

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



DETERMINACIÓN DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM), EN
CONCENTRADOS PARA ANIMALES Y CEREALES DE CONSUMO HUMANO,
GUATEMALA, C.A., 2009.

ALEXANDRA VERALY GAMBOA ORTEGA

GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2011.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**DETERMINACIÓN DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM), EN
CONCENTRADOS PARA ANIMALES Y CEREALES DE CONSUMO HUMANO,
GUATEMALA, C.A., 2009.**

TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR
ALEXANDRA VERALY GAMBOA ORTEGA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**RECTOR MAGNÍFICO****LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS****JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

| | | |
|-------------------|-----------------------|---|
| DECANO | Dr. | Lauriano Figueroa Quiñonez |
| VOCAL I | Ing. Agr. | Ariel Abderraman Ortiz López |
| VOCAL II | Ing. Agr. Msc. | Marino Barrientos García |
| VOCAL III | Ing. Agr. Msc. | Oscar René Leiva Ruano |
| VOCAL IV | Br. | Lorena Carolina Flores Pineda |
| VOCAL V | Per. Agro. | Josué Antonio Martínez Roque |
| SECRETARIO | Ing. Agr. | Carlos Roberto Echeverría Escobedo |

Guatemala, noviembre de 2011

Guatemala, noviembre de 2011

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**DETERMINACIÓN DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM), EN
CONCENTRADOS PARA ANIMALES Y CEREALES DE CONSUMO HUMANO,
GUATEMALA, C.A., 2009.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos para su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ALEXANDRA VERALY GAMBOA ORTEGA

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por guiarme y recorrer conmigo cada paso de mi vida.

MIS PADRES: Bladimiro Gamboa y Clara Margarita Ortega, por ser el mejor ejemplo de vida, que este logro sea la recompensa al apoyo incondicional y la confianza que depositaron en mí, los amo.

MIS HERMANOS: Wladimir y Renato Gamboa, por cada uno de los momentos compartidos, los quiero.

MI FAMILIA: Por compartir conmigo este triunfo, por la motivación que me brindaron y todo el cariño demostrado.

MIS AMIGOS: Por la amistad sincera que me han brindado, por los momentos de alegría y tristeza compartidos, por estar conmigo en todo momento a pesar del tiempo y distancia.

MIS CATEDRÁTICOS: Por los conocimientos y sabiduría brindada a lo largo de toda la carrera.

MI SUPERVISOR: Ing. Adalberto Rodríguez por el apoyo, respaldo y confianza en la realización del EPS.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA FACULTAD DE AGRONOMIA

MIS DOCENTES

A TODAS LAS PERSONAS QUE CREEN EN LA INNOVACIÓN Y DIVULGACIÓN DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS, QUE ESTE SEA UN APORTE DE UTILIDAD EN PRO DE LA AGRICULTURA Y LA BIOTECNOLOGIA EN NUESTRO PAIS.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de la presente investigación:

A:

MSc. Ing. Agr. Amílcar Sánchez

Por creer en mí y motivarme a realizar la presente investigación, por las valiosas contribuciones realizadas a este documento.

Mi Asesor

Ing. Agr. Juan Herrera

Por brindarme su asesoramiento, apoyo, confianza, y paciencia en la realización de este trabajo, por los consejos y experiencia, gracias por todo el tiempo dedicado a este trabajo.

Índice General

| Contenido | Página |
|--|---------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 3 MARCO TEÓRICO | 3 |
| 3.1 Marco conceptual | 3 |
| 3.1.1 Principios y fundamentos de los organismos genéticamente modificados (OGM) | 3 |
| 3.1.2 Organismos genéticamente modificados..... | 5 |
| 3.1.3 Creación de OGM..... | 12 |
| 3.1.4 Técnicas más comunes para la creación de las plantas transgénicas | 17 |
| 3.1.5 Flujo de genes | 22 |
| 3.1.6 Perspectivas: biotecnología moderna..... | 22 |
| 3.1.7 Metodologías para la detección de un OGM | 23 |
| 3.1.8 Pruebas genéticamente modificadas..... | 26 |
| 3.1.9 Panorama comercial..... | 27 |
| 3.1.10 Situación actual de OGM en Guatemala | 29 |
| 3.1.11 Panorama social | 30 |
| 3.1.12 Legislación nacional | 32 |
| 3.1.13 Transgénicos en el contexto mundial..... | 36 |
| 3.2 Marco Referencial..... | 40 |
| 3.2.1 Ubicación..... | 40 |
| 3.2.2 Características de Materiales Experimentales | 40 |
| 4 OBJETIVOS..... | 42 |
| 4.1 General..... | 42 |
| 4.2 Específicos | 42 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5 | METODOLOGÍA | 43 |
| 5.1 | Materiales | 43 |
| 5.2 | Método..... | 44 |
| 5.3 | Pruebas transgénicas a determinar | 44 |
| 5.4 | Procedimiento de Prueba | 47 |
| 6 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 51 |
| 6.1 | Concentrados de consumo animales..... | 54 |
| 6.2 | Cereales de consumo humano | 61 |
| 7 | CONCLUSIONES | 64 |
| 8 | RECOMENDACIONES | 66 |
| 9 | BIBLIOGRAFÍA..... | 67 |

Índice de Cuadros

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| Cuadro 1. Características de las tiras de flujo lateral | 25 |
| Cuadro 2. Características de materiales experimentales (Concentrados)..... | 40 |
| Cuadro 3. Características de materiales experimentales (Cereales)..... | 41 |
| Cuadro 4. Materiales experimentales evaluados..... | 43 |
| Cuadro 5. Descripción de pruebas transgénicas a trabajar..... | 45 |
| Cuadro 6. Tabla resumen proteínas detectadas en concentrados animales y cereales de consumo humano. | 51 |
| Cuadro 7. Resultados concentrados para aves..... | 55 |
| Cuadro 8. Resultados concentrados para cerdos..... | 57 |
| Cuadro 9. Resultados concentrados bovinos. | 57 |
| Cuadro 10. Resultados concentrados para peces..... | 59 |
| Cuadro 11. Resultados cereales de consumo humano. | 63 |
| Cuadro 12. Tabla de proteínas detectadas en la investigación. | 64 |

Índice de Figuras

| Figura | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Secuencia de codificación de los genes que forman el ADN. | 6 |
| Figura 2. Elementos que forman un nucleótido. | 7 |

| | |
|---|----|
| Figura 3. Clases de secuencias no codificadas en ADN. | 8 |
| Figura 4. Proceso de replicación de la cadena de ADN, hasta llegar a la producción de Proteínas. | 9 |
| Figura 5. Proceso de replicación del ADN (Secuencia Codificada CDS). | 10 |
| Figura 6. Región promotora del ADN. | 10 |
| Figura 7. Proceso de creación de una planta modificada por ingeniería genética..... | 13 |
| Figura 8. Procesos moleculares que intervienen en la replicación del ADN, hasta formar una característica específica o transgen. | 14 |
| Figura 9. Representación simplificada de un transgen construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito. | 15 |
| Figura 10. Diagrama de la célula de <i>Agrobacterium tumefaciens</i> | 17 |
| Figura 11. Cuando se les cultiva en medios selectivos, sólo sobrevivirán los tejidos de las plantas que han integrado con éxito el constructo del transgen. | 19 |
| Figura 12. Método de transformación de plantas (biobalística), microcañón con partículas metálicas rodeadas de ADN. | 21 |
| Figura 13. Esquema de la tira de flujo lateral. | 24 |
| Figura 14. Superficie agrobiotecnológica mundial millones de hectáreas 1996 – 2010. | 36 |
| Figura 15. Países y megapaíses agrobiotecnológicos año 2010..... | 38 |
| Figura 16. Flujograma de la Metodología utilizada en el laboratorio | 47 |
| Figura 17. Utensilios para realizar las pruebas..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Maceración de los materiales investigados. | 48 |
| Figura 19. Micro tubos utilizados en la investigación..... | 49 |
| Figura 20. (A.) Micro tubos con materiales macerados. (B.) Pipeta automática, punta tip y buffer SEB4. | 49 |
| Figura 21. Micro tubos mezclados en el aparato vortex. | 50 |
| Figura 22. Muestras con las tiras de flujo reactivo..... | 50 |
| Figura 23. Tiras alineadas para visualizar los resultados de las pruebas..... | 50 |
| Figura 24. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para aves. | 54 |
| Figura 25. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para cerdos. | 56 |
| Figura 26. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados bovinos..... | 58 |
| Figura 27. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para peces. | 59 |
| Figura 28. Gráfica Presencia de proteínas en concentrados de consumo animal..... | 60 |
| Figura 29. Gráfica Presencia de proteínas genéticamente modificadas en cereales. | 62 |

**DETERMINACIÓN DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM), EN
CONCENTRADOS PARA ANIMALES Y CEREALES DE CONSUMO HUMANO,
GUATEMALA, C.A., 2009.**

**THE DETERMINATION OF ORGANISMS GENETICALLY MODIFIED (GMOs), IN
CONCENTRATED FOOD FOR ANIMALS, AND IN CEREALS FOR HUMAN
CONSUMPTION, GUATEMALA, C.A., 2009.**

Resumen

Los organismos genéticamente modificados (OGM), son un tema controversial en cuanto a su uso, estos organismos creados por los científicos a través de la modificación genética de plantas, animales y microorganismos son tecnologías agrícolas que mejoran la agricultura, con el fin de proporcionarles atributos y habilidades que no poseen naturalmente.

El consumo de estos organismos a nivel mundial se ha ido incrementando con forme el paso de los años, en nuestro país se debe considerar que la industria avícola, porcícola y pecuaria es alimentada en gran parte con materias primas que han sido importadas.

Actualmente en Guatemala no existe ninguna institución privada o estatal que dé a conocer sobre la presencia o no de OGM, su importancia o el impacto que pueden estos tener en la sociedad. Existe la necesidad urgente de establecer sistemas de regulación adecuados y rentables, que sean responsables y rigurosos, para los países en desarrollo más pequeños y pobres. En lo que respecta al marco legal Guatemala solo posee una iniciativa de ley de seguridad de la biotecnología, un convenio internacional vetado "Protocolo de Cartagena" y dos acuerdos gubernativos regidos por el MAGA, todas estas normativas pretenden regular y controlar aspectos de inocuidad relacionados con el manejo de organismos genéticamente modificados.

Esta investigación generó datos actuales en cuanto a la situación de la presencia o no de OGM en alimentos procesados, registrando en Guatemala la presencia de proteínas transgénicas en concentrados de consumo animal y cereales de consumo humano, las proteínas transgénicas que se encuentran en nuestro país pertenecen a diferentes tipos,

estas proteínas le confieren a los cultivos resistencia a ataques de insectos de diferentes órdenes, también se encontró proteínas que proveen a los cultivos resistencia al ingrediente activo glifosato, la cual es la que más se ha detectado en los materiales analizados en esta investigación.

El uso de productos genéticamente modificados y sus derivados en la elaboración de concentrados de consumo animal está latente, se detectaron diversas proteínas transgénicas en estos materiales procesados, así mismo se detectaron proteínas transgénicas en alimentos de consumo humano provenientes de ayuda alimentaria.

Al finalizar esta investigación se recomienda realizar análisis en diferentes tipos de granos básicos para determinar si existen organismos genéticamente modificadas en estos materiales que son base alimenticia para el ser humano en Guatemala, así como ampliar la investigación realizada para obtener mayores resultados sobre la presencia de estos organismos en todo el país.

Es de vital importancia difundir información sobre el estatus actual de los organismos genéticamente modificados hacia la población, esto para tratar de informarlos sobre el tema y mostrarles la situación actual y realidad de los mismos.

1 Introducción

Los organismos genéticamente modificados (OGM), son un tema muy controversial en cuanto a su uso, ya que existen personas que están a favor del uso de estos y otras no.

Estos organismos han sido creados por los científicos a través de la modificación genética de plantas, animales y microorganismos con el fin de proporcionarles atributos y habilidades como lo son: el aumento al valor nutricional de las plantas y reducir costos para los usuarios de estos organismos modificados (Villalobos, 2008).

Existen diferentes posiciones con respecto al consumo de OGM ya que con frecuencia la gente se pregunta si estos pudieran causar algún daño a la salud humana, lo cierto es que hasta la fecha no existen estudios científicos que señalen los riesgos que se pudieran correr consumiendo estos productos.

Es un hecho que el consumo de estos organismos se ha ido incrementando con forme el paso de los años ya que se debe considerar que la industria avícola, porcícola y pecuaria es alimentada en gran parte con suplementos de pasta de soya y maíz (derivados de plantas genéticamente modificadas), contenidas en este tipo de concentrados.

En lo que respecta a la legislación nacional sobre este tema, Guatemala solo posee una iniciativa de ley de seguridad de la biotecnología, un convenio internacional "Protocolo de Cartagena" y dos acuerdos gubernativos regidos por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA). El convenio internacional fue aprobado en septiembre de 2003 y sancionado en octubre del mismo año, actualmente este se encuentra pendiente de dictamen, todas estas normativas pretenden regular y controlar aspectos de seguridad relacionados con el manejo de organismos genéticamente modificados.

Esta investigación generó datos actuales en cuanto a la situación de la presencia o no de OGM en alimentos procesados, se llevó a cabo en la Ciudad de Guatemala en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.

2 Definición del problema

Guatemala es centro de origen del cultivo de maíz (*Zea mays L.*), este material ha sido utilizado junto con tecnologías agrícolas para mejorar la agricultura.

Actualmente en nuestro país no existe ninguna institución privada o estatal que dé a conocer sobre la presencia o no de organismos genéticamente modificados (OGM), su importancia o el impacto que pueden estos tener en la sociedad.

Existe la necesidad urgente de establecer sistemas de regulación adecuados y rentables, que sean responsables y rigurosos, para los países en desarrollo más pequeños y pobres, Guatemala no posee ningún sistema sobre el uso de estos materiales genéticamente modificados, solo existe iniciativas de ley y un convenio internacional vetado en lo que respecta al marco legal de estos organismos.

Se carece de registros sobre la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM), ya sea en alimentos procesados, granos básicos de consumo, alimentos industriales, etc., por lo cual es de suma importancia para la población en general, informar sobre el estatus actual que poseen estos OGM dentro del país, en lo que respecta a los alimentos industriales como lo son los concentrados de consumo animal y cereales de consumo humano analizados en la presente investigación, generando así datos que sean útiles, tanto para las personas interesadas en conocer del tema como en aquellas que quieran formar parte de la elaboración de una normativa que presente las cláusulas necesarias para que estos organismos puedan tener o no, un libre comercio en nuestro país.

3 Marco teórico

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Principios y fundamentos de los organismos genéticamente modificados (OGM)

3.1.1.1 Principios

Al inicio del siglo XX cuando se redescubren y se entienden los fundamentos de la genética, cuyos postulados fueron publicados en 1866 por el padre de la disciplina Gregor Mendel y gracias a sus meticulosos experimentos con arvejas (*Pisum sativum L.*), fue posible explicar con bases científicas los principios de la herencia y los fundamentos de esa nueva ciencia (Villalobos, 2008).

La genética convencional, designada así para distinguirla de la que emplea la biotecnología moderna, ha permitido la mejora de las especies que hoy en día sustenta la alimentación de la humanidad. Se fundamenta en la selección de caracteres deseables como: color, sabor, tamaño, producción, precocidad, etc., expresados externamente en los individuos (fenotípicamente), y en la cruce de estos individuos entre ellos, para ir fijando dichos caracteres en las siguientes generaciones. La descendencia tanto de plantas como de animales, se cruza con el progenitor que aporta dicho carácter deseable y así, después de varios ciclos de cruza y retrocruza (cruza de la progenie con el progenitor), se obtienen los individuos que mantendrán esos rasgos en las generaciones subsiguientes y con la ganancia agronómica incorporada a la nueva variedad o raza (Villalobos, 2008).

Como una forma moderna de hacer mejoramiento genético, la biotecnología es un conjunto de herramientas tecnológicas que utiliza los mismos principios de la genética convencional y los aplica igualmente a los organismos vivos o sustancias de esos organismos para hacer o producir un producto, mejorar plantas y animales o desarrollar microorganismos para usos específicos (Villalobos, 2008).

Como lo señala Norman E. Borlaug, padre de la revolución verde y premio nobel de la paz 1970, la ingeniería genética es parte de la biotecnología moderna y es el mejoramiento de los organismos a nivel molecular, la cual, como conjunto de técnicas para modificar el material genético de un organismo vivo, nace a principios de los setenta con la manipulación

de la información genética en laboratorio, aplicándose inicialmente a la medicina humana y a los microorganismos como modelos de estudio, posteriormente se fue empleando en otros organismos vivos como las plantas y animales, para la agricultura y la alimentación, donde ha tenido un impacto trascendental. No obstante los orígenes de la ingeniería genética y la biología molecular no son eventos aislados de reciente creación, sino son parte de un pasado remoto (Villalobos, 2008).

La ingeniería genética es una forma novedosa de mejoramiento genético de plantas y animales que permite modificar a los organismos vivos en forma muy precisa, involucrando únicamente a uno, o a un limitado número de genes (un gen es un segmento de ADN con una secuencia específica de bases que en general codifican a una proteína y que gobierna alguna función de la célula), y no todo el genoma (el total de genes de un individuo), como ocurre en el mejoramiento genético convencional, donde se involucran todos los genes tanto deseables como no deseables (Villalobos, 2008).

La ingeniería genética, sin embargo permite la mejora de plantas y animales manipulando únicamente el gen o los genes deseables específicos, y dejando fuera a aquellos que a juicio del genetista no aportan beneficio a las nuevas razas o variedades. Otra característica que la distingue es que no necesariamente se limita a los genes de la misma especie como en la mejora convencional, sino que hace uso de cualquier gen existente en la naturaleza y que a criterio del científico mejorará a la especie en estudio. Consecuentemente, en muchos casos reduce los tiempos que tradicionalmente se requieren, empleando los métodos convencionales para liberar comercialmente una nueva variedad vegetal o una raza pura, tratándose de animales (Villalobos, 2008).

Tomando en cuenta lo anterior resulta inadecuado llamar organismos genéticamente modificados únicamente a aquellos que resultan de la biotecnología y la ingeniería genética, para distinguirlos de los organismos modificados en forma convencional. Queda claro que el hombre empezó a modificar a los organismos vivos desde que se hizo sedentario y empezó a practicar la agricultura, por lo que, *in strictu sensu*, todas las especies en las que el hombre ha intervenido son genéticamente modificadas. Rigurosamente hablando, la transgenia hace referencia a la transferencia de genes, lo que ocurre permanentemente en condiciones tanto naturales como inducidas (Villalobos, 2008).

3.1.1.2 Fundamentos

Los fundamentos que sustentan las grandes diferencias entre individuos convencionales y transgénicos, son tres:

1. La transferencia de un gen específico y no de todo el genoma;
2. La posibilidad de transferir cualquier gen, indistintamente de que este sea de la misma especie o no y,
3. La reducción de los tiempos en la obtención de una nueva variedad o una raza pura una vez que se tenga identificado el gen de interés (Villalobos, 2008).

Por los argumentos anteriores es claro que los conceptos organismo genéticamente modificado y transgénico (considerados como sinónimos), son erróneos, y no ayudan a entender a ciencia cierta a que se está refiriendo. Algunos autores consideran el concepto “genéticamente mejorado” se adecua más que el de transgénico (Villalobos, 2008).

3.1.2 Organismos genéticamente modificados

3.1.2.1 ¿Qué es un OGM?

Un organismo modificado genéticamente (OMG), es una planta, animal o microorganismo cuyo código genético ha sido modificado, sustraído o añadido (ya sea de la misma especie o de una especie diferente), con el fin de darle características que no tiene naturalmente (Nature.ca, 2008).

Los OGM tienen características novedosas y han sido creados en forma intencional por los científicos, a través de la modificación genética de plantas, animales y microorganismos con el fin de conferirles atributos y habilidades que no tenían en condiciones naturales y con intención de aportar un beneficio para la agricultura, la salud humana y el ambiente, empleando para ello el conocimiento científico que ofrecen la biología y la genética (Villalobos, 2008).

La ingeniería genética permite la inserción de un gen “extraño o ajeno” conocido como gen heterólogo, en el genoma de una célula huésped (sea vegetal, animal o de algún microorganismo), el individuo así transformado o transgénico, es propiamente idéntico a su homólogo del cual se obtuvieron las células iniciales para la transformación (Villalobos, 2008).

Los científicos pueden ahora transferir genes entre especies que de otro modo serían incapaces de apareamiento. Esto es lo que llamamos la transgénesis. Poco se sabe sobre los efectos a largo plazo de tales manipulaciones en los seres humanos y el medio ambiente. Y mientras algunos consideran que los OMG como el camino para el futuro, otros creen que los científicos han ido demasiado lejos, jugando con la esencia de la vida (Nature.ca, 2008).

3.1.2.2 ¿Qué es un gen?

Un gen es un segmento de ácido nucleico que contiene la información necesaria para producir un producto funcional, por lo general una proteína. Genes constan de una larga cadena de ADN (ácido desoxirribonucleico), (ARN o ácido ribonucleico, en algunos virus), que contiene un promotor, que controla la actividad de un gen, y una secuencia de codificación, que determina lo que el gen produce (Jayaram, 2009).

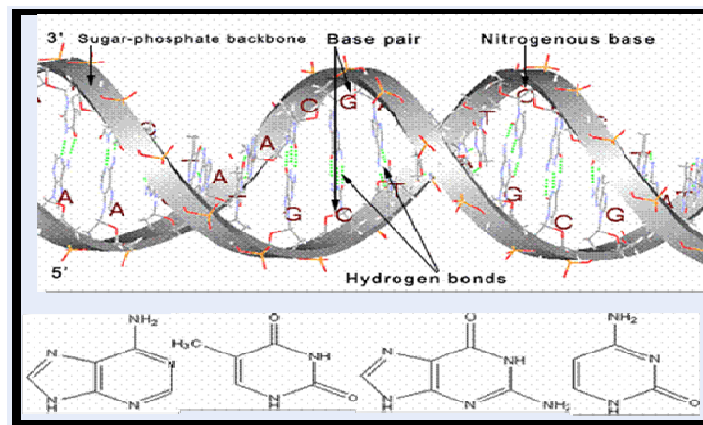


Figura 1. Secuencia de codificación de los genes que forman el ADN.

Fuente: Jayaram, B. 2009.

Los genes están compuestos de un alfabeto de codificación, 4 nucleótidos formado por 4 bases: Adenina (A), timina (T), guanina (G) y citosina (C). Las bases adenina (A) y guanina (G) son purinas, mientras que Timina (T) y citosina (C) son pirimidinas (Jayaram, 2009).

Los genes son poli-nucleótidos, Cada nucleótido está formado por un grupo de base, un azúcar y un grupo de fosfato (Jayaram, 2009).

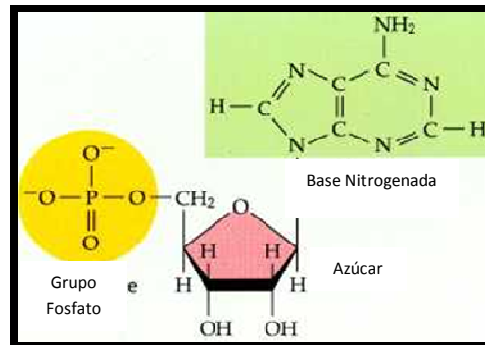


Figura 2. Elementos que forman un nucleótido.

Fuente: Jayaram, B. 2009.

El grupo de azúcar constituye la columna vertebral del ADN. Los grupos fosfato se encargan de vincular un nucleótido a otro. Las bases nitrogenadas de los nucleótidos se enfrentan entre sí y forman puentes de hidrógeno con sus bases de cortesía. A es complementaria de la T, mientras que G es complementaria de la C (Jayaram, 2009).

A forma un enlace doble con **T**, mientras que **G** forma tres enlaces con **C**. Por lo tanto un vínculo **G ≡ C** es térmicamente más estable que un enlace **A = T** (Jayaram, 2009).

3.1.2.3 Organización mundial del genoma

La organización del genoma se refiere a la secuencia, no a la organización estructural del genoma. Además de los **exones** regiones de un gen que codifican proteínas, la parte no codificante del ADN en eucariotas puede caer en las siguientes clases (Jayaram, 2009).

- **Intrones.** Son secuencias de ADN insertado entre los exones y se encuentra en el marco abierto de lectura (ORF), por sus siglas en inglés. Que se empalman después del primer nivel de la transcripción. La mayoría de los intrones son basura inserta dentro de los genes (Jayaram, 2009).
- **Pseudogenes.** copias "Muertas", no funcionales de los genes presentes en el resto del genoma, pero no para cualquier uso (Jayaram, 2009).

- **Retropseudogenes.** Como pseudogenes, pero han sido procesados. Producido por la acción de la transcriptasa inversa (RT), de ARNm, y la incorporación posterior de la DNA en el genoma (Jayaram, 2009).
- **Transposones.** Genes saltarines, que se empalman dentro y fuera del genoma (en forma de ADN), de forma aleatoria, por la acción de transposasa (Jayaram, 2009).
- **Retrotransposones.** Transcribe en un ARNm, que codifica una enzima RT, que luego copia el ARNm de vuelta a ADN y lo incorpora en el genoma (Jayaram, 2009).

De hecho en los seres humanos sólo el 1.5% de la longitud del genoma completo corresponde a la codificación de ADN. De este 1.5% codifican a su vez unos 27.000 genes, que codifican para las proteínas que son responsables de todos los procesos celulares (Jayaram, 2009).

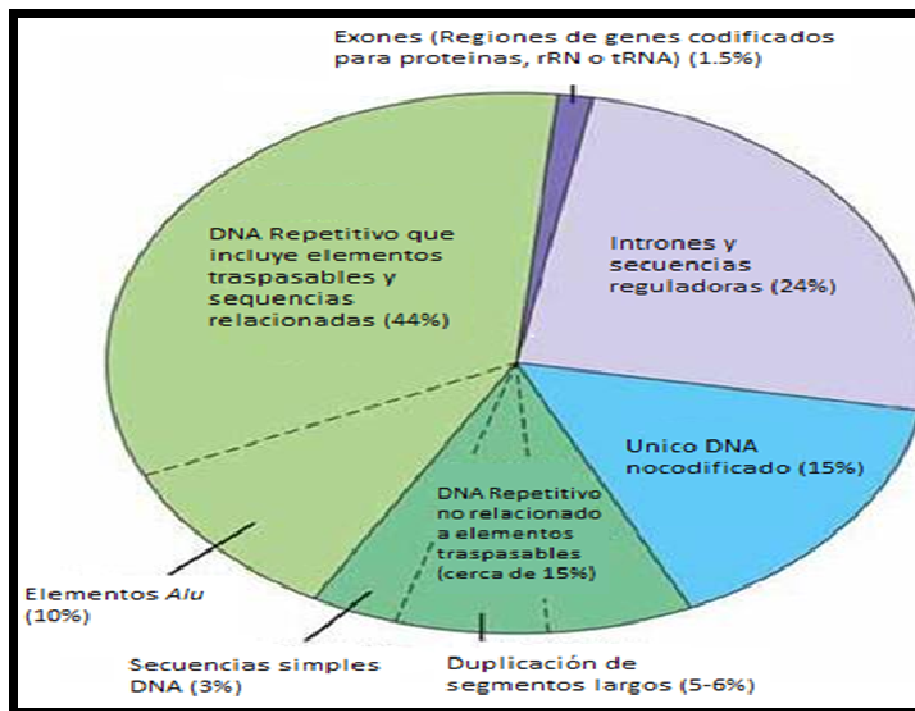


Figura 3. Clases de secuencias no codificadas en ADN.

Fuente: Jayaram, B. 2009.

3.1.2.4 Marco abierto de lectura (ORF)

La región de las secuencias de nucleótidos del codón de inicio (AUG), hasta el codón de parada, se llama el marco de lectura abierta (Jayaram, 2009).

Encontrar genes en un organismo especialmente procariontes, se inicia con la búsqueda de formas para un marco abierto de lectura (ORF), por sus siglas en inglés. Un ORF es una secuencia de ARN que se inicia con codón de inicio "AUG" (no siempre) y termina con cualquiera de los tres codones de terminación (UAG, UGA y UAA). Dependiendo del punto de partida, hay seis formas posibles (tres en la cadena hacia adelante y tres en la cadena complementaria), de la traducción de cualquier secuencia de nucleótidos en la secuencia de aminoácidos de acuerdo con el código genético (Jayaram, 2009).

Si bien la predicción de genes eucariotas es del todo una tarea diferente los genes eucariotas no son continuos e interrumpidos por secuencias no codificantes "intrones". Por otra parte la organización de la información genética en las células eucariotas y procariontes es diferente (Jayaram, 2009).

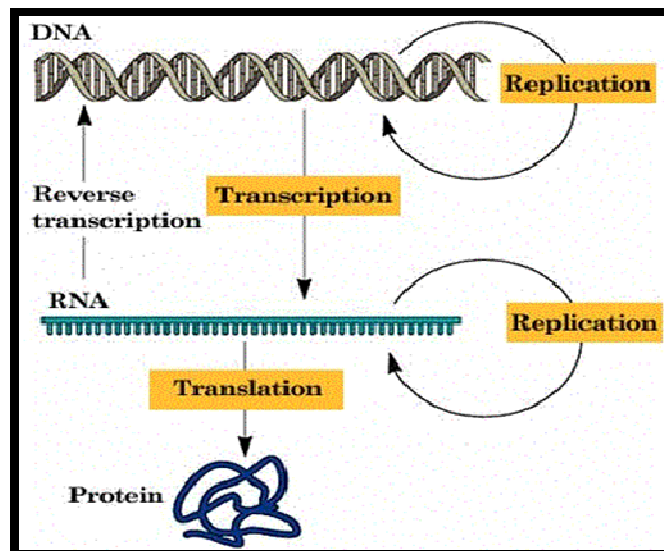


Figura 4. Proceso de replicación de la cadena de ADN, hasta llegar a la producción de Proteínas.

Fuente: Jayaram, B. 2009.

3.1.2.5 ¿Qué es la secuencia codificante (CDS)? ¿Cuál es la diferencia con ORF?

La secuencia codificante (CDS), es la región real de ADN que se traduce para formar proteínas. Mientras que el ORF puede contener intrones, así, el CDS se refiere a los nucleótidos (los exones concatenados), que se pueden dividir en los codones que se traduzca verdaderamente en aminoácidos por la maquinaria de traducción ribosomal. En los procariotas la ORF y el CDS son los mismos (Jayaram, 2009).

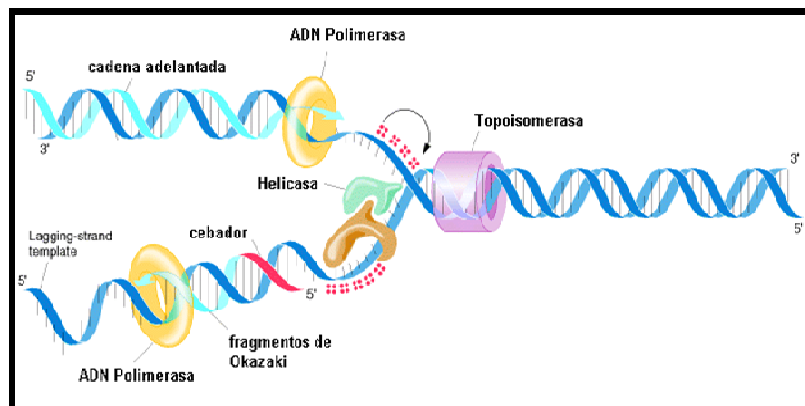


Figura 5. Proceso de replicación del ADN (Secuencia Codificada CDS).

Fuente: ADNEstructurayfunciones.wordpress.com, 2008.

3.1.2.6 ¿Qué son los promotores?

El **promotor** es una región reguladora de ADN de un gen, proporcionando un punto de control para la transcripción de genes regulados (Jayaram, 2009).

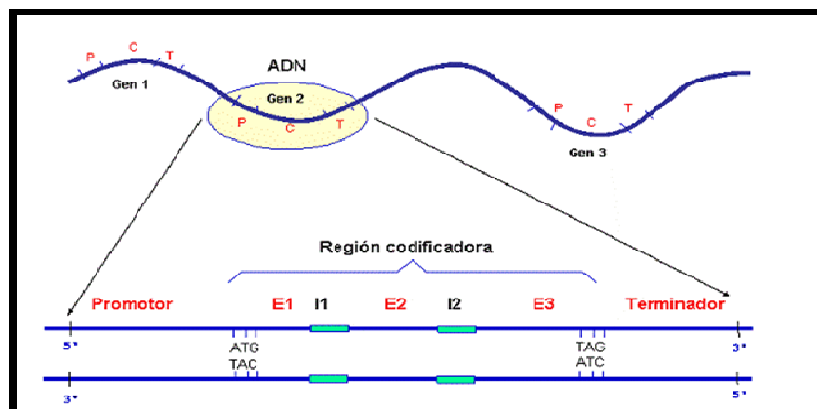


Figura 6. Región promotora del ADN.

Fuente: Laura, 2010.

El promotor contiene secuencias específicas de ADN que son reconocidas por proteínas conocidas como factores de transcripción. Estos factores se unen a las secuencias del promotor, el reclutamiento de la RNA polimerasa, la enzima que sintetiza el ARN de la región codificadora del gen (Jayaram, 2009).

3.1.2.6.1 Elementos promotores

1. Promotor Core - la porción mínima del promotor para iniciar la transcripción correcta

- Sitio de Inicio de Transcripción (TSS)
- Aproximadamente -34
- Un sitio de unión de la RNA polimerasa
- Factor de transcripción General de sitios de unión (Jayaram, 2009).

2. Promotor proximal - la secuencia ascendente proximal del gen que tiende a contener elementos de regulación primaria

- Aproximadamente -250
- Factor de transcripción específicos de sitios de unión (Jayaram, 2009).

3.1.2.6.2 Diferencia entre promotores procariontas y eucariotas

3.1.2.6.2.1 Los promotores de procariontas

En los procariontas, el promotor se compone de dos secuencias cortas entre -10 y -35 posiciones del inicio de la transcripción.

- La secuencia a **-10** se llama el cuadro de Pribnow, o el -10 elemento, y por lo general consta de las seis nucleótidos **TATAAT**. Pribnow El cuadro es absolutamente esencial para iniciar la transcripción en procariontas (Jayaram, 2009).
- La otra secuencia a **-35** (el elemento -35), por lo general consiste de los seis nucleótidos TTGACA. Su presencia permite una tasa de transcripción muy alto (Jayaram, 2009).

3.1.2.6.2 Promotores eucarióticos

Promotores de eucariotas son muy diversos y son difíciles de caracterizar. Por lo general se encuentran al inicio del gen y pueden tener elementos reguladores kilobases de distancia desde el punto de inicio de la transcripción. En los eucariotas, el complejo de transcripción puede causar que el ADN se curve sobre sí misma, que permite la colocación de las secuencias reguladoras lejos del sitio real de la transcripción. Muchos promotores de eucariotas, contiene una caja TATA (secuencia de **TATAAA**), que a su vez se une a una proteína de unión a TATA que ayuda a la formación de la RNA polimerasa complejo transcripcional. La caja TATA normalmente se encuentra muy cerca del punto de inicio de la transcripción (a menudo dentro de 50 bases), (Jayaram, 2009).

3.1.3 Creación de OGM

En Principio, lo que se hace comúnmente es primero aislar el gen de interés que gobierna un evento o característica particular, por ejemplo, la resistencia a insectos, color del grano, etc. En segundo lugar se identifican las secuencias o regiones de genes que acompañarán al gen en cuestión, y que le ayudará en su expresión en el individuo huésped en el momento y lugar adecuados; estos elementos regulatorios se llaman promotores (Villalobos, 2008).

Esta secuencia que suma a los promotores, más el gen que haría la transformación, se deberá multiplicar en millones de copias, lo que se hace al introducir la construcción referida a bacterias que posteriormente se cultivan y se multiplican rápidamente en grandes cantidades, conteniendo la construcción que habrá de emplearse para la transformación genética del organismo de interés. En otras palabras, las bacterias se usan como vehículo para clonar las construcciones. Las construcciones clonadas se recolectan y preparan para obtener una secuencia lineal de ADN (ácido desoxirribonucleico), y así, estar listo para ser introducido en las células de la planta que se desea transformar (Villalobos, 2008).

Las plantas obtenidas a partir de estas células transformadas también contendrán una secuencia de ADN en su genoma, lo que caracteriza a las plantas genéticamente modificadas.

Con este principio, si la célula en cuestión es modificada, las plantas diferenciadas a partir de ella también lo serán y heredaran este carácter a las siguientes generaciones, como si este “nuevo gen” hubiera estado en la planta durante todo su proceso evolutivo (Villalobos, 2008).

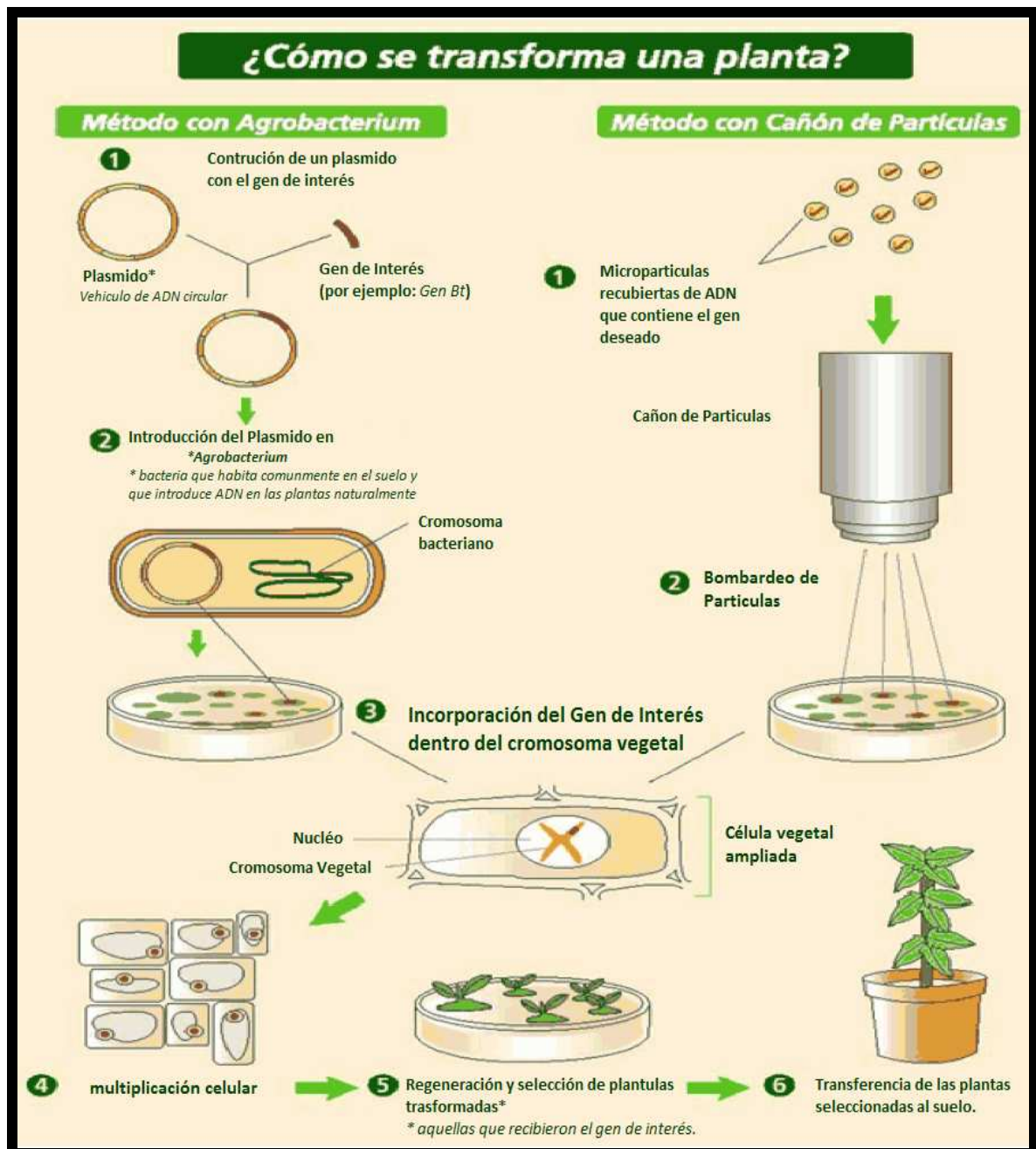


Figura 7. Proceso de creación de una planta modificada por ingeniería genética.

Fuente: Gálvez, M. 2008.

3.1.3.1 Proceso de creación de un cultivo genéticamente modificado

3.1.3.1.1 Introducción al ADN

La razón que explica que se puedan construir plantas transgénicas es la presencia universal de ADN en las células de todos los organismos vivos. Esta molécula almacena la información genética del organismo y organiza los procesos metabólicos de la vida. La información genética es especificada por la secuencia de cuatro bases químicas (adenina, citosina, guanina y timina), a lo largo de la molécula de ADN. Los genes son segmentos separados de ADN que codifican la información necesaria para conjuntar una proteína específica. Las proteínas funcionan entonces como enzimas que catalizan reacciones bioquímicas, o como unidades estructurales o de almacenamiento de una célula, y contribuyen a la expresión de una característica de la planta. En el diagrama siguiente se muestra la secuencia general de acontecimientos mediante los cuales la información codificada en el ADN es expresada en forma de proteínas por conducto de un ARNm (ácido ribonucleico mensajero), intermediario (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

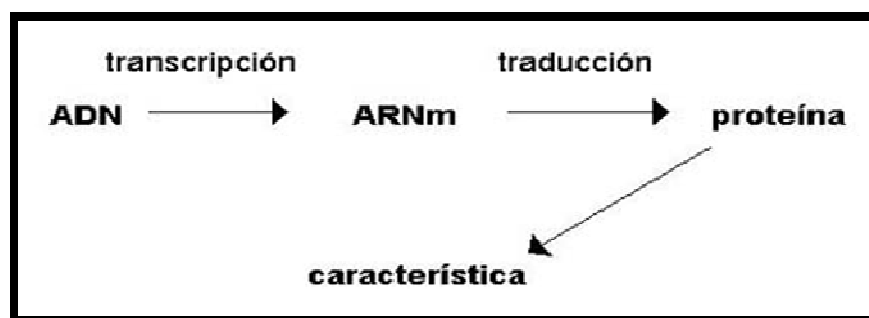


Figura 8. Procesos moleculares que intervienen en la replicación del ADN, hasta formar una característica específica o transgen.

Fuente: Universidad Estatal de Colorado, 2004.

Los procesos de transcripción y traducción son controlados por un complejo conjunto de mecanismos reguladores, de tal modo que se produce una determinada proteína sólo cuando y donde es necesaria. Aun especies que son muy diferentes tienen mecanismos similares para convertir la información del ADN en proteínas; por consiguiente, un segmento de ADN proveniente de bacterias puede ser interpretado y traducido como una proteína funcional cuando se lo inserta en una planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

3.1.3.1.2 Localización de los genes que determinan las características de las plantas

La identificación y localización de los genes que determinan características importantes desde el punto de vista agrícola es la etapa más limitante en el proceso transgénico. Todavía se sabe relativamente poco acerca de los genes específicos necesarios para aumentar el potencial de rendimiento, mejorar la tolerancia a los factores desfavorables, modificar las propiedades químicas del producto cosechado o de alguna otra forma afectar las características de la planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

En general, no basta identificar a un solo gen relacionado con una característica; los científicos deben conocer cómo está regulado el gen, qué otros efectos podría tener en la planta y cómo interactúa con otros genes activos en la misma vía bioquímica. Los programas públicos y privados de investigación están invirtiendo mucho en tecnologías nuevas que permitan establecer con rapidez la secuencia y determinar las funciones de los genes de las especies cultivadas más importantes. Estos esfuerzos deben conducir a la identificación de una gran cantidad de genes en potencia útiles para producir variedades transgénicas (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

3.1.3.1.3 Diseño de genes para la inserción

Una vez que se ha aislado y clonado (amplificado en un vector bacteriano), un gen, debe ser sometido a varias modificaciones antes de que pueda ser efectivamente insertado en una planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

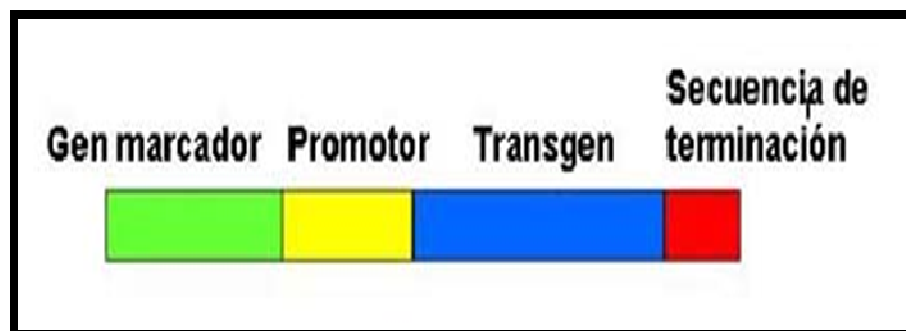


Figura 9. Representación simplificada de un transgen construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito.

Fuente: Universidad Estatal de Colorado, 2004.

Es preciso agregar una secuencia promotora para que el gen sea expresado correctamente (es decir, traducido como un producto proteínico). El promotor es la llave de encendido y apagado que controla cuándo y dónde se expresará el gen en la planta. Hasta la fecha, la mayoría de los promotores en las variedades de cultivos transgénicos han sido "constitutivos", es decir, que causan la expresión del gen durante todo el ciclo biológico de la planta en la mayoría de los tejidos. El promotor constitutivo usado más comúnmente es CaMV35S, proveniente del virus del mosaico de la coliflor, que generalmente produce un alto grado de expresión en las plantas. Otros promotores son más específicos y responden a señales indicadoras en el medio interno o externo de la planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

A veces, el gen clonado es modificado para lograr una mayor expresión en una planta. Por ejemplo, el gen Bt para la resistencia a los insectos es de origen bacteriano y tiene un porcentaje más elevado de pares de nucleótidos A-T, en comparación con las plantas, que prefieren los pares de nucleótidos G-C. En una modificación inteligente, los investigadores sustituyeron los nucleótidos A-T con nucleótidos G-C en el gen Bt, sin modificar considerablemente la secuencia de aminoácidos. El resultado fue una mayor producción del producto génico en las células de la planta. La secuencia de terminación indica a la maquinaria celular que se ha alcanzado el final de la secuencia génica (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

Se agrega un gen marcador seleccionable al "constructo" génico con el fin de identificar las células o tejidos de la planta que han integrado con éxito el transgen. Esto es necesario porque rara vez se produce la incorporación y expresión de transgenes en células de plantas, que se logran en apenas un pequeño porcentaje de los tejidos o células beneficiarios. Los genes marcadores seleccionables codifican proteínas que proporcionan resistencia a agentes normalmente tóxicos para las plantas, como los antibióticos o herbicidas. Como se explica más adelante, sólo las células vegetales que han integrado el gen marcador seleccionable sobrevivirán cuando se las cultive en un medio que contenga el antibiótico o herbicida pertinente. En cuanto a otros genes insertados, los genes marcadores también requieren secuencias promotoras y de terminación para funcionar en forma apropiada (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

3.1.4 Técnicas más comunes para la creación de las plantas transgénicas

- Transformación genética con *Agrobacterium tumefaciens*
- Transformación de Protoplastos
- Transformación Biobalística

Como resultado de cualquiera de estos métodos de transformación, se tendrá una línea de células transformadas (que han incorporado exitosamente la construcción), que deberán ser clonadas *in vitro* y posteriormente diferenciadas en plantas completas, empleando las técnicas de cultivo de tejidos (Villalobos, 2008).

3.1.4.1 El método de transformación de plantas con *Agrobacterium*

Agrobacterium tumefaciens es una notable especie de bacterias que viven en el suelo y tienen la capacidad de infectar las células de las plantas con un fragmento de su ADN. Cuando el ADN bacteriano se integra en un cromosoma de la planta, se apodera efectivamente de la maquinaria celular de ésta y la usa para asegurar la proliferación de la población bacteriana. Muchos jardineros y propietarios de huertos están por desgracia familiarizados con *A. tumefaciens* porque éste causa enfermedades caracterizadas por agallas de la corona en muchas plantas ornamentales y frutales (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

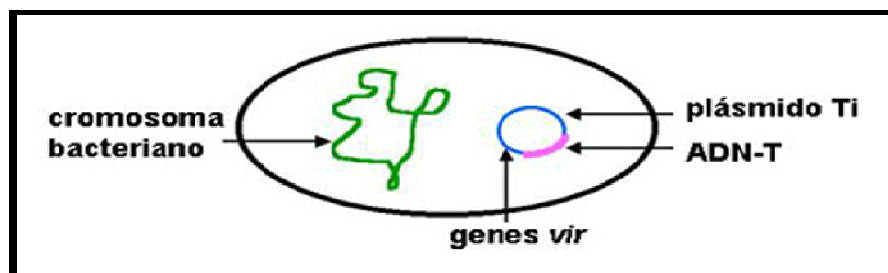


Figura 10. Diagrama de la célula de *Agrobacterium tumefaciens*

Fuente: Universidad Estatal de Colorado, 2004.

El ADN de una célula de *A. tumefaciens* está contenido en el cromosoma bacteriano y en otra estructura llamada plásmido Ti (inductor de tumores). El plásmido Ti contiene:

Un segmento de ADN llamado ADN-T (~20 kb de largo), que es transferido a la célula de la planta en el proceso de la infección, una serie de genes *vir* (de la virulencia), que dirigen el proceso de la infección (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

La bacteria *A. tumefaciens* sólo puede infectar a una planta a través de lesiones. Cuando la raíz o el tallo de una planta sufre una lesión, emite ciertas señales químicas. En respuesta a esas señales los genes *vir* de *A. tumefaciens* se activan y dirigen una serie de acontecimientos necesarios para la transferencia del ADN-T desde el plásmido Ti al cromosoma de la planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

Distintos genes *vir*:

1. Copian el ADN-T.
2. Unen un producto a la hebra del ADN-T copiado para que actúe como líder.
3. Agregan proteínas a lo largo del ADN-T, posiblemente como mecanismo de protección.
4. Abren un canal en la membrana celular bacteriana a través del cual pasa el ADN-T.
5. El ADN-T entra entonces en la célula de la planta a través de la lesión. No está claro cómo el ADN bacteriano se traslada desde el citoplasma al núcleo de la célula de la planta, ni cómo el ADN-T se integra en el cromosoma de la planta. Recuerde que la mayoría de las veces el ADN de la planta no existe como una hebra expuesta sino que está envuelto con las proteínas histonas y tiene una estructura súper enrollada. Una hipótesis es que el ADN-T espera hasta que el ADN de la planta está siendo replicado o transcrito y entonces se inserta en el ADN expuesto de la planta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

Para utilizar *A. tumefaciens* como vector del transgen, los científicos han eliminado la sección de ADN-T inductora de tumores y han conservado las regiones fronterizas del ADN-T y los genes. El transgen es insertado entre las regiones fronterizas del ADN-T, desde donde es transferido a la célula de la planta para integrarse en los cromosomas de ésta (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

3.1.4.1.1 Selección y regeneración

Selección de tejidos transformados con éxito. Después del proceso de inserción del gen, los tejidos de la planta son transferidos a un medio selectivo que contiene un antibiótico o un herbicida, según el marcador seleccionable que se usó. Sólo las plantas que expresan el gen marcador seleccionable sobrevivirán, como se muestra en la figura 11, estas plantas poseen el transgen de interés. Por lo tanto, en los pasos subsiguientes del proceso se utilizarán únicamente estas plantas sobrevivientes (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

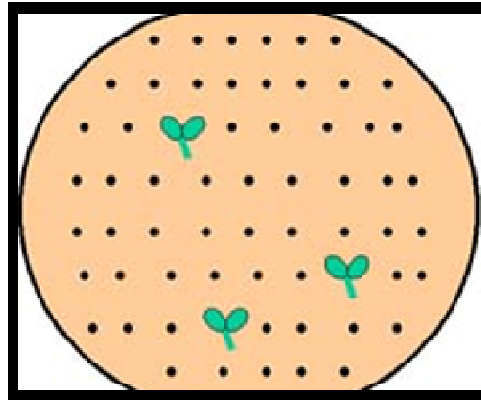


Figura 11. Cuando se les cultiva en medios selectivos, sólo sobrevivirán los tejidos de las plantas que han integrado con éxito el constructo del transgen.

Fuente: Universidad Estatal de Colorado, 2004.

Regeneración de plantas completas. Para obtener plantas completas a partir de tejidos transgénicos como los embriones inmaduros, se cultivan éstos en condiciones ambientales controladas en una serie de medios que contienen nutrientes y hormonas, proceso conocido como cultivo de tejidos. Una vez que se generan plantas completas y éstas producen semillas, comienza la evaluación de la progenie. Este paso de la regeneración ha sido un obstáculo al producir plantas transgénicas en muchas especies, pero ahora se pueden transformar y regenerar variedades específicas de la mayoría de los cultivos (Universidad Estatal de Colorado, 2004).

3.1.4.2 El método de transformación de plantas por protoplastos

Se denominan protoplastos a las células vegetales desprovistas de pared celular. Su obtención se lleva a cabo mediante procesos mecánicos y enzimáticos de eliminación de la pared celular. Por ejemplo, se pueden obtener protoplastos de tabaco o petunia a partir de hojas, mediante la retirada de la epidermis y el tratamiento con celulasas y pectinasas (enzimas que digieren los componentes de la pared celular vegetal), en medio isotónico, para evitar su rotura (al carecer de pared no son capaces de soportar cambios osmóticos), (Tecnociencia.es, 2003).

Mediante este proceso se obtiene una suspensión con millones de células individuales susceptibles de ser transformadas. Los protoplastos se mantienen en un medio de cultivo y se adiciona el gen que se ha de transferir. Para conseguir la penetración del transgen es necesaria la permeabilización de la membrana, que se lleva a cabo mediante distintos procesos:

- Electroporación: Consiste en aplicar al protoplasto descargas eléctricas de manera que la membrana se despolariza y se crean diminutos poros por los que puede penetrar el ADN
- Tratamiento con polietilenglicol para desestabilizar la membrana celular
- Fusión con la membrana de liposomas que contengan el ADN a transferir

Una vez incorporado el DNA, se requiere cultivar los protoplastos para permitir su división, y en las condiciones que permitan conseguir la regeneración de la planta que ha incorporado el transgen (Tecnociencia.es, 2003).

3.1.4.3 El método de transformación de plantas con biobalística

Se denomina biobalística a la introducción de ADN en células mediante la aceleración (disparo), de proyectiles de muy pequeño tamaño. Los micro proyectiles se pueden cubrir de DNA, y se pueden acelerar mediante pólvora, una descarga eléctrica, o utilizando gases a presión. De esta manera se puede introducir DNA en prácticamente cualquier tejido de cualquier especie vegetal (Universidad Nacional de Córdoba, 2007).

No obstante el proceso tiene una desventaja, la falta de control sobre la integración del gen en el genoma de la planta. Puede suceder que el transgen se rompa durante el proceso y se integren fragmentos de ADN de partida, o que se integren demasiados transgenes y por lo tanto la planta reaccione silenciándolo, es decir, impidiendo que el gen se exprese (Universidad Nacional de Córdoba, 2007).

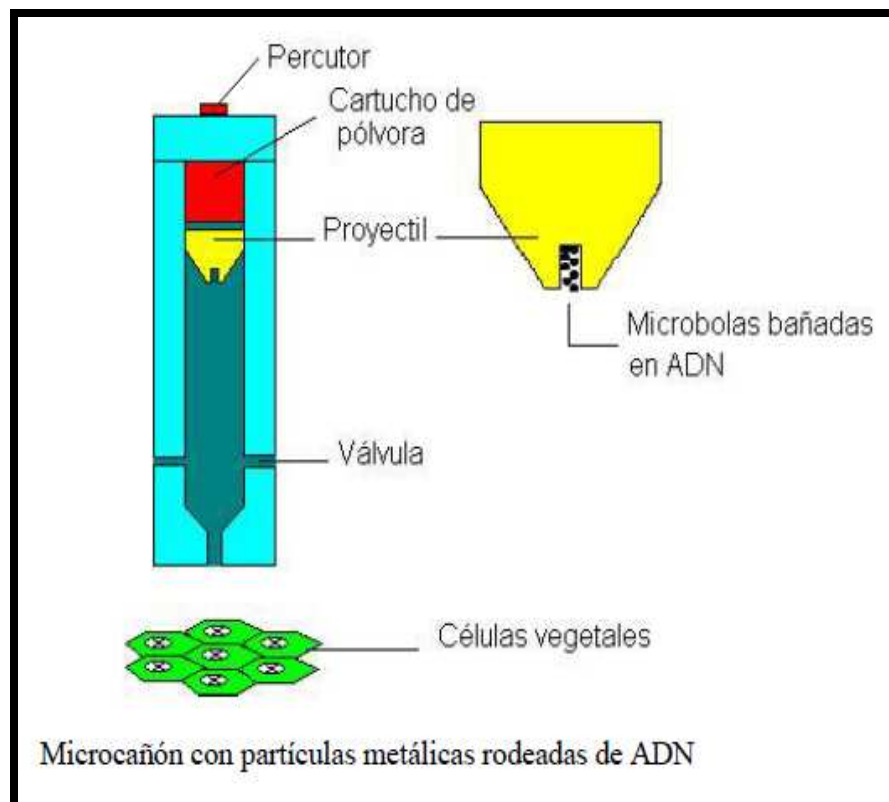


Figura 12. Método de transformación de plantas (biobalística), microcañón con partículas metálicas rodeadas de ADN.

Fuente: Universidad Nacional de Córdoba, 2007.

3.1.5 Flujo de genes

El flujo de genes entre poblaciones es un evento espontáneo y constituye una importante fuerza creadora de diversidad genética que puede variar en magnitud y dirección (Valverde, 2005).

Los cultivos y las malezas provienen de plantas silvestres; los cultivos se han sometido por milenios a la selección de ciertas características como la autofertilidad, la eliminación del desgrane (caída de las semillas), y de la latencia, y cierto tipo de arquitectura de la planta al punto de que los cultivos se tornaron muy dependientes de la intervención de los humanos para su establecimiento y propagación (Valverde, 2005).

Por este motivo, no es de sorprenderse que muchos cultivos, especialmente aquellos que existen como un complejo cultivo-maleza-forma silvestre, puedan intercambiar genes cuando son simpátricos en condiciones apropiadas (cuando hay traslape de los períodos de floración y presencia de polinizadores si son necesarios), (Valverde, 2005).

Warwick & Stewart (2005), mencionan los cultivos comestibles más importantes en el mundo y sus malezas emparentadas que son sexualmente compatibles y económicamente importantes (Valverde, 2005).

Cinco de los 25 cultivos comestibles más sembrados (arroz, canola, caña de azúcar, avena y sorgo), poseen malezas emparentadas con las que pueden cruzarse de entre las 180 malezas que causan el 90% de daño mundialmente (Valverde, 2005).

3.1.6 Perspectivas: biotecnología moderna

Uso de organismos vivos, modificados o no, con la aplicación de técnicas biológicas para la producción. Sus áreas son: (SIMAS, 2005).

3.1.6.1 Cultivo de tejidos

Es el cultivo de una nueva planta a partir de un ápice o sección de tallo de una planta preexistente, es el más usado en Guatemala, por ejemplo en yuca, camote y otros, así como en especies medicinales y forestales (SIMAS, 2005).

3.1.6.2 Ingeniería genética

Marcador molecular: Es la técnica con la que se investiga y se identifica un segmento de ADN que puede ser gen o no. Con ello se establecen las diferencias de un producto o su variedad. Se refiere a los transgénicos, en el manejo y transferencia de los genes hereditarios, como el ADN, de una planta a otra de forma artificial, para ello es necesario avanzar antes en métodos como el cultivo de tejidos y los marcadores moleculares (SIMAS, 2005).

3.1.7 Metodologías para la detección de un OGM

3.1.7.1 Métodos analíticos basados en la detección de proteína

3.1.7.1.1 Detección inmunológica

Los ensayos inmunológicos para la detección de OGM, básicamente se desarrollan con dos formatos: las tiras reactivas o *Strips* de flujo lateral y el ELISA (ensayo de Inmuno detección ligado a enzima), cuya diferencia fundamental es el formato ya que la base es la misma: Detección de proteínas usando anticuerpos específicos de la proteína de interés (Corona, Uffo y Martínez, 2006).

El LFA es un método de captura que utiliza una combinación de anticuerpos inmovilizados en un soporte sólido. Sin embargo es un método de desarrollo reciente y que requiere de validaciones previas antes de ser utilizado como método de rutina analítica. Los análisis ELISA detectan o miden la cantidad de proteína de interés en una muestra que puede contener numerosas proteínas distintas. Se utiliza un anticuerpo fijado al pocillo que se une específicamente a la proteína transgénica, un segundo anticuerpo conjugado a una enzima cuyo producto genera un color que es visible al añadir un sustrato determinado y fácilmente cuantificable basado en la comparación de una curva patrón de proteínas de interés (AINIA, 2003).

Los OGM están caracterizados por un genoma alterado, el cual puede llevar a la expresión de una nueva proteína; por lo tanto, los alimentos modificados genéticamente pueden ser identificados detectando la presencia de la nueva proteína expresada, codificada por el material genético (Corona, Uffo y Martínez, 2006).

3.1.7.1.2 Flujo lateral o lateral flow

En este formato se reúnen todos los reactivos en un soporte sólido y mediante el flujo por capilaridad de la muestra en solución se logra determinar la presencia o ausencia de una determinada proteína (análisis cualitativo). Este formato se ha aplicado exitosamente para la detección de un sinnúmero de moléculas de importancia en el diagnóstico veterinario y humano. El resultado de estas tiras es cualitativo (positivo o negativo), y la sensibilidad (o límite de detección), oscila entre 0.5% y 2% para determinados eventos y de 0.1% y 0.3% para otros (Corona, Uffo y Martínez, 2006).

En la figura 13, se puede observar el esquema de la banda de flujo lateral. El anticuerpo de captura está unido directamente a uno de los extremos de la banda, mientras que el anticuerpo detector se encuentra sobre el extremo opuesto (seco, pero no unido de manera directa a la superficie de la banda). En este último extremo se adiciona la muestra de interés, la cual fluye junto con el anticuerpo detector en la dirección contraria. Si la proteína transgénica, a la cual reconoce de manera específica el anticuerpo de captura, se encuentra presente, los tres elementos reaccionan entre sí (el anticuerpo de captura con la proteína de interés y con el anticuerpo detector), formándose una banda colorida donde el anticuerpo detector se acumula. Si no es así, sólo reacciona el anticuerpo de captura con el anticuerpo detector, en una región más alejada, indicando que la prueba fue realizada correctamente (Corona, Uffo y Martínez, 2006).

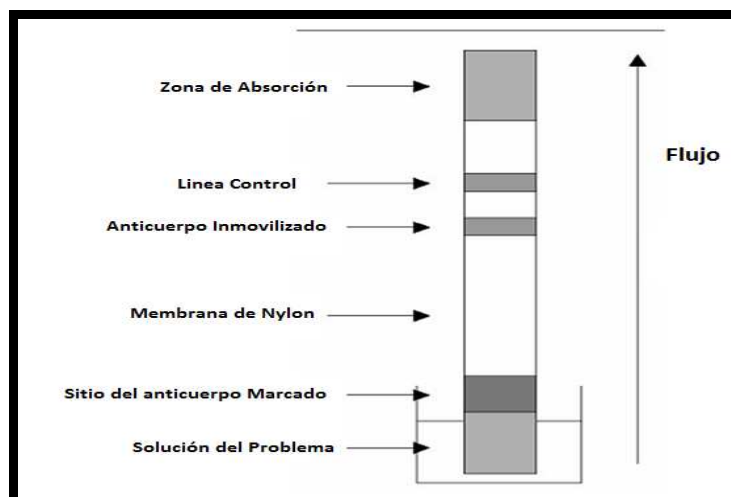


Figura 13. Esquema de la tira de flujo lateral.

Fuente: Corona, Uffo y Martínez, 2006.

La gran ventaja de esta metodología de análisis radica en su simplicidad y rapidez (Cuadro 1), en el presente cuadro se mencionan las principales características de las tiras de flujo lateral, método que se utilizó para la realización de esta investigación, donde se mencionan propósito, ventajas, desventajas y limitaciones de las mismas, (Corona, Uffo y Martínez, 2006).

Cuadro 1. Características de las tiras de flujo lateral

| Características de Tiras De Flujo Lateral (Inmuno Strip Test) | |
|---|---|
| Propósito | Proporcionar una prueba rápida para la detección de rasgos genéticamente modificados. |
| Ventajas | Mínima preparación de las muestras. Resultados rápidos (5-10 minutos). Cualitativo. Relativamente barato. Disponibile. Las tiras pueden ser almacenadas a temperatura ambiente antes de su uso. Fácil de desarrollar con mínimo de entrenamiento. No se requiere equipamiento caro. Útil para testaje en campo. |
| Desventajas | No muy sensible (~1% de proteína genéticamente modificada). Carencia de disponibilidad de anticuerpos relevantes. Desarrollo de anticuerpos apropiados puede tomar más de un año. |
| Limitaciones | Limitado a uno o a pequeño número de rasgos por prueba. No son eventos específicos Algunos OGM modificados no expresan a niveles detectables la proteína blanca. Sólo disponible para un número limitado de OGM. |

Fuente: Corona, Uffo y Martínez, 2006.

3.1.8 Pruebas genéticamente modificadas

3.1.8.1 Prueba Bt-Cry1Ab/1Ac: Proteína detectada Bt-Cry1Ab/1Ac.

B. thuringiensis patógeno de insectos, produce grandes inclusiones cristalinas que constan de entomoproteínas, proteínas bactericidas que se activan cuando son ingeridas, estas toxinas además de otros factores de virulencia, puede debilitar o matar a los insectos permitiendo que las esporas germinen en los mismos (Pigott y Ellar, 2007).

Las proteínas Cry son muy diversas, estas pueden afectar a distintos órdenes de insectos como lepidópteros (mariposas y polillas), dípteros (moscas y mosquitos), y Coleópteros (escarabajos y gorgojos), se han reportado que algunas toxinas Cry pueden matar a himenópteros (avispas y abejas) y nematodos (Pigott y Ellar, 2007).

3.1.8.2 Las toxinas Cry como biopesticidas

Las propiedades insecticidas de las toxinas de *B. thuringiensis* han sido explotadas comercialmente, y las mezclas de las esporas y cristales se han utilizado para controlar insectos en los órdenes de Lepidóptera, Díptera y Coleóptera. Estos bioplaguicidas se han utilizado durante casi 60 años (Pigott y Ellar, 2007).

Recientemente, el uso de toxinas Cry se ha incrementado dramáticamente después de la introducción de genes *cry* en las plantas (Pigott y Ellar, 2007).

Estos "cultivos Bt" hasta ahora han demostrado ser una eficaz estrategia de control, desde el 2004 el maíz Bt y el algodón Bt se cultivan en 22,4 millones de hectáreas en todo el mundo. Un uso generalizado, ha dado lugar a preocupaciones sobre el efecto que los cultivos Bt pueden tener en el medio ambiente y la salud humana (Pigott y Ellar, 2007).

3.1.8.3 Diversidad de toxinas

Existe una gran variedad de proteínas Cry, estas han sido producto del esfuerzo internacional continuo para aislar y caracterizar nuevas cepas de *B. thuringiensis*, esto con la esperanza de encontrar toxinas con nuevas propiedades especializadas para el control agronómico de plagas de importancia económica. Actualmente existen 143 toxinas Cry pertenecientes a *B. thuringiensis* que han sido encontradas en miles de cepas analizadas (Pigott y Ellar, 2007).

- **Bt-Cry1Ab/1Ac:** Cry1 proteínas tóxicas para los lepidópteros, con varias toxinas diferentes, incluyendo Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry1Ba, Cry1C, Cry1F.
- **Bt-Cry2A:** La diferencia entre estas proteínas es la posición donde se encuentra en el genoma del insecto (Pigott y Ellar, 2007).
- **CP4 EPSPS:** El gen CP4 EPSPS (dos copias en tandem), proveniente de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* cepa CP4, el cual codifica para la proteína CP4 EPSPS, que confiere tolerancia al herbicida glifosato (Pigott y Ellar, 2007).
- **mBt-Cry3A:** Es una proteína toxica para Díptera (*Drosophila melanogaster*), (Pigott y Ellar 2007).

3.1.9 Panorama comercial

Es muy probable que la mayoría de la sociedad no esté enterada de que hoy en día existen muchos productos biotecnológicos y genéticamente modificados en la industria alimenticia y de la protección del ambiente, por mencionar los más importantes. Tales productos incluyen organismos vivos como plantas, animales y microorganismos, así como tecnologías y procesos como los marcadores moleculares, paquetes de diagnóstico, enzimas recombinantes, hormonas de crecimiento, probióticos, aditivos, antibióticos y genes sintéticos, entre otros (Villalobos, 2008).

Los cultivos empleados en la agricultura son un producto más de la biotecnología, pero tienen particular relevancia debido a sus implicaciones agrícolas, económicas, de salud y ambientales (Villalobos, 2008).

A continuación se mencionan algunos productos biotecnológicos y genéticamente transformados que existen en el mercado y que son comercializados para diferentes fines, utilizándose tanto en países desarrollados como en desarrollo:

Para la salud humana: la insulina para la diabetes; el interferón para el tratamiento de cáncer, la vacuna para la hepatitis B; la producción de vacunas recombinantes y la terapia genética (Villalobos, 2008).

Para el ambiente: el uso de microorganismos transgénicos para la degradación de plásticos y otros productos, incluyendo petróleo y metales pesados (bioremediación), así como el uso de bacterias transgénicas para la descontaminación ambiental (fitoremediación), y la elaboración de plásticos biodegradables (Villalobos, 2008).

Para cultivos agrícolas: los cultivos genéticamente mejorados tolerantes a insectos y herbicidas; la clonación de individuos superiores; el mejoramiento genético asistido para acortar los tiempos en la producción de nuevas variedades; paquetes de diagnóstico para enfermedades; la biosíntesis de ingredientes activos; la reducción de pérdidas en post-cosecha; la mejora en la calidad de los productos y la caracterización y conservación de germoplasma (variabilidad genética) (Villalobos, 2008).

Para Producción animal: la caracterización del ganado por marcadores moleculares, la confirmación de paternidad, las hormonas de crecimiento, la manipulación de genes asociados a la calidad de carne, el mejoramiento genético asistido, el trasplante de embriones, la clonación de individuos superiores, el aumento de contenido de caseína de la leche y el desarrollo de vacunas recombinantes para Newcastle, Fiebre porcina clásica, Peste bovina, la creación de animales transgénicos para la obtención de productos industriales, farmacéuticos u organismos para trasplante (Villalobos, 2008).

3.1.9.1 Consumo de alimentos genéticamente modificados

Con frecuencia la gente se pregunta si el consumo de los cultivos genéticamente modificados pudiera causar algún daño a la salud humana, la respuesta, que se sustenta en cientos de estudios científicos y análisis técnicos, señala que el riesgo es similar al que se pudiera correr consumiendo el mismo producto de origen convencional, o sea su equivalente sustancial. La experiencia documentada indica que a la fecha no existe un solo caso que pueda demostrar fehacientemente que el consumo de OGM o de alimentos que usan sus derivados como materia prima, haya causado algún daño a la salud humana o, en un caso

extremo, la muerte de alguna persona, no obstante que en la mayoría de los países del mundo han consumido más de 47 millones de toneladas de granos y oleaginosos hasta finales de 2005 (Villalobos, 2008).

De hecho es muy remoto que una persona, de cualquier país y estrato social, no haya consumido o este consumiendo alimentos en cuya elaboración se utilizan cultivos de origen genéticamente transformado. Habría que considerar también que la industria avícola, porcícola y pecuaria es alimentada en gran parte con suplementos de pasto de soya o de maíz (principales cultivos mejorados), por lo que ese tipo de alimentos también contienen derivados de productos transgénicos (Villalobos, 2008).

Por los argumentos anteriores lo relevante es dejar en claro que el riesgo para los humanos en el consumo de productos o derivados de esos cultivos es mínimo, o dicho de otra forma, son tan sanos como sus equivalentes no mejorados (Villalobos, 2008).

3.1.10 Situación actual de OGM en Guatemala

3.1.10.1 Cultivos autorizados

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), la Unidad de Normas y Regulaciones no ha realizado ninguna autorización de cultivos genéticamente mejorados en Guatemala debido a que el país no cuenta con normativas para autorizar su uso (Mencos, 2009).

3.1.10.2 Introducciones ilegales de cultivos genéticamente mejorados

La Unidad de Normas y Regulaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA, asegura que hasta enero del 2009, no se han documentado introducciones ilegales al país de cultivos y alimentos transgénicos. Sin embargo, desde el año 1996 las organizaciones ambientalistas han realizado diversos monitoreos e investigaciones detectando la presencia de organismos genéticamente modificados (OGM), principalmente aquellos que se encuentran en ayuda alimentaria proporcionada por el Programa Mundial de Alimentos (PMA), (Mencos, 2009).

3.1.10.3 Alimentos genéticamente modificados

En la unidad de Atención al Proveedor, de la Dirección de Atención al Consumidor (DIACO), aún no maneja el tema, no cuentan con laboratorios para el análisis de productos y en general carecen de la información y de protocolos para el monitoreo de productos que puedan contener material transgénico (Mencos, 2009).

No hay datos oficiales sobre alimentos transgénicos en Guatemala, debido a que el etiquetado no se realiza, la mayoría de los productos transgénicos que ingresan son para la industria avícola y pecuaria en general y un poco es destinado para la producción de alimentos humanos (Mencos, 2009).

La Unidad de Normas y Regulaciones del MAGA, expresa que para el caso de productos y subproductos transgénicos de origen vegetal que se utilicen directamente en la alimentación humana o animal, no existe normativa vigente para su regulación (Mencos, 2009).

3.1.11 Panorama social

La búsqueda de mecanismos para reactivar la agricultura en el país tras el azote de desastres naturales o medidas para paliar la hambruna a largo plazo, hace resurgir la discusión sobre el cultivo y consumo de alimentos genéticamente modificados (SIMAS, 2005).

El debate no es nuevo, pero cada vez son más las conversaciones con los países pioneros en el desarrollo de la biotecnología agrícola. A principios del mes de Octubre del año 2005, Madelyn E. Spirnak, consejera para biotecnología agrícola del Departamento del Estado de EE.UU., visitó Guatemala y se reunió con personeros del Congreso, los ministerios de Salud y Agricultura y productores nacionales, para exponer los beneficios de la técnica, que dice en tiempos de crisis pueden ayudar (SIMAS, 2005).

Para enfrentar la crisis, la experta explica que la ingeniería genética permite agregar nutrientes a los productos, hacerlos más resistentes a las plagas y evitar el desgaste excesivo de los suelos. “Coadyuvan a combatir el hambre en regiones devastadas por sequías u otros desastres porque su rendimiento por hectárea sembrada es casi el doble”, agregó (SIMAS, 2005).

Sin embargo, reconoce que el desarrollo de productos transgénicos en el país no puede realizarse de un día para otro, pero dejó claro que EE.UU. está dispuesto a asistir al país en proyectos de tecnología, regulación y seguridad alimentaria, para el cultivo de maíz, arroz o frijol transgénico. Spirnak dice que Guatemala tiene elementos a favor para la explotación de la biotecnología por la diversidad de climas, riqueza de suelos y potencial de consumo (SIMAS, 2005).

Para Secil de León, dirigente del Colectivo de Organizaciones Sociales (COS) el desarrollo de productos modificados perjudicaría a micro y pequeños agricultores, incapaces de costear las aplicaciones de esta tecnología. Añade que ese método beneficia sólo a las empresas productoras de semillas modificadas. Con cautela el área de Fitozoogenética del Ministerio de Agricultura (MAGA), afirma que de momento la dependencia no tiene prevista una estrategia para promover en el corto plazo el consumo y producción de estos productos (SIMAS, 2005).

El uso de esa tecnología se debe hacer con base en los análisis de riesgo además que se necesita de inversión para la transferencia tecnológica y capacitación. La Comisión Nacional de Áreas Protegidas (Conap), añade que Guatemala puede comenzar a ensayar esa tecnología en productos no originarios del país, para no manipular la biodiversidad local, aspecto que califica como un riesgo (SIMAS, 2005).

Aunque destaca que los transgénicos son útiles en la agricultura extensiva, en Guatemala todavía prevalece la propiedad de pequeñas extensiones de tierra por lo que no sería muy funcional, con excepción del caso del azúcar. En cuanto a la salud humana se refiere, los riesgos son la preocupación de la organización Ceibas y la Alianza Centroamericana en Defensa de la Biodiversidad (SIMAS, 2005).

Según Estas organizaciones se han detectado alergias producidas por maíz transgénico Starlik en Tailandia, mismo producto que rechazan porque ingresó a Guatemala como ayuda humanitaria por el Programa Mundial de Alimentos. Aunque no existe aún un estudio que diga que los transgénicos afectan la salud, se dice que en ratas estos alimentos han causado alteraciones intestinales (SIMAS, 2005).

3.1.12 Legislación nacional

Los expertos señalan que estas son inversiones costosas, a largo plazo y requieren de un marco regulatorio, que actualmente no existe en el país, además no lo consideran una solución por la crisis generada por desastres naturales como Stan (SIMAS, 2005).

En Guatemala solamente hay una iniciativa de Ley de seguridad de la biotecnología moderna que desde el año 2004 se encuentra en el Congreso. El MAGA cuenta con dos acuerdos gubernativos como normativa para permitir las pruebas de investigación. Aprovechando estos incentivos, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola desarrolla semillas mejoradas con marcadores moleculares como espárrago, papa, camote, guayaba y maíz (SIMAS, 2005).

3.1.12.1 Propuesta de ley seguridad de la biotecnología moderna para Guatemala

El “Desarrollo del Marco Nacional de Seguridad de la Biotecnología (MNSB), para Guatemala” fue impulsado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente GEF por sus siglas en inglés, como una “Estrategia inicial para ayudar a los países a prepararse para la entrada en vigor del Protocolo de Cartagena sobre la seguridad de la biotecnología”, así como proveer un Marco regulatorio técnico administrativo, legal y de consulta pública que vele por la diversidad biológica y la salud de los guatemaltecos. El uso seguro de la biotecnología moderna es una preocupación de la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB) de la cual Guatemala es parte. Esta convención reconoce que, si es desarrollada y utilizada con adecuadas medidas de seguridad para el ambiente y la salud humana, la biotecnología puede contribuir al logro de los objetivos de la Convención. En sus artículos 8(g) y 19(3) exhorta a las partes a establecer medidas de control en la liberación de los Organismos Genéticamente Modificados conocidos como OGM, y la necesidad de establecer un protocolo apropiado para garantizar la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica fue adoptado en Montreal en enero del 2000. En Guatemala dicho instrumento fue aprobado por el Honorable Congreso de la República el 17 de septiembre de 2003 y sancionado por el poder ejecutivo el 13 de octubre del mismo año. Actualmente el Protocolo de Cartagena está en Cancillería de Ministerio de Relaciones Exteriores pendiente de dictamen técnico previo a depositarse en el seno de la Secretaría de las Naciones Unidas (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

El proyecto en referencia vino a consolidar las capacidades nacionales para la instrumentación del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad. Uno de los principales logros fue la creación del Comité Nacional de Coordinación de Bioseguridad -CNCB- mediante resolución No. ALC/14/2003 de Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. El -CNCB- está conformado entre otros por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, el Ministerio de Relaciones Exteriores -MINEX-, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social MSPAS-, el Ministerio de Educación -MINEDUC-, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-, Academia, Mesa Nacional Alimentaria y varios representantes de la Sociedad Civil. Este Comité actuó como un equipo intersectorial responsable de asesorar, supervisar, y velar porque la propuesta de Ley de Seguridad de la Biotecnología Moderna refleje los intereses del Estado de acuerdo a lo establecido en la Constitución de la República principalmente en lo que se refiere a la protección a la salud humana y al medio ambiente. (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

3.1.12.2 Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología

En el contexto de la legislación internacional, un “Protocolo” es un instrumento adoptado en el marco de un Acuerdo Internacional. En este sentido, el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (o Bioseguridad como también se le llama), es un Instrumento preparado para ser implementado en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), mismo que ha sido firmado a la fecha por más de 190 países.

Bajo este marco del CDB establecido por sus tres objetivos puntuales enfocados a la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica y también a la participación equitativa en los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos, el mencionado Protocolo se dirigió a regular y controlar los aspectos de seguridad relacionados con el manejo de los organismos vivos modificados (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

El nombre de "Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología" surge de la ciudad de Cartagena, Colombia, lugar que fuera elegido originalmente para su celebración y adopción internacional. Fue históricamente firmado en enero de 2000 y posteriormente entró en vigor el 11 de septiembre de 2003 (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

En el texto del Protocolo de Cartagena, a los Estados y Organizaciones Regionales de Integración Económica que se adhieren al Protocolo de Cartagena y se comprometen a obligarse jurídicamente por sus disposiciones se les denomina "Partes". Existe ya una lista actualizada de las Partes que pertenecen a este Protocolo, el cual cuenta ya con más de 150 miembros. De hecho, únicamente los Estados u Organizaciones Regionales de Integración Económica que son Partes en el CDB pueden ser Partes en el Protocolo de Cartagena (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

3.1.12.2.1 Propósito del protocolo

El Protocolo de Cartagena establece como su propósito principal "*contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en el campo de la transferencia, manejo y uso seguros de organismos genéticamente modificados (OGM), resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos en la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, tomando en cuenta también los riesgos para la salud humana y centrándose en particular en los movimientos transfronterizos*". El planteamiento persigue alcanzar este propósito de conformidad con el Enfoque de Precaución, Principio 15 de la Declaración de Río de Janeiro celebrada en 1992, y de otros mecanismos que propios del Protocolo (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

3.1.12.2.2 ¿Cómo funciona el Protocolo de Cartagena?

El Protocolo de Cartagena promueve la seguridad de la biotecnología mediante el establecimiento de normas y procedimientos prácticos para la transferencia, manipulación y utilización seguras de OGM, con especial atención a la reglamentación de los movimientos transfronterizos de OGM (es decir, movimientos de OGM a través de fronteras, de un país a otro). El Protocolo se aplica al movimiento transfronterizo, tránsito, manipulación y uso de todos los OGM que puedan tener efectos adversos sobre la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

Los OGM que sean productos farmacéuticos destinados a seres humanos y estén contemplados en otros acuerdos o arreglos internacionales quedan excluidos de las disposiciones del Protocolo referidas a movimientos transfronterizos (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

En términos generales, el Protocolo:

- Establece obligaciones y principios generales que se aplican a todos los OGM
- Estipula reglas y procedimientos específicos que se aplican al movimiento transfronterizo de categorías específicas de OGM
- Establece arreglos institucionales para la administración, supervisión y evolución futura del Protocolo
- Dispone la realización de actividades de creación de capacidad y la provisión de recursos financieros para ayudar a los países en desarrollo y a los países con economías en transición a aplicar el Protocolo (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología (CIISB), 2010).

3.1.13 Transgénicos en el contexto mundial

En 2010, se cumplieron 15 años de comercialización de cultivos biotecnológicos, 1996-2010; La superficie acumulada en el período de 1996 a 2010 supera los 1.000 millones de hectáreas (que equivalen a la extensión de Estados Unidos o China), con lo que se pone de manifiesto que la agrobiotecnología no tiene vuelta atrás (James, 2010).

La superficie dedicada a este tipo de cultivos se ha multiplicado por 87 desde 1996, por lo que estamos ante la tecnología que más rápida aceptación ha encontrado en la historia de la agricultura moderna (James, 2010).

En la figura 14 se observa el grafico de la superficie de cultivos agrobiotecnológicos a nivel mundial, el cual se ha ido incrementando a lo largo de tiempo, se observa el grafico desde la introducción de estos cultivos hasta el año 2010.

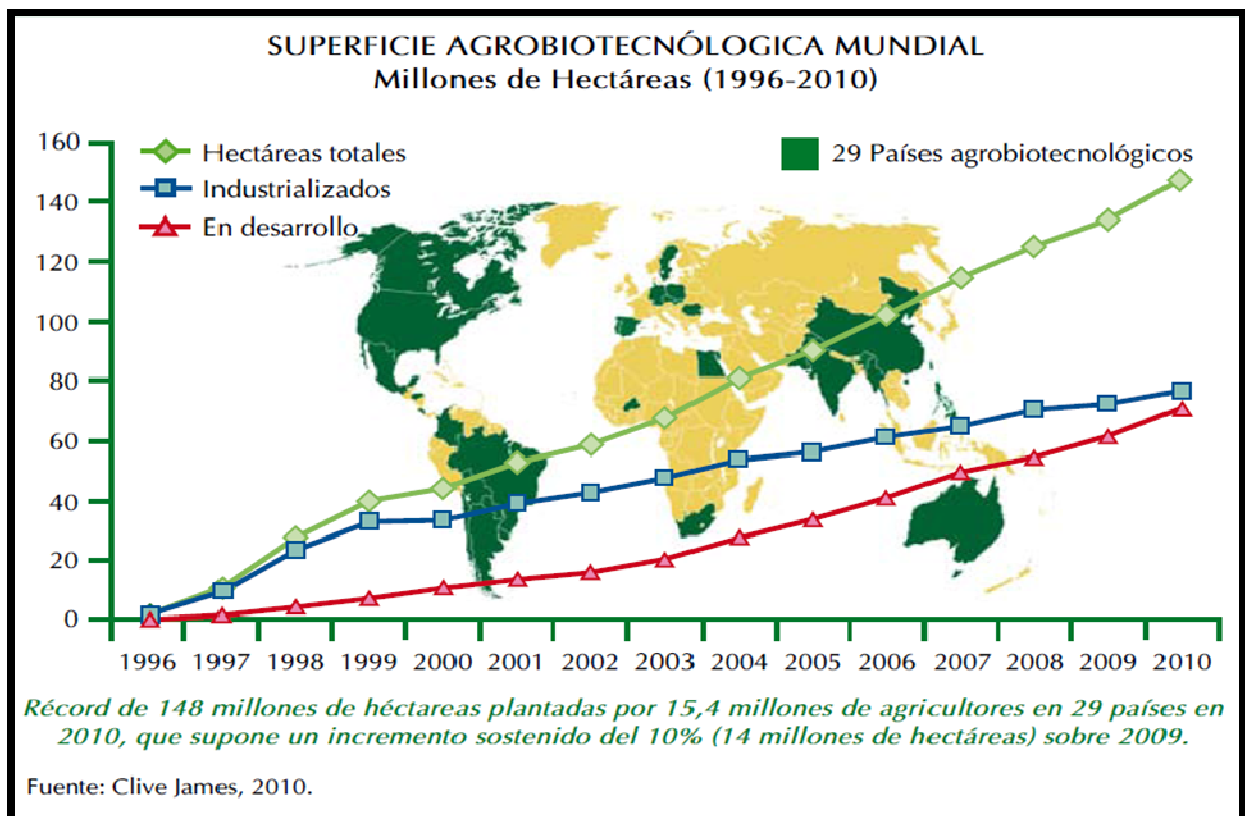


Figura 14. Superficie agrobiotecnológica mundial millones de hectáreas 1996 – 2010.

El crecimiento anual fue del 10 % o 14 millones de hectáreas, alcanzándose los 148 millones de hectáreas. Se trata del segundo mayor incremento en 15 años. Las «hectáreas de características» pasaron de 180 en 2009 a 205 millones en 2010, lo que supone un crecimiento anual del 14 % o 25 millones de hectáreas de este tipo (James, 2010).

El número de países productores de cultivos biotecnológicos pasa de 25 a 29, observándose que los 10 primeros países superan por primera vez el millón de hectáreas cada uno. En estos 29 países vive más de la mitad de la población mundial (el 59 % o ~ 4.000 millones de personas) (James, 2010).

En la figura 15 se da a conocer que de los 29 países productores en 2010, 19 son países en desarrollo y sólo 10 son países industrializados. Además, otros 30 países importaron productos agrobiotecnológicos, de modo que, entre productores e importadores, son 59 los países que aprueban este tipo de cultivos. Entre todos ellos acumulan el 75 % de la población mundial (James, 2010).

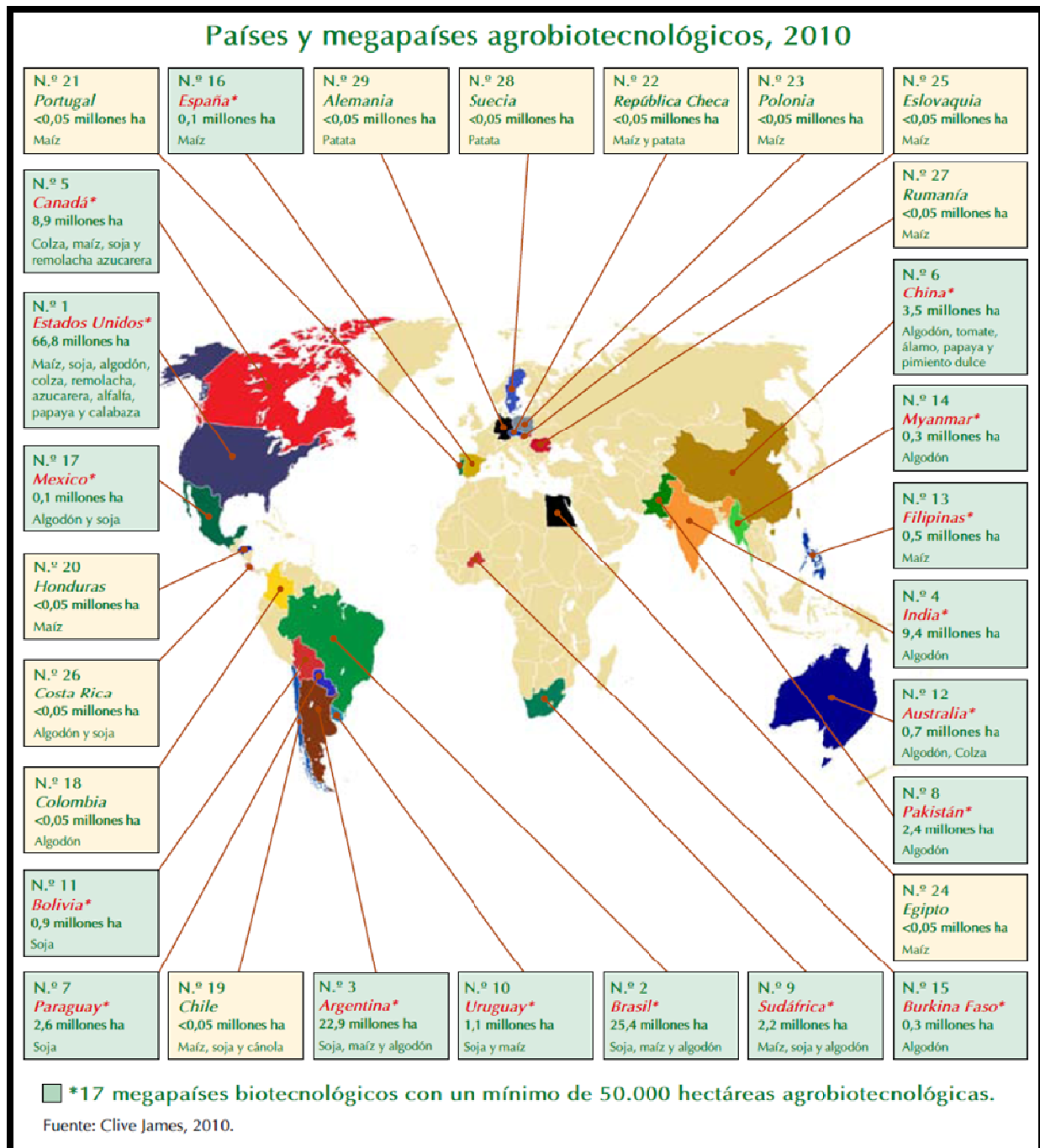


Figura 15. Países y megapaíses agrobiotecnológicos año 2010.

Los países en desarrollo cultivan el 48 % de la superficie agrobiotecnológica mundial y superarán a los países industrializados antes de 2015. La tasa de crecimiento fue mucho mayor en los países en desarrollo, con un 17 % o 10,2 millones de hectáreas, que en los países industrializados, con un 5 % o 3,8 millones de hectáreas (James, 2010).

Los cinco primeros productores agrobiotecnológicos de los países en desarrollo son China y la India en Asia, Brasil y Argentina en América Latina, y Sudáfrica en el continente africano (James, 2010).

Brasil, que es el motor del crecimiento de América Latina, aumentó su superficie agrobiotecnológica más que ningún otro país del mundo, con un incremento récord de 4 millones de hectáreas (James, 2010).

México llevó a cabo con éxito la primera serie de ensayos de campo con maíz biotecnológico (James, 2010).

Por primera vez, la agrobiotecnología ocupó un importante 10 % de los 1.500 millones de hectáreas agrícolas mundiales, más del 50 % de las cuales se encuentran en los 29 países que plantaron cultivos biotecnológicos en 2010 (James, 2010).

Entre 1996 y 2009, los cultivos biotecnológicos contribuyeron a la sostenibilidad y a la lucha contra el cambio climático mediante: el incremento en la producción agrícola y el valor de los cultivos en 65.000 millones de dólares; proporcionando un mejor medio ambiente gracias al ahorro de 393 millones de kg de principios activos plaguicidas; sólo en 2009, reduciendo las emisiones de CO₂ en 18.000 millones de kg; conservando la biodiversidad gracias a la preservación de 75 millones de hectáreas de suelo; y contribuyendo a luchar contra la pobreza ayudando a 14,4 millones de pequeños agricultores que están entre los habitantes más pobres de nuestro planeta (James, 2010).

Se calcula que el mercado de semillas biotecnológicas alcanzó un valor global de 11.200 millones de dólares en 2010, mientras que el valor de la cosecha de maíz, soja y algodón biotecnológicos comerciales se cifra en 150.000 millones de dólares al año (James, 2010).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Agronomía este se encuentra en el segundo nivel del edificio T8 de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la zona 12 de la ciudad capital. Aquí se realizaron las fases de clasificación de los materiales, preparación y análisis de muestras así como la obtención de resultados y toma de material fotográfico de la investigación.

El laboratorio de biotecnología así como los kits de prueba para el análisis de los materiales fue proporcionado por el Ing. Agr. Amílcar Sánchez, encargado del mismo en el año 2009.

3.2.2 Características de Materiales Experimentales

3.2.2.1 Concentrados

En el cuadro 2, se presentan los materiales utilizados en la investigación correspondientes a concentrados de consumo animal, se analizaron diferentes casas comerciales, así como diferentes tipos de concentrados, teniendo como único requisito para ser tomados dentro del estudio que en sus componentes estuviese el Maíz (*Zea mays L.*).

Cuadro 2. Características de materiales experimentales (Concentrados).

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Areca | Ponedoras Fase II | Concentrados |
| Areca | Finalizador Cerdos | |
| Purina | Concentrados Aves Iniciador | |
| Purina | Bovino Lechero | |
| Purina | Cerdos Jamonina Engorde | |
| Molino Santa Ana | Pollito Crecimiento | |
| La Granja | Pollos Inicio | |
| Concentrados Nacionales | Tilapia | Concentrados |

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra |
|----------------|---------------------|-----------------|
| Del Prado | Bovino Lechero | |
| Aliansa | Pollos Crecimiento | |
| Aliansa | Cerdos Vitacerditos | |

Fuente: Elaborada por la autora.

3.2.2.2 Cereales

En el siguiente cuadro se mencionan los materiales experimentales que se utilizaron para la realización de la investigación concernientes a los cereales de consumo humano, en esta ocasión se requirió que las muestras contuvieran maíz en su contenido nutricional, estos materiales por ser de consumo humano se evaluaron diferentes tipos entre hojuelas de maíz, atoles y harinas.

Cuadro 3. Características de materiales experimentales (Cereales).

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Uso de la Muestra | Presentación Física del producto |
|---------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|
| Ayuda Internacional (Embajada España) | Vitacereal | Harina de maíz | Harina |
| Harina 13 Cereales | Harina 13 Cereales | Harina de maíz | |
| Nestle | CornFlakes | Cereales de desayuno | Hojuelas de Maíz |
| Binestarina | Bienestarina | Harina de maíz | Harina |
| Maseca | Masa de maíz | Harina de maíz | Harina |
| Kellogg's | CornFlakes | Cereales de desayuno | Hojuelas de Maíz |
| Sulí | CornFlakes | Cereales de desayuno | |
| Gran Día | CornFlakes | Cereales de desayuno | |
| Excellen't | CornFlakes | Cereales de desayuno | |
| Quaker | CornFlakes | Cereales de desayuno | |

Fuente: Elaborada por la autora.

4 Objetivos

4.1 General

- ✓ Determinar la presencia de Organismos Genéticamente Modificados (OGM), en concentrados animales y cereales de consumo humano, en Guatemala.

4.2 Específicos

- ✓ Obtener un registro del estatus actual de la presencia de organismos genéticamente modificados en concentrados para consumo animal y cereales de consumo humano en Guatemala.
- ✓ Generar datos de interés que puedan servir como antecedentes para próximas investigaciones, elaboración de normativas sobre uso y consumo de productos derivados de la biotecnología.

5 Metodología

5.1 Materiales

Los materiales evaluados en esta investigación son los presentados en el cuadro 4, en este se observan los materiales experimentales evaluados, se evaluaron 21 materiales en total, 11 concentrados de consumo animal y 10 cereales de consumo humano, entre los concentrados que se evaluaron se encuentran casas comerciales reconocidas como lo son Aliansa, Areca y Purina, esto ya que son las marcas que más se distribuyen dentro de nuestro país.

Al igual que en los concentrados en los cereales se evaluaron casas comerciales reconocidas como Kellogg's y Nestle que son cereales de consumo recurrente en el país

Cuadro 4. Materiales experimentales evaluados

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Areca | Ponedoras Fase II | Concentrados |
| Areca | Finalizador Cerdos | |
| Purina | Concentrados Aves Iniciador | |
| Purina | Bovino Lechero | |
| Purina | Cerdos Jamonina Engorde | |
| Molino Santa Ana | Pollito Crecimiento | |
| La Granja | Pollos Inicio | |
| Concentrados Nacionales | Tilapia | |
| Del Prado | Bovino Lechero | |
| Aliansa | Pollos Crecimiento | |
| Aliansa | Cerdos Vitacerditos | |
| Ayuda Internacional (Embajada España) | Vitacereal | Atol |
| Harina 13 Cereales | Harina 13 Cereales | |

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra |
|----------------|-------------------|------------------|
| Nestle | CornFlakes | Hojuelas de Maíz |
| Binestarina | Bienestarina | Atol |
| Maseca | Masa de maíz | Harina |
| Kellogg's | CornFlakes | Hojuelas de Maíz |
| Sulí | CornFlakes | |
| Gran Día | CornFlakes | |
| Excellen't | CornFlakes | |
| Quaker | CornFlakes | |

Fuente: Elaborado por la autora.

5.2 Método

Para la realización de esta investigación se utilizaron ensayos inmunológicos en el formato de tiras reactivas de flujo lateral (LFA), tienen como base la detección de proteínas usando anticuerpos específicos de la proteína de interés.

Los OGM están caracterizados por un genoma alterado, el cual puede llevar a la expresión de una nueva proteína; por lo tanto, los alimentos modificados genéticamente pueden ser identificados detectando la presencia de la proteína de interés.

En el formato de las tiras reactivas de flujo lateral se reúnen todos los reactivos en un soporte sólido, mediante el flujo por capilaridad de la muestra que se encuentra en solución se logra determinar la presencia o ausencia de una determinada proteína siendo este un análisis cualitativo, positivo o negativo.

5.3 Pruebas transgénicas a determinar

- I. **Bt-Cry1Ab/1Ac:** el ensayo LFA de Bt-Cry1Ab/1Ac se utiliza en laboratorio para la detección cuantitativa de las proteínas Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac en hojas, semillas y plántulas de cultivos transgénicos como el algodón y el maíz. El ensayo no se puede utilizar para distinguir entre las proteínas Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac.

- II. **Bollgard® II:** el ensayo LFA de Bollgard II, se utiliza en laboratorio para la detección cuantitativa de las proteínas Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac en hojas, semillas y plántulas de cultivos transgénicos como el algodón y el maíz. El ensayo no se puede utilizar para distinguir entre las proteínas Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac.
- III. **RoundUpReady® (RR):** Enzima CP4 EPSP (CP4) codificada por el gen Roundup Ready en grano de Maíz con Evento 603. Este test detecta la enzima CP4 encontrada en Maíz y requiere 1 hora de prueba. En maíz, este kit solo puede utilizarse para detectar RR Maíz con Evento 603.
- IV. **Bt-Cry1F:** el ensayo LFA de Bt-Cry1F se utiliza en laboratorio para la detección cuantitativa de la proteína Bt-Cry1F de cultivos transgénicos como el maíz. Esta proteína confiere al cultivo resistencia a los ataques de insectos de orden lepidóptera y proviene de *B. thuringiensis* sub sp. *Aizawai*.
- V. **Bt-Cry34Ab1, mBt-Cry3A, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab:** el ensayo LFA de Bt-Cry34Ab1, mBt-Cry3A, Bt-Cry3Bb y Bt-Cry1Ab se utiliza en laboratorio para la detección cuantitativa de las proteínas Bt-Cry34Ab1, mBt-Cry3A, Bt-Cry3Bb y Bt-Cry1Ab en hojas, semillas y plántulas de cultivos transgénicos como el maíz.

Las pruebas que se trabajaron en esta investigación son:

Cuadro 5. Descripción de pruebas transgénicas a trabajar

| Nombre de la Prueba | Proteínas Detectadas | Descripción |
|---------------------|------------------------|--|
| Bt-Cry1Ab/1Ac | Bt-Cry1Ab Bt-Cry1Ac | Estas proteínas aportan a los cultivos toxinas con resistencia a insectos del orden lepidóptera en el caso del maíz se puede mencionar: los géneros <i>Agrotis sp.</i> , <i>Pieris sp.</i> , <i>Heliothis sp.</i> , <i>Diatraea sp.</i> , <i>Spodoptera sp.</i> , <i>Plutella sp.</i> , entre otros. |

| | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| Bollgard® II | Bt-Cry2A Bt-Cry1Ab Bt-Cry1Ac | Estas proteínas insecticidas le confieren al cultivo de maíz resistencia a insectos del orden lepidóptera, como ya los antes mencionados, la única diferencia entre estas proteínas es la toxicidad que tiene cada una, a diferencia de Bt-Cry2A que provee resistencia a insectos de orden Díptera. |
| RoundUpReady® (RR) | CP4 EPSPS | La proteína CP4 EPSPS, procedente de la cepa CP4 del <i>Agrobacterium</i> sp., proporciona al cultivo resistencia al glifosato, ingrediente activo de los herbicidas inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos. |
| Bt-Cry1F | Bt-Cry1F | Proteína insecticida de <i>B. thuringiensis</i> sub sp. <i>Aizawai</i> muy eficaz en el control de ciertas especies de insectos lepidópteros <i>Diatraea</i> sp., <i>Agrotis</i> sp. y <i>Spodoptera</i> sp. |
| Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab | Bt-Cry3Bb1 Bt-Cry1Ab | Bt-Cry3Bb1 proteína insecticida proveniente de <i>B. thuringiensis</i> sub sp. <i>Kumamotoensis</i> suministra protección frente a insectos del orden Coleóptera (<i>Diabrotica</i> sp.) |
| Bt-Cry34Ab1 | Bt-Cry34Ab1 | Proteína insecticida de <i>B. thuringiensis</i> que aporta resistencia a los ataques de larvas de insectos de orden Coleóptera que afectan raíces del cultivo de maíz (<i>Diabrotica</i> spp.) |
| mBt-Cry3A | mBt-Cry3A | Esta proteína insecticida provee resistencia al cultivo de maíz a los ataques de insectos del orden Díptera y género <i>Drosophila</i> sp. |

Fuente: Elaborado por la autora.

5.4 Procedimiento de Prueba

Estas pruebas requirieron de una solución buffer que ya la contenían las pruebas, se trabajó con una relación 1:10 (peso/volumen - g/ml) (Krishgen Biosystems, 2009).

1. Se pesó la muestra que se trabajó 0.2 gramos, se colocó en un micro tubo y se midió la solución correspondiente a la muestra, en este caso fue de 2ml de solución buffer SEB4.
2. Se colocó la franja verticalmente y se insertó en el tubo donde se encuentra la muestra, procurando que el extremo tocara durante todo el tiempo el extracto de la muestra.
3. La línea de control apareció de 3 - 5 minutos, la reacción máxima de la prueba se dio a los 30 minutos, que es cuando se retiró la prueba del extracto de la muestra.
4. Se colocaron las pruebas en una posición igual para verificar las líneas de control y las de prueba.
5. La línea de control aseguró que la prueba funcionó correctamente, si la línea de control no apareció la prueba no fue válida. Si la prueba fue positiva para la característica del transgénico, la línea de prueba apareció, de lo contrario la línea de prueba no se presentó (Krishgen Biosystems, 2009).

La figura 16 muestra el flujograma de los pasos a seguir para obtener los resultados de la investigación.

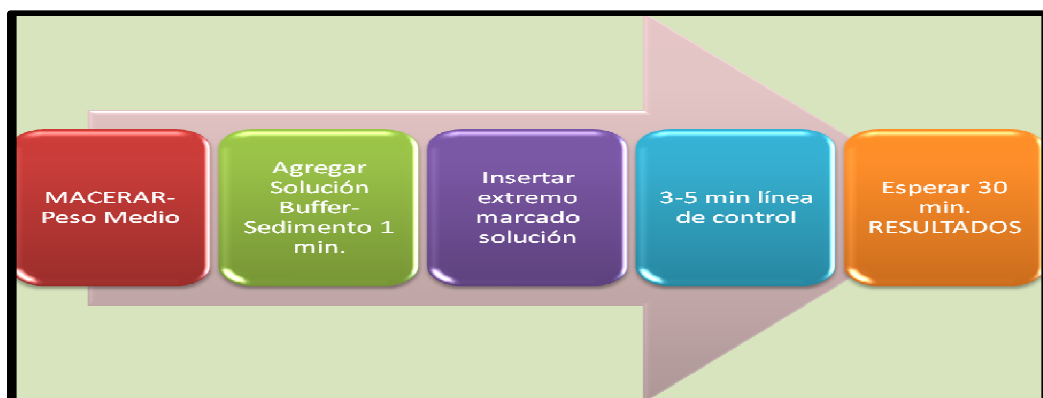


Figura 16. Flujograma de la Metodología utilizada en el laboratorio

Fuente: Elaborado por el autora.

A continuación se presentan las figuras que indican el procedimiento realizado en la presente investigación, se proporciona una breve descripción de las mismas con fines de mejorar la explicación del procedimiento.

Si la prueba fue positiva para la característica del transgénico, la línea de prueba apareció, de lo contrario la línea de prueba no se presentó.



La figura 17 ilustra los utensilios utilizados, con estos utensilios se procedió a realizar la maceración de los materiales como se visualiza en la figura 18, a todos los materiales utilizados en esta investigación se les aplicó la misma metodología.

Figura 17. Utensilios para realizar las pruebas.

Se maceraron 17 materiales, 11 concentrados para animales y 6 cereales de consumo humano, los 4 materiales restantes no se maceraron ya que estos se evaluaron en presentación de harina.



Figura 18. Maceración de los materiales investigados.



En la figura 19 se exhiben los micro tubos utilizados en la investigación, en estos se colocó en material macerado, mismo que posteriormente sería evaluado.

Figura 19. Micro tubos utilizados en la investigación.

En los micro tubos se colocaron 0.2 g de material macerado con ayuda de una micro espátula como se visualiza en la figura 20, luego se agregaron 2 ml de buffer SEB4, para obtener una relación 1:10 (peso/volumen - g/ml) utilizando una pipeta automática y procurando que el buffer estuviese refrigerado.

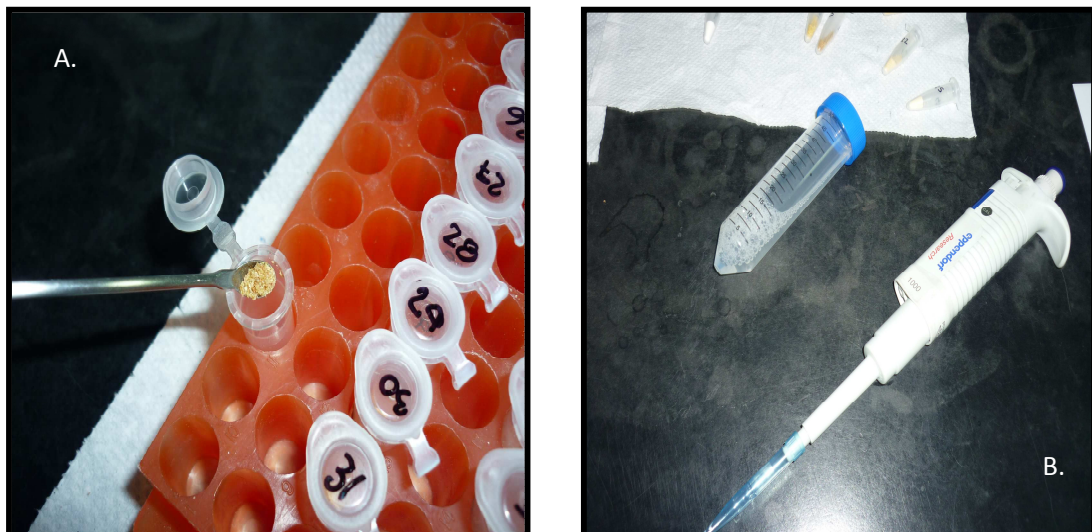


Figura 20. (A.) Micro tubos con materiales macerados. (B.) Pipeta automática, punta tip y buffer SEB4.



Luego se procedió a mezclar los materiales y el buffer con un vortex como se muestra en la figura 21, esto lo que hace es mezclar homogéneamente el material macerado y el buffer, donde se obtuvo la mezcla que se utilizó para la evaluación con las tiras de flujo reactivo.

Figura 21. Micro tubos mezclados en el aparato vortex.

La figura 22 muestra cómo fue colocada las tiras de flujo reactivo (LFA) en las rejillas que contenían los microtubos con los materiales analizados, se colocó la franja verticalmente y se insertó en el tubo, procurando que el extremo tocara durante todo el tiempo el extracto de la muestra.

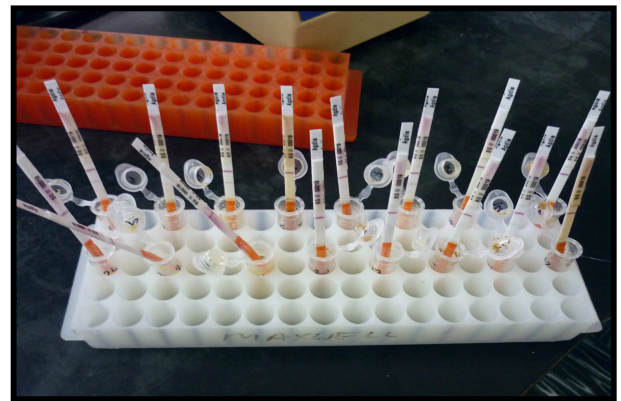


Figura 22. Muestras con las tiras de flujo reactivo.

La línea de control apareció de 3 - 5 minutos, la reacción máxima de la prueba se dio a los 30 minutos, que es cuando se retiró la prueba del extracto de la muestra.



Se colocaron las pruebas en una posición igual para verificar las líneas de control y las de prueba como se observa en la figura 23, la línea de control aseguró que la prueba funcionó correctamente, si la línea de control no apareció la prueba no fue válida.

Figura 23. Tiras alineadas para visualizar los resultados de las pruebas.

6 Resultados y discusión

Cuadro 6. Tabla resumen proteínas detectadas en concentrados animales y cereales de consumo humano.

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra | Proteínas Detectadas |
|----------------|--------------------|-----------------|---|
| Areca | Ponedoras Fase II | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Areca | Finalizador Cerdos | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Purina | Aves Iniciador | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Purina | Bovino Lechero | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). |

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra | Proteínas Detectadas |
|-------------------------|-------------------------|-----------------|---|
| Purina | Cerdos Jamonina Engorde | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Molino Santa Ana | Pollito Crecimiento | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| La Granja | Pollos Inicio | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Concentrados Nacionales | Tilapia | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry34Ab1 |
| Del Prado | Bovino Lechero | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F |

| Casa Comercial | Nombre de Muestra | Tipo de Muestra | Proteínas Detectadas |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|---|
| Aliansa | Pollos Crecimiento | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Aliansa | Cerdos Vitacerditos | Concentrados | <ul style="list-style-type: none"> • Bt-Cry1Ab/1Ac • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry1F • Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab • Bt-Cry34Ab1 |
| Ayuda Internacional (España) | Vitacereal | Atol | <ul style="list-style-type: none"> • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). |
| Harina 13 Cereales | Harina 13 Cereales | Atol | <ul style="list-style-type: none"> • Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac). |
| Nestle | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |
| Binestarina | Binestarina | Atol | <ul style="list-style-type: none"> • RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). • Bt-Cry34Ab1 |
| Maseca | Masa de maíz | Harina | ----- |
| Kellogg's | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |
| Sulí | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |
| Gran Día | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |
| Excellen't | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |
| Quaker | CornFlakes | Hojuelas de Maíz | ----- |

Fuente: Elaborada por la autora.

6.1 Concentrados de consumo animales

En lo que respecta a los concentrados para animales se encontró que existe la presencia de varias proteínas modificadas, según Manzur, 2009 la mayoría de los productos genéticamente modificados que ingresan al país son para la industria avícola y pecuaria, esto explica la presencia de estas en los materiales. Guatemala hasta el mes de mayo del año 2011 reportó la importación de 12,834 toneladas métricas de maíz blanco al país, según MAGA, 2011 para la fecha antes mencionada existen 9 empresas inscritas las cuales tienen asignadas la importación de 21,890 TM de maíz blanco al país, las empresas destacadas son Maseca, Derivados del Maíz de Guatemala y Agroimportaciones S.A., esto solo hace referencia al uso de posibles organismos modificados en concentrados para animales.

A continuación en la figura 24 se exponen los resultados y la discusión las pruebas realizadas en esta investigación.

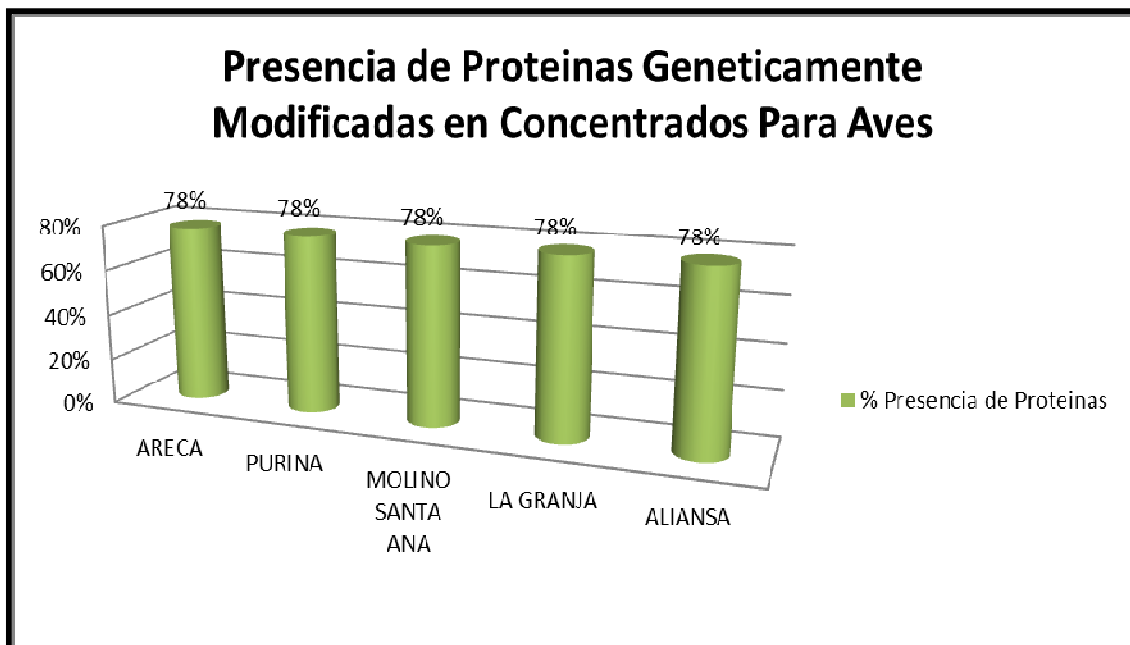


Figura 24. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para aves.

Fuente: Elaborada por la autora.

En la figura 24, se puede observar los porcentajes de la presencia de proteínas modificadas en los concentrados de aves, se presenta un 78% del total de las proteínas analizadas, en las 5 marcas examinadas se encontraron las mismas proteínas (Cuadro 7), de las cuales se pueden destacar la presencia de las proteínas Bt-Cry1Aa/1Ac, Bt-Cry1F que aportan resistencia a insectos del orden Lepidóptera en diferentes géneros como *Peris sp.*, *Heliothis sp.*, *Agrotis sp.*, *Diatraea sp.*, *Spodoptera sp.*, entre otros.

Así mismo se reportó la presencia de las proteínas CP4 EPSPS y Bt-Cry43Ab1 que proveen resistencia al glifosato ingrediente activo de los herbicidas inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos, y resistencia a los ataques de larvas del orden Coleóptera y de género *Diabrotica sp.*

Cuadro 7. Resultados concentrados para aves.

| Concentrados | Bt- Cry1Ab/1Ac | Bt- Cry2A | Bt- Cry1Ab/1Ac | CP4 EPSPS | Bt- Cry1F | Bt- Cry3Bb1 | Bt- Cry1Ab | Bt- Cry34Ab1 | mBt- Cry3A |
|---------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| ARECA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| PURINA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| MOLINO SANTA ANA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| LA GRANJA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| ALIANSA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

** Donde 1 es positivo y 0 es negativo.

Fuente: Elaborado por la autora.

En esta ocasión cabe mencionar que ninguno de los materiales presentó la proteína mBt-Cry3A que suministra resistencia a los ataques de insectos género *Drosophila sp.*

Por lo antes mencionado los concentrados elaborados para la industria avícola que se evaluaron en esta investigación, presentan proteínas genéticamente modificadas que pueden provenir de materias primas importadas por las empresas que los elaboran, lo cual rectifica que no existe ningún tipo de regulación para el uso de estos materiales dentro del país.

Se observa en la figura 25, la presencia de proteínas modificadas y su porcentaje en los concentrados de cerdos, en este caso se analizaron 3 marcas, que presentan diferencias entre ellas. La marca ARECA posee menor presencia de proteínas modificadas presentando el 78% de las proteínas analizadas, siendo estas Bt-Cry1Ab/1Ac, Bt-Cry1F, Bt-cry3Bb1, Bt-Cry34Ab1. Dichas proteínas le confieren a los cultivos resistencia a los ataques de insectos de los órdenes Lepidóptera y Coleóptera.

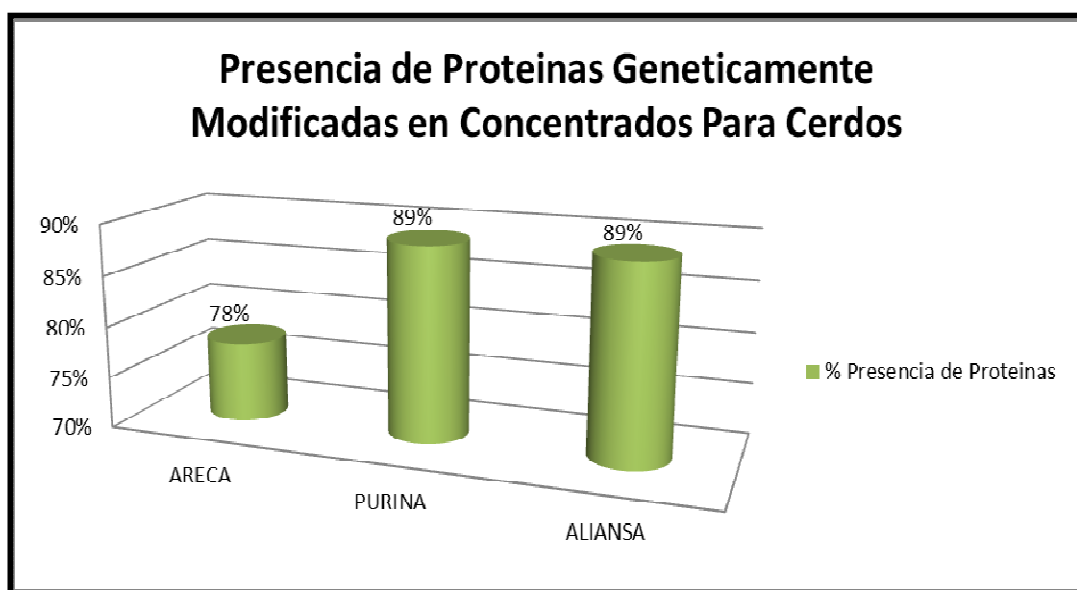


Figura 25. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para cerdos.

Fuente: elaborada por la autora.

El material de la marca ARECA no presentó la proteína Bt-Cry2A como se observa en el cuadro 8, esta proporciona resistencia a ataques de insectos del orden Díptera, por lo cual presenta un menor porcentaje que las otras dos marcas analizadas, al igual que los concentrados de aves los concentrados de cerdos no presentaron la proteína mBt-Cry3A específica para el género *Drosophila sp.*, por el contrario todos presentaron la proteína CP4 EPSPS que aporta resistencia al ingrediente activo de herbicidas glifosato.

Cuadro 8. Resultados concentrados para cerdos.

| Concentrados Cerdos | Bt- Cry1Ab/1Ac | Bt- Cry2A | Bt- Cry1Ab/1Ac | CP4 EPSPS | Bt- Cry1F | Bt- Cry3Bb1 | Bt- Cry1Ab | Bt- Cry34Ab1 | mBt- Cry3A |
|---------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|
| ARECA | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| PURINA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| ALIANSA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

** Donde 1 es positivo y 0 es negativo.

Fuente: Elaborado por la autora.

Al igual que los concentrados de la industria avícola la industria porcícola también presentó diversas proteínas genéticamente modificadas, según lo descrito por Manzur, 2009 la importación de materias primas es el primer factor por el cual se presentan OGM en estos materiales.

La variación en los porcentajes de presencia de proteínas genéticamente modificadas en los materiales analizados puede corresponder al hecho de que la marca que presenta el menor porcentaje es una marca nacional por lo que es posible que esta no utilice cantidades iguales de las materias primas importadas que las otras dos marcas evaluadas.

Para el caso de los concentrados bovinos se analizó 2 materiales de la marcas PURINA y DEL PRADO, estas presentaron diferentes tipos de proteínas modificadas como se presenta en el cuadro 9, en la marca PURINA se encontró la presencia de 2 proteínas modificadas Bt-Cry2A que proporciona resistencia a ataques de insectos del orden Díptera y CP4 EPSPS que proporciona resistencia al ingrediente activo glifosato observando así un 22 % de la presencia de proteínas modificadas analizadas.

Cuadro 9. Resultados concentrados bovinos.

| Concentrados Bovinos | Bt- Cry1Ab/1Ac | Bt- Cry2A | Bt- Cry1Ab/1Ac | CP4 EPSPS | Bt- Cry1F | Bt- Cry3Bb1 | Bt- Cry1Ab | Bt- Cry34Ab1 | mBt- Cry3A |
|----------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|
| PURINA | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DEL PRADO | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

** Donde 1 es positivo y 0 es negativo.

Fuente: Elaborado por la autora.

En contraste se puede observar en la figura 26, que el material de la marca DEL PRADO presentó el 56% de la presencia de las proteínas analizadas ya que contiene las mismas 2 proteínas ya antes descritas y las proteínas Bt-Cry1ab/1Ac y Bt-Cry1F que confieren resistencia a ataques de los insectos del orden Lepidóptera.

Ninguno de los dos materiales de concentrados bovinos presento proteínas para la resistencia de ataques de insectos del orden Coleóptera.

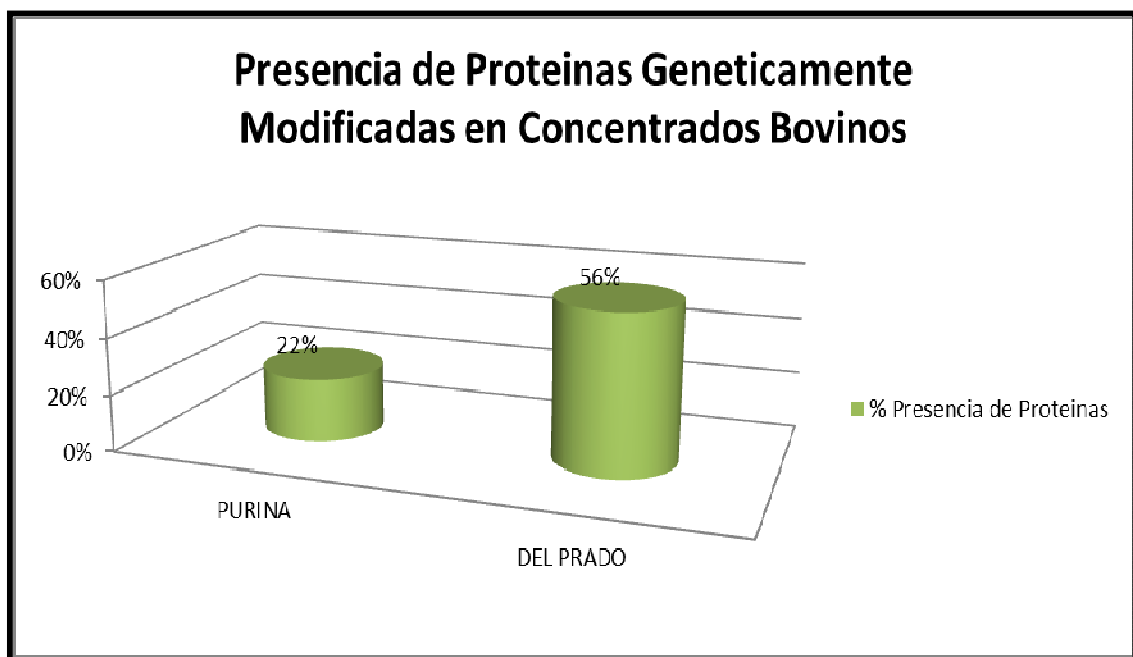


Figura 26. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados bovinos.

Fuente: Elaborada por la autora.

En la industria pecuaria se tienen datos que no solo en alimentos se están utilizando OGM según Manzur, 2009 Panamá aprobó el uso de hormonas de crecimiento bovino, esto explica de alguna manera la presencia de estos organismos en la cadena alimenticia, efecto nuevamente de la importación de productos sin análisis de inocuidad.

Para los concentrados de peces solo se evaluó un material CONCENTRADOS NACIONALES, se observa en la figura 27, el 11% de la presencia de las proteínas modificadas, concentrados nacionales contiene la proteína modificada Bt-Cry34Ab1 que provee resistencia a los ataques de insectos del orden Coleóptera en el género *Diabrotica sp.*, este material no presentó proteínas para la resistencia de ataques de insectos Lepidópteros en ningún evento como se presenta en el cuadro 10, tampoco presentó la presencia de la proteína que proporciona resistencia al glifosato CP4 EPSPS.

Cuadro 10. Resultados concentrados para peces.

| Concentrados Peces | Bt-Cry1Ab/1Ac | Bt-Cry2A | Bt-Cry1Ab/1Ac | CP4 EPSPS | Bt-Cry1F | Bt-Cry3Bb1 | Bt-Cry1Ab | Bt-Cry34Ab1 | mBt-Cry3A |
|-------------------------|---------------|----------|---------------|-----------|----------|------------|-----------|-------------|-----------|
| Concentrados Nacionales | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

** Donde 1 es positivo y 0 es negativo.

Fuente: Elaborado por la autora.

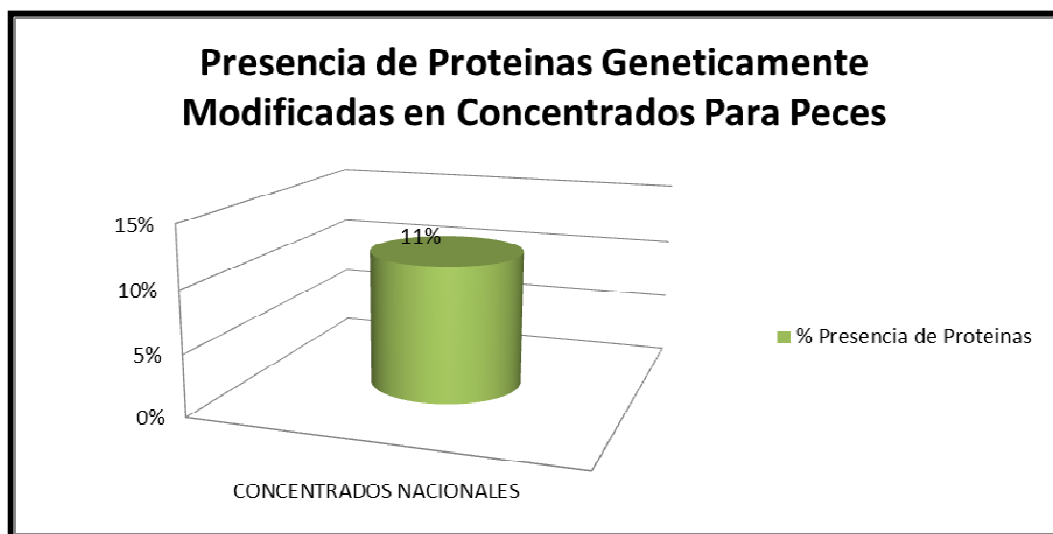


Figura 27. Gráfica de la presencia de proteínas genéticamente modificadas en concentrados para peces.

Fuente: Elaborada por la autora.

En el material concentrado nacional se observa la presencia de una proteína modificada, esto explica que de alguna manera las materias primas que se utilizaron para la elaboración de este concentrado están contaminadas por material que se considera ilegal en el país, sin tener ningún tipo de control sobre el uso del mismo.

Se analizaron un total de 11 concentrados de consumo animal, los cuales proporcionaron diferentes resultados, en la figura 28, se presentan los porcentajes de las proteínas analizadas dentro de todos los materiales de concentrados, como se muestra en la misma se puede notar que ningún material de concentrados presentó la Proteína mBt-Cry3A específica para la resistencia a ataques de insectos de género *Drosophila sp.*, se visualiza también que la proteína CP4 EPSPS es la que posee mayor presencia en los concentrados animales con el 91% de presencia en las pruebas realizadas.

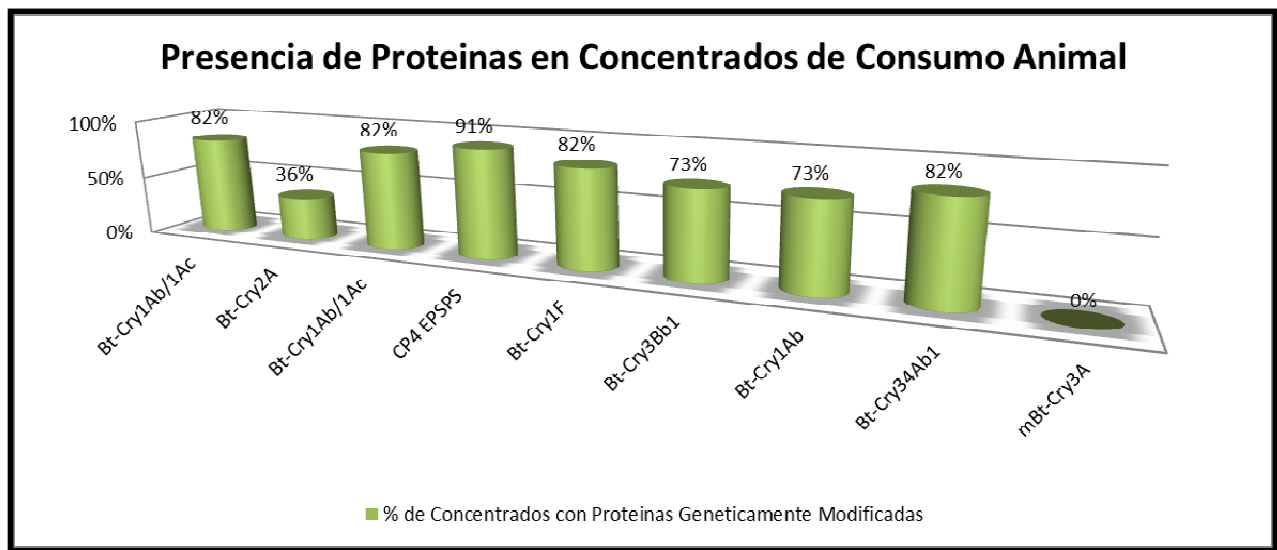


Figura 28. Gráfica Presencia de proteínas en concentrados de consumo animal.

Fuente: Elaborada por la autora.

La proteína Bt-Cry2A tiene un 36% de presencia dentro de los materiales de concentrados animales, esta proteína proporciona resistencia ataques de insectos del orden Díptera pero no es específica como mBt-Cry3A.

Las proteínas que suministran resistencia a insectos del orden Lepidóptera Bt-Cry1Ab/1Ac, Bt-Cry1F, poseen un 82% en los concentrados animales, Bt-Cry1F es específica para géneros como *Diatraea sp*, *Agrotis sp.*, y *Spodoptera sp.*, mientras que Bt-Cry1Ab/1Ac es de amplio espectro. Proteínas que proporcionan resistencia a ataques de insectos del orden Coleóptera presentan un 73% de presencia en los materiales, estas son Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry34ab1, esta última presenta un 82% ya que es específica para insectos del género *Diabrotica sp.*

6.2 Cereales de consumo humano

Según la alianza de protección a la biodiversidad Nicaragua, 2005 se han introducido ilegalmente OGM en países pobres como (Bolivia, Ecuador, Guatemala, Nicaragua entre otros), con dietas basadas en alto consumo de cereales.

IICA, 2008 cita que PMA siendo un programa de Naciones Unidas no distribuye alimentos inocuos, los canales de ingreso son las importaciones de granos o productos procesados para consumo humano.

En nuestro país el mayor distribuidor de semillas genéticamente modificadas es a través de la ayuda alimentaria por los diversos programas presentes en el país IICA, 2008.

Se consumen alimentos transgénicos importados de EE.UU. y Argentina, según lo que reporta Manzur, 2009 las empresas importadoras de cereales utilizan materia prima de cultivos de maíz y soya transgénicos para la elaboración de alimento humano y animal.

También se reportó la introducción ilegal a través de Ayuda alimentaria por semillas, Alimentos procesados que contienen trazos de organismos genéticamente modificados de los cultivos de soya y maíz (Manzur, 2009).

Manzur, 2009 cita la presencia de organismos genéticamente modificados en la cadena alimenticia, esto producto de las importaciones que se realizan de productos sin análisis de inocuidad, lo cual expresa la falta de control sobre el uso de estos organismos en lo que respecta a la ayuda alimentaria, ya que esta pasa por las fronteras de nuestro país y es distribuida por organizaciones internacionales a través de diversos programas sin ningún tipo de análisis que pueda confirmar el uso de los organismos genéticamente modificados en los mismos.

En Centro América, Honduras es el único país que ha autorizado el cultivo de OGM para uso comercial, después se encuentra Costa Rica que tiene 8 cultivos autorizados solo para fines de experimentales y de exportación. Según Manzur, 2009 en Guatemala se han denunciado el uso de tomate genéticamente modificado, algo que no se ha podido ni confirmar ni desmentir ya que no se cuenta con registros sobre el tema.

La Figura 29 exhibe los resultados para los materiales de cereales analizados en esta investigación, se analizaron 10 materiales de los cuales se puede distinguir que solamente 3 del total presentaron proteínas modificadas, estos materiales son vitacereal, harina 13 cereales y bienestarina, para el caso de vitacereal que es un material procedente de ayuda internacional por la embajada Española presentó la proteína CP4 EPSPS con el 11% de presencia, está identificada para proporcionar resistencia al ingrediente activo glifosato, específico de los herbicidas inhibidores de la síntesis de aminoácidos aromáticos.

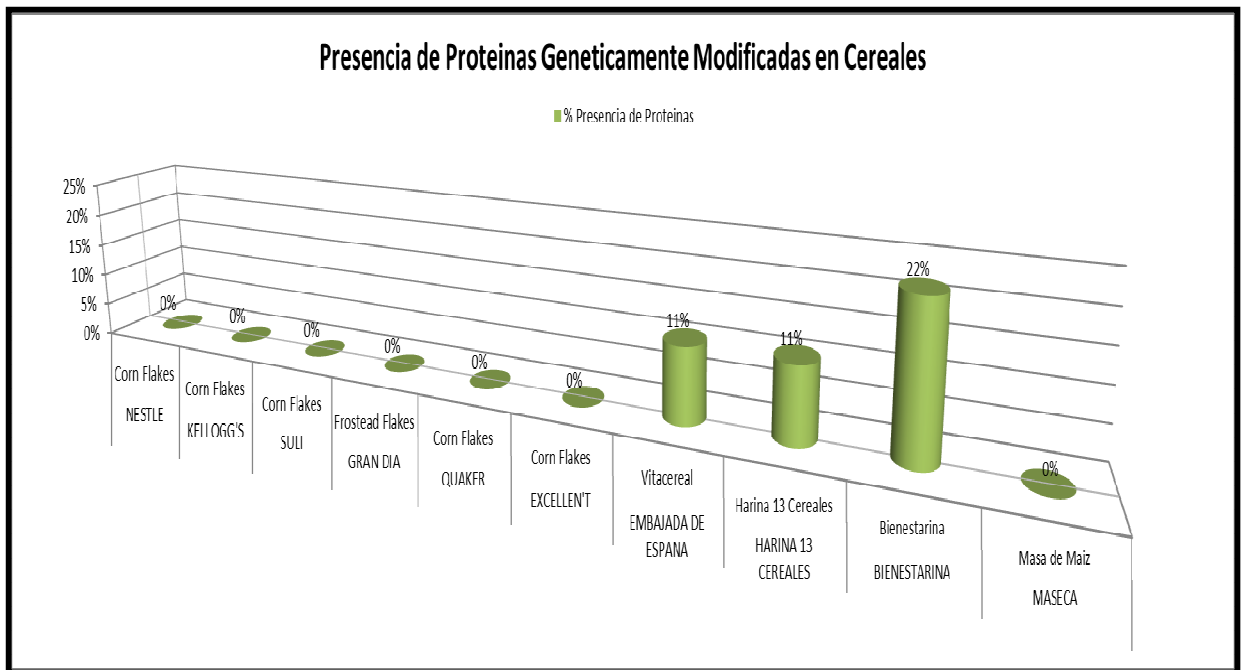


Figura 29. Gráfica Presencia de proteínas genéticamente modificadas en cereales.

Fuente: Elaborado por la autora.

El material harina 13 cereales demuestra la presencia de la proteína Bt-Cry2A, esto se puede observar en el cuadro 11, esta proteína le confiere al cultivo resistencia a ataques de insectos del orden Díptera, representado con el 11% de la presencia del total de proteínas analizadas.

Cuadro 11. Resultados cereales de consumo humano.

| Cereales | Bt- Cry1Ab/1Ac | Bt- Cry2A | Bt- Cry1Ab/1Ac | CP4 EPSPS | Bt- Cry1F | Bt- Cry3Bb1 | Bt- Cry1Ab | Bt- Cry34Ab1 | mBt- Cry3A |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Vitacereal (EMBAJADA DE ESPAÑA) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HARINA 13 CEREALES | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NESTLE Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BIENESTARINA | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| MASECA Masa de Maiz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KELLOGG'S Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SULI Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GRAN DIA Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| QUAKER Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EXCELLEN'T Corn Flakes | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

** Donde 1 es positivo y 0 es negativo.

Fuente: Elaborado por la autora.

Para el caso de bienestarina se muestra un 22% de la presencia de proteínas genéticamente modificadas, las proteínas encontradas en este material fueron CP4 EPSPS que provee resistencia al ingrediente activo glifosato. La otra proteína encontrada en este material es Bt-Cry34Ab1, proteína específica para la resistencia a los ataques de insectos del orden Coleóptera del género *Diabrotica sp.*

Cabe mencionar que de los 10 materiales analizados el 70% no presentó ninguna proteína modificada, de este 70% de los materiales, el 86% pertenece al tipo de hojuelas de maíz para consumo humano.

La proteína CP4 EPSPS fue la que logró mayor presencia en los cereales de consumo humano con el 18% del total de los mismos.

7 Conclusiones

- Actualmente Guatemala registra presencia de proteínas transgénicas en concentrados de consumo animal y cereales de consumo humano, las proteínas transgénicas que se encuentran en nuestro país pertenecen a diferentes tipos, la siguiente tabla presenta una tabla sobre los tipos de proteínas transgénicas detectadas en los productos evaluados en esta investigación:

Cuadro 12. Tabla de proteínas detectadas en la investigación.

| Casa Comercial | Nombre y Tipo Muestra | Proteínas Detectadas |
|------------------|--------------------------------------|---|
| Areca | Ponedoras Fase II Concentrados | Las proteínas detectadas en este material son: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Areca | Finalizador Cerdos Concentrados | Se encontró las siguientes proteínas en el material: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Purina | Aves Iniciador Concentrados | Las pruebas dieron positivos para las siguientes proteínas transgénicas en este material: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Purina | Bovino Lechero Concentrados | Este material dio como resultado positivo en las siguientes proteínas: Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). |
| Purina | Cerdos Jamonina Engorde Concentrados | Las proteínas encontradas en este material son: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Molino Santa Ana | Pollito Crecimiento Concentrados | Se detectó la presencia de las siguientes proteínas en este material: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| La Granja | Pollos Inicio Concentrados | Las proteínas presentes en este material son: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |

| | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Concentrados Nacionales | Tilapia Concentrados | La única proteína detectada en el material fue Bt-Cry34Ab1. |
| Del Prado | Bovino Lechero Concentrados | Este material presentó la presencia de las proteínas Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS) y Bt-Cry1F. |
| Aliansa | Pollos Crecimiento Concentrados | Las proteínas que dieron resultado positivo en este material son: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Aliansa | Cerdos Vitacerditos Concentrados | Se detectaron las siguientes proteínas en el material: Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1. |
| Ayuda Internacional (España) | Vitacereal Atol | La única proteínas detectada en el material fue RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS). |
| Harina 13 Cereales | Harina 13 Cereales Atol | Se presentó la proteína Bollgard® II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac) en el material. |
| Nestle | CornFlakes Hojuelas de Maíz | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |
| Binestarina | Bienestarina Atol | Se encontraron las proteínas RoundUpReady® (RR), (CP4 EPSPS) y Bt-Cry34Ab1 dentro del material. |
| Maseca | Masa de maíz Harina | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |
| Kellogg's | CornFlakes Hojuelas de Maíz | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |
| Sulí | CornFlakes Hojuelas de Maíz | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |
| Gran Día | CornFlakes Hojuelas de Maíz | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |
| Excellen't | CornFlakes Hojuelas de Maíz | NO PRESENTÓ PROTEINAS TRANGENICAS. |

Fuente: Elaborado por la autora.

Estas proteínas le confieren a los cultivos resistencia a ataques de insectos órdenes como lepidóptera, coleóptera y díptera, también se encontró proteínas que proveen a los cultivos tolerancia al ingrediente activo glifosato, la cual es la que que más se ha detectado en los materiales analizados en esta investigación,

- Se puede confirmar el uso de productos genéticamente modificados y sus derivados en la elaboración de concentrados de consumo animal, se detectó una variedad de proteínas transgénicas en estos materiales procesados, entre las que pueden mencionar, Bt-Cry1Ab/1Ac, Bollgard[®] II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady[®] (RR), (CP4 EPSPS), Bt-Cry1F, Bt-Cry3Bb1 y Bt-Cry1Ab y Bt-Cry34Ab1, estas son las más utilizadas en los mismos, por otro lado se concluye en esta investigación que proteínas genéticamente modificadas han sido utilizadas en algunos cereales de consumo humano, habiéndose detectado las proteínas Bollgard[®] II (Bt-Cry2A, Bt-Cry1Ab y Bt-Cry1Ac), RoundUpReady[®] (RR), (CP4 EPSPS) y Bt-Cry34Ab1 en los materiales.

8 Recomendaciones

- Realizar análisis en diferentes tipos de granos básicos para determinar si existen organismos genéticamente modificadas en estos materiales que son base alimenticia para el ser humano en nuestro país.
- Ampliar la investigación realizada para obtener mayores resultados sobre la presencia de organismos genéticamente modificados en materiales de consumo animal y humano en el país.
- Difundir información sobre el estatus actual de los organismos genéticamente modificados hacia la población, esto para tratar de informarlos sobre el tema y mostrarles la situación actual y realidad de los mismos.

9 Bibliografía

1. ADNEstructurayFunciones.wordpress.com. 2008. ADN estructura y funciones (en línea). *In* Taller en línea TIC: Claves y oportunidades para la integración pedagógica (2008, US). US. Consultado 1 jun 2011. Disponible en: <http://adnestructurayfunciones.wordpress.com/2008/08/15/adn/>
2. AINIA (Instituto Tecnológico Agroalimentario, ES). 2003. Alimentos transgénicos: principios básicos y métodos de detección (en línea). España. Consultado 11 oct 2009. Disponible en: www.ainia.es/pdf/laboratorios/alimentostransgenicos.pdf
3. ALIANSA, GT. 2008. Concentrados Aliansa home page (en línea). Guatemala. Consultado 3 oct 2009. Disponible en: <http://www.concentradosaliana.com/productos.html>
4. Alianza de Protección a la Biodiversidad Nicaragua, NI. 2005. Documento de posición Nicaragua: presencia de transgénicos en Centroamérica y El Caribe (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 19 oct. 2011. Disponible en: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/TransgenicosNicaragua2005.pdf>
5. Barahona, R. 1982. Estudio detallado de suelos de la empresa Pantaleón, S.A., Guatemala. Guatemala, Ingenio Pantaleón. 100 p.
6. Biodiversidad en América Latina y El Caribe.org. 2005. Bioseguridad y transgénicos en Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 2 oct 2009. Disponible en: <http://www.biodiversidadla.org/content/view/full/16206>
7. CEIBA (Asociación para la Promoción y el Desarrollo de la Comunidad, GT). 2003. Transgénicos ¿invadiendo las mesas Guatemaltecas?. *In* Seminario-taller los OGMs, conocimiento y sus aplicaciones (1, 2007, Guatemala). Guatemala. p. 33-39.
8. _____. 2005. Los transgénicos invaden el mercado de alimentos en Guatemala (en línea). Guatemala, Mesa Global de Guatemala. Consultado 2 oct 2009. Disponible en: <http://www.terrelibere.it/terrediconfine/index.php?x=completa&riga=0739>
9. CIISB (Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología, GT). 2010a. El protocolo (en línea). Guatemala. Consultado 6 jun 2011. Disponible en: <http://www.bchguatemala.gob.gt/el-protocolo>
10. _____. 2010b. Propuesta de ley de seguridad de la biotecnología moderna para Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 6 jun 2011. Disponible en: <http://www.bchguatemala.gob.gt/el-ciisb/propuesta-de-ley-de-seguridad-de-la-biotecnologia>

11. Corona, B; Uffo, O; Martínez, S. 2006. Detección de organismos genéticamente modificados (OGM's) en la cadena alimenticia (en línea). Revista Salud Animal 28(2):69-78. Consultado 3 jun 2011. Disponible en: http://www.censa.edu.cu/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=239&Itemid=105
12. Delta Diagnostica SRL, PE. 2009. Detección de organismos genéticamente modificados (plantas transgénicas) (en línea). Lima, Perú. Consultado 2 oct 2009. Disponible en: <http://deltadiagnostica.com/Noticias.aspx>
13. Gálvez, M. 2008. Detección y monitoreo de cultivos transgénicos (en línea). Perú. Consultado 11 oct 2009. Disponible en: <http://www.asdmas.com/documentos/cursoRAAA/segundo%20dia/Marco%20Galvez.pdf>
14. GreenPeace.org. 2009. ¿Qué sabes de los transgénicos? (en línea). Barcelona, España. Consultado 9 oct 2009. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/que-sabes-de-los-transgenicos-2.pdf>
15. IICA, CR. 2008. Agrobiotecnología en América Latina y El Caribe: estado actual de su desarrollo y adopción (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 19 oct 2011. Disponible en: http://www.iica.int/Esp/Programas/Innovacion/Publicaciones_Tel/agrobiotecnologia.pdf
16. James, C. 2010a. Reseña situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/MG en 2010 (en línea). Filipinas. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). n: http://www.ibercib.es/ibercib_documentos/ISAAA/Brief-42-Datos-Relevantes-ISAAA.pdf
17. _____. 2010b. Resumen ejecutivo: sumario no. 42: situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/MG en 2010 (en línea). Filipinas, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Consultado 26 jun 2011. Disponible en: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/executivesummary/pdf/Brief%2042%20-%20Executive%20Summary%20-%20Spanish.pdf>
18. Jayaram, B *et al.* 2009. Genome tutorial index(en línea). India, Supercomputing Facility for Bioinformatics & Computational Biology, IIT Delhi (SCFBIO). Consultado 20 oct 2009. Disponible en: <http://www.scfbio-iitd.res.in/tutorial/gene1.html>
19. Kelloggs, MX. 2009. Kellogg'shomepage (en línea). México. Consultado 3 oct 2009. Disponible en: <http://www.kelloggs.com.mx/nuestrasMarcas.html>
20. LalmagenAgropecuaria.com. 2007. Biotecnología: aumenta superficie mundial de cultivos transgénicos (en línea). México. Consultado 2 oct 2009. Disponible en: http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_sec=27&id_art=28

21. Laura, J. 2010. Código genético: estructura de los genes (en línea). Lima, Perú. Consultado 1 jun 2011. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/codigo-genetico/codigo-genetico2.shtml>
22. MAGA, GT. 2011. Situación actual de maíz blanco en Guatemala (en línea). Guatemala, Guatemala. Consultado 19 oct 2011. Disponible en: http://www.pesacentroamerica.org/pesa_ca/situacion_maiz_gt.pdf
23. Manzur, MI *et al.* 2009. La transgénesis de un continente: visión crítica de una expansión descontrolada (en línea). Alemania, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). Consultado 20 oct. 2011. Disponible en: http://www.agroeco.org/socla/pdfs/Libro%20OGM%20AL_SOCLA-RALLT_09.pdf
24. Mencos, R. 2009. La situación de los transgénicos en Guatemala (en línea). Guatemala, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA). Consultado 13 jun 2011. Disponible en: http://www.agroeco.org/socla/pdfs/Libro%20OGM%20AL_SOCLA-RALLT_09.pdf
25. Nature.ca. 2008. Using genomics: what is a GMO? (en línea). Canadá. Consultado 20 oct 2009. Disponible en: http://nature.ca/genome/03/d/30/03d_31_e.cfm
26. Pigott, CR; Ellar, DJ. 2007. Role of receptors in *Bacillus thuringiensis* crystal toxin activity. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 71(2):255–281.
27. PorqueBiotecnologia.com.ar. 2006. ¿Cómo ayuda la biotecnología a la seguridad alimentaria? (en línea). Argentina, El cuaderno de por qué biotecnología. Consultado 11 oct 2009. Disponible en: http://www.porquebiotecnologia.com.ar/educacion/cuaderno/ec_12.asp?cuaderno=12
28. Purina, GT. 2008. Purina Guatemala homepage (en línea). Guatemala. Consultado 3 oct 2009. Disponible en: <http://www.nutrimentspurina.com.gt/>
29. SIMAS (Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible, NI). 2005. Transgénicos, ¿solución a la falta de alimento? (en línea). Managua, Nicaragua. Consultado 2 oct 2009. Disponible en: <http://www.simas.org.ni/noticia.php?idnoticia=2212>
30. TecnoCiencia.es. 2003. Especial transgénicos: plantas transgénicas (en línea). España. Consultado 20 oct 2009. Disponible en: <http://www.tecnociencia.es/especiales/transgenicos/4.htm>
31. Universidad Estatal de Colorado, US. 2004. Cultivos transgénicos: introducción y guía a recursos (en línea). Colorado, Estados Unidos. Consultado 9 oct 2009. Disponible en: http://cls.casa.colostate.edu/CultivosTransgenicos/sp_how.html

32. Universidad Nacional de Córdoba, AR. 2007. Transformación de plantas (en línea). Córdoba, Argentina. Consultado 20 oct 2009. Disponible en: <http://agro.uncor.edu/~mejogeve/transformacion.pdf>
33. Valverde, BE. 2005. Flujo de genes de cultivos resistentes a herbicidas a malezas emparentadas (en línea). Uruguay. Consultado 11 oct 2009. Disponible en: www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/webseminariomalezas/articulos/valverdebern.al.pdf
34. Villalobos A, VM. 2008. Los transgénicos: oportunidades y amenazas. México, MundiPrensa. 103 p.