *et al*. 1990. *Agroecology*. Mc Graw-Hill. E.U. 641pp.
17. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). *Catálogo Oficial de Plaguicidas*. México, 1995.
18. Conway, R.G. & E.B. Barbier. 1990. *After the Green Revolution: Sustainable Agriculture for Development*. Earthscan Publications. London, UK 205pp.
19. Cummings C E., *et al* Structural and functional studies of a synthetic peptide mimicking a proposed membrane inserting region of a *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin in *Mol. Membr. Biol.* 1994, 11(2): 87-92.
20. Dean, D.H., *et al*. Probing the mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins by site-directed mutagenesis in *Gene* 1995.
21. De Bach, P. & D. Rosen. 1991. *Biological control by natural enemies*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K 440pp.
22. Diario Oficial de la Federación
23. Diario Oficial de la Federación Tarifa General de Impuestos México, 31 de diciembre de 1996.
24. Enkerlin, D 1983. *Control Integrado I*. Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB Xalapa, Ver México
25. García, Z.R. 1993. Crisis y Modernización del agro en México 1940-1990. Universidad Autónoma de Chapingo. México 335pp.
26. Gazit, E & Shai. The assembly and organization of the $\alpha 5$ and $\alpha 7$ helices from the pore-forming domain of *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin in *Journal of Biological Chemistry* 1995, 270: 2571-2578

27. Goicoechea, J.F. Modernización y estancamiento paradójicas del sector agropecuario en México en *Comercio Exterior*. Agosto, 1996.611-617
28. Goldman, B.A. 1995. *Sustainable America*. US Department of Commerce. Estados Unidos. 206pp
29. Gutelman, M. 1971. *Capitalismo y reforma agraria en México*. Editorial Era. México. 290pp.
30. Henao, S. H. & G. O. Corey. 1986. *Plaguicidas organofosforados y Carbámicos*. Serie Vigilancia, Tomo 2, CPEHS, OPS y OMS. México. 194pp.
31. Hewitt, C.A. 1978. *La modernización de la agricultura mexicana 1940-1970* Siglo XXI Editores. México. 319pp.
32. Hobbelink, H. 1991. *Biotechnology and the future of world agriculture*. Zed Books LTD. London, U.K. 159pp.
33. Hodgson, E. & R. Kuhr. 1990. *Safer Insecticides: Development and Use*. Marcel Dekker Inc. E.U. 593pp.
34. Kidd, Ch. V. & D. Pimentel. 1992. *Integrated Resource Management Agroforestry for Development*. Academic Press. E.U. 223pp.
35. Lee, M.K., et al. Domain III exchanges of *Bacillus thuringiensis* CryIA toxins affect binding to different gypsy moth midgut receptors in *Biochem. Biophys Res. Commun.* 1995, 216: 306-312.
36. Levy, S. & S.V. Wijnbergen. 1992. *Mexican agriculture in the Free Trade Agreement. transition problems in economic reform*. Technical Papers of the OECD. Paris, France 92pp.
37. Li, J., et al. 1991. Crystal structure of insecticidal δ -endotoxin from *Bacillus thuringiensis* at 2.5 Å resolution. *Nature* 353.815-521.
38. Lomelí, A. 1983. *El movimiento internacional de organizaciones de consumidores frente a los problemas de proliferación mundial de plaguicidas* Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB. Xalapa, Ver. México.
39. Lorence, A. 1996. *Los biopesticidas en el marco de la agricultura sustentable* Cuadernos de vigilancia biotecnológica, CamBioTec México. 71pp.
40. Margalef, R. 1989. *Ecología* Omega España 951pp

41. Martínez, S.T. 1983. *Historia de la agricultura en México* Ponencia presentada en el III Taller Latinoamericano "Prevención de riesgos en el uso de plaguicidas". INIREB. Xalapa, Ver. México
42. Matten, S.R., et al. 1993 *Biological pesticides and the U.S. Environmental Protection Agency*, en *Advances engineered pesticides*, L. Kim (editor). Marcel Dekker Inc. E.U pg 321-335.
43. Münch, S. 1992. *Aspectos principales de la transformación tecnológica en el sector agropecuario de los países en desarrollo*, en *Implicaciones del progreso tecnológico en la agricultura de países en desarrollo* de Schwentesius, et al (compiladores). Humboldt Universität zu Berlin y Universidad Autónoma de Chapingo. México Pg 23-37
44. Nishimoto, T., et al Functional analysis of block 5, one of the highly conserved aminoacid sequences in the 130-kDa CryIVA protein produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in *FEBS. Lett.* 1994, 348:249-254.
45. Persley, G. 1990 *Agricultural Biotechnology, Opportunities for International Development*. CAB International Cambridge, U.K 495pp.
46. Pino, C.N 1982. *Control Integrado de Plagas*. Ponencia presentada en el Taller "Adiestramiento en prevención de riesgos en el uso de plaguicidas. CINES. San Cristóbal de las Casas, Chis. México.
47. Primo, B.Y. & J.M.D Carrasco 1990. *Química Agrícola II. Plaguicidas y fitorreguladores*. Alhambra. España. 693pp
48. Quintero, R., et al 1997. *Plan de Negocios para la producción de plaguicidas biológicos a base de Bacillus thuringiensis*. CamBioTec México, 1997.
49. Restrepo, I 1996. Se va 1996 con las promesas en *La Jornada*. 23/XII.
50. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. Tomos I y II. México, 1994.
51. Solleiro, J.L. & A. Rocha. Cambio técnico e innovación en la agricultura mexicana en *Comercio Exterior* Agosto, 1996. 599-602.
52. Solleiro, J.L., et al. 1998 *Competitividad de la Industria de Semillas en México*. SAGAR, II-UNAM. 91pp
53. Stiling, P.D 1992 *Ecology. Theories and Applications*. Prentice Hall Estados Unidos 539pp
54. Tivy, J 1990 *Agricultural Ecology* Longman S&T Singapore 288pp

55. Torres, T.F. Desarrollo sustentable y alimentación sana en *Comercio Exterior*. Agosto, 1996: 603-610.
56. Torres, T.F., et al. (compiladores). 1996. *El reordenamiento Agrícola en los países pobres*. UNAM, IIE, PUAL México. Pp: 350, 351.
57. Van den Bosch, R., et al. 1982. *An Introduction to Biological Control*. Plenum Press. E.U. 247pp
58. Weier, D. & M. Schapiro. 1981. *Circle of poison: pesticides and people in a hungry world*. Food First Books. US.
59. Wu, D. & A.I. Aronson. Localized mutagenesis defines regions of the *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin involved in toxicity and specificity in *Journal of Biological Chemistry*. 1992, 297 (4): 2311-2317.