

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO AGRÍCOLA DE COLOMBIA.

VÍCTOR EUGENIO BARRETO PINTO

CÉSAR AUGUSTO ROMERO ARDILA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECURIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGRARIA

BOGOTÁ 2017

LA BIOTECNOLOGÍA EN EL DESARROLLO AGRÍCOLA DE COLOMBIA.

VÍCTOR EUGENIO BARRETO PINTO

CÉSAR AUGUSTO ROMERO ARDILA

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
BIOTECNOLOGÍA AGRARIA**

ASESOR

JOSÉ CAMILO TORRES PhD.

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECURIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
ESPECIALIZACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA AGRARIA
BOGOTÁ 2017**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Primeramente a ti, señor TODOPODEROSO, porque sin ti hubiese sido imposible alcanzar este logro. Gracias señor por tú amor, misericordia y bondad inmerecida. Gracias por la vida, la salud y la valentía que pusiste en nuestros corazones para llevar a feliz término esta tesis de grado. Al igual, agradecerte por los difíciles momentos, por las adversidades en la realización del mismo, ya que nos formaron como estudiantes al descubrir nuevo conocimiento en cada consulta bibliográfica. Dichas consultas nos permitieron ver el rigor que se debe tener para ser influencia en la sociedad. Deseamos tener ese mismo espíritu crítico e investigativo como lo han tenido todos y cada uno de los autores consultados.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, su comprensión en aquellos momentos donde se tuvo que disponer del tiempo dedicado a la familia para realizar consultas y encuentros con el asesor de grado. Mil gracias familia!!!

AGRADECIMIENTOS

A DIOS primeramente por su benevolencia, bondad, misericordia y por la oportunidad de recibir conocimiento de nuestra Alma Máter, ya que muy pocos tienen la fortuna de estudiar una especialización. Nosotros, gracias a ti, tuvimos ese honor!!

A nuestras familias, por su apoyo incondicional y comprensión.

A nuestro asesor de tesis, el profe José Camilo Torres por el acompañamiento en cada página escrita. Por trabajar hombro a hombro con nosotros, ya que no fue solo conocimiento y dirección lo que recibimos, también fue apoyo moral cuando el cansancio aparecía. Mil gracias profe!!!

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por sus instalaciones, cuerpo de docentes y administrativos. Gracias por saber impartir su conocimiento con amor, pertinencia y celeridad.

RESUMEN

Esta ponencia tiene por objetivo analizar en qué medida la biotecnología y sus diferentes técnicas propenderán por mejores ciclos productivos en el sector agrícola del país, incrementando su producción sin la utilización de insumos químicos, todo ello gracias a la combinación de la tecnología y el material biológico, garantizando en cada uno de sus procesos un cuidado y preservación del medio ambiente, haciéndolo sostenible en el tiempo.

En Colombia y el mundo se pensaba que con la creación y desarrollo de “La Revolución Verde” (utilización de insumos químicos en los procesos productivos agrícolas) la productividad de cada uno de los campos agrícolas crecería y el flujo de caja del campesinado le permitiría tener una mejor condición de vida. Aunque en los primeros años se pudo evidenciar todo aquello, en los siguientes, la producción empezó a decaer y se necesitó más y más de estos insumos con la subsecuente disminución de tierras por el continuo crecimiento poblacional.

Y es que paradójicamente la disminución del área agrícola estuvo acompañada por la importación desmesurada de estas sustancias. A principios de los noventa, la importación de esta clase de sustancias alcanzó una cifra de más de 33.6 millones de dólares, pero esta cifra ascendió dramáticamente alcanzando los 80 millones de dólares a finales del mismo período. Fue la época de la insostenibilidad en cada uno de los procesos agrícolas, donde la implementación de insumos químicos estaba a la orden del día, con resultados nefastos para el sector (pérdida de productividad) sumado a problemas de tipo ambiental (contaminación de fuentes hídricas y suelos) y social (disgregación de familias producto de las deudas contraídas con bancos o particulares) (Vélez, 2004).

La mitigación del impacto ambiental y el proveer para el agricultor mejores sistemas productivos libres de contaminantes, han sido los objetivos primordiales para esta disciplina. Las técnicas biotecnológicas han permitido que el manejo integral de plagas (MIP) en el control y mitigación del daño producido por estas (enfermedades y pérdidas económicas) sean más prácticas y con mejores resultados, esto gracias al uso de la ingeniería genética, la cual a través de diferentes técnicas, entre las que se destacan el ADN recombinante, el cual, mediante manipulación genética, brinda a la especie en estudio ciertas características de interés (resistencia a antibióticos, resistencia a condiciones climáticas desfavorables), que antes carecía; mejorando sus condiciones fenológicas y por ende, las productivas (Flórez, 2013).

Si bien la biotecnología ha venido trabajando satisfactoriamente en el sector agrícola, en cuanto a las MIP; éste no ha sido el único campo de aplicación, ya que ha venido incursionando en el uso de sus tecnologías en procura de mitigar el alto impacto que han generado los diferentes desechos producto de la actividad agrícola – metales pesados-los cuales por diferentes vías de evacuación (escorrentía, percolación) van a terminar en los principales cuerpos de agua, tanto subterráneas como superficiales. Causando todo tipo de daño al ambiente y a la salud de los propios agricultores. Para ello, se han venido implementando técnicas de Fitorremediación con organismos vegetales que, gracias a su poder de absorción y fijación, han logrado retirar de las aguas los contaminantes, dándoles diferentes destinos; por un lado, disminuir su poder contaminante y por el otro, han logrado que estas sustancias sean transformadas en vapor no tóxico. Sin dejar de lado que cada uno de estos procesos no necesita de gran capital para su implementación (ARGENBIO, 2007)

En conclusión, LA BIOTECNOLOGÍA se presenta como aquella alternativa que busca la consolidación de un mercado, de una productividad con los mejores estándares de calidad, a bajo

costo, teniendo siempre presente el cuidado y la preservación del medio ambiente y del campesino.

En función de los problemas aquí presentados, la metodología presentada es de orden cualitativa – análisis de documentos secundarios bibliográficos relacionados con la biotecnología a nivel nacional e internacional y los impactos generados en los diferentes ciclos productivos en el sector agrícola.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the extent to which biotechnology and its different techniques will tend for better production cycles in the agricultural sector of the country, increasing their production without the use of chemical inputs, all thanks to the combination of technology and biological material, guaranteeing in each of its processes a care and preservation of the environment, making it sustainable over time.

In Colombia and the world it was thought that with the creation and development of "The Green Revolution" (use of chemical inputs in agricultural production processes) the productivity of each of the agricultural fields would grow and the cash flow of the peasantry would allow it to have a better condition of life. Although in the first years everything could be evidenced, in the following years, the production began to decline and more and more of these inputs were needed with the subsequent decrease of lands due to the continuous population growth.

And it is that paradoxically the decrease of the agricultural area was accompanied by the excessive importation of these substances. In the early nineties, the import of this class of substances reached a figure of more than 33.6 million dollars, but this figure rose dramatically reaching 80 million dollars at the end of the same period. It was the time of unsustainability in each of the agricultural processes, where the implementation of chemical inputs was the order of

the day, with disastrous results for the sector (loss of productivity) added to problems of environmental type (contamination of water sources and soils) and social (disintegration of families as a result of debts owed to banks or individuals) (Vélez, 2004).

The mitigation of environmental impact and providing the farmer with better production systems free of contaminants, have been the primary objectives for this discipline.

Biotechnological techniques have allowed that the integral management of pests (MIP) in the control and mitigation of the damage produced by these (diseases and economic losses) are more practical and with better results, this thanks to the use of genetic engineering, which through different techniques, among which are the recombinant DNA, which, through genetic manipulation, gives the species in study certain characteristics of interest (resistance to antibiotics, resistance to unfavorable climatic conditions), which previously lacked; improving its phenological conditions and, therefore, the productive ones (Flórez, 2013).

Although biotechnology has been working satisfactorily in the agricultural sector, in terms of IPM; This has not been the only field of application, since it has been venturing into the use of its technologies in order to mitigate the high impact generated by the different wastes resulting from agricultural activity - heavy metals - which by different evacuation routes (runoff, percolation) will end up in the main bodies of water, both underground and superficial. Causing all kinds of damage to the environment and the health of the farmers themselves. For this, they have been implementing techniques of phytoremediation with plant organisms that, thanks to their power of absorption and fixation, have managed to remove pollutants from the water, giving them different destinations; on the one hand, to diminish its polluting power and on the other, they have achieved that these substances are transformed into non-toxic vapor. Without leaving aside that each of these processes does not need big capital for its implementation (ARGENBIO, 2007)

In conclusion, BIOTECHNOLOGY is presented as an alternative that seeks the consolidation of a market, productivity with the best quality standards, at low cost, always keeping in mind the care and preservation of the environment and the farmer.

Based on the problems presented here, the presented methodology is of a qualitative nature - analysis of bibliographic secondary documents related to biotechnology at national and international level and the impacts generated in the different productive cycles in the agricultural sector.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. GENERAL	3
2.2. ESPECIFICOS	3
3. LA BIOTECNOLOGÍA.....	4
3.1. Historia de la Biotecnología Agraria en el Mundo	6
.....	6
3.2. La Biotecnología en Colombia.....	13
3.3 Investigación en Biotecnología en Colombia	18
3.4. Principales Aplicaciones de la Biotecnología Agraria.....	21
3.4.1. <i>Cultivo de tejidos vegetales</i>	21
3.4.2. <i>Tecnología del ADN</i>	22
3.4.3. <i>Biobalística</i> ,	23
3.4.4. <i>Estuches de diagnóstico</i>	23
3.4.5 <i>Nuevas variedades</i> ,	23
3.5. Aplicaciones Biotecnológicas Implementadas en Colombia	24
3.6. Aspectos Económicos, Sociales, Políticos con respecto a la Biotecnología en el País. 25	
3.6.1. <i>En el aspecto social</i>	26
3.6.2. <i>En el tema político y normativo</i>	27

4.	ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM) EN EL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO Y EL MUNDO.....	29
4.1.	Ventajas.....	29
4.1.1.	Mayor resistencia a agentes externos:.....	29
4.1.2.	Animales más productivos:.....	29
4.1.3.	Rehabilitación de tierras degradadas o menos fértiles:.....	30
	Rehabilitación biológica:.....	30
4.2.	Organismos Genéticamente Modificados y la Sociedad Colombiana.....	30
4.2.1.	Posibles Riesgos de la Implementación de OGM según grupos opositores	31
4.2.1.1.	<i>Alergias</i> ,.....	32
4.2.1.2.	<i>Efectos negativos en especies no objetivo</i>	32
4.2.1.3.	<i>Aumento de propiedades invasivas de malezas</i>	32
4.2.1.4.	<i>Resistencia de insectos</i>	33
4.3.	OGM. Hambre y Desnutrición.....	35
5.	BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA.....	38
5.1.	Los Bioinsumos	38
5.1.1.	Agentes biológicos para el control de plagas:.....	41
5.1.1.2.	Nematodos <i>entomopatógenos</i>	41
5.1.1.3.	<i>Parasitoides</i> ,.....	42
5.1.1.4.	<i>Depredadores</i>	42

5.2. Inoculantes biológicos.....	43
5.2.1. <i>Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno</i>	43
5.2.2. <i>Bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno</i>	43
5.2.3. <i>Microorganismos solubilizadores de fosfatos,</i>	43
5.2.4. <i>Microorganismos transformadores de materia orgánica,</i>	43
5.3. Biorremediación.....	43
5.3.1. Biorremediación en Colombia	45
5.4. Fitorremediación	46
6. NORMATIVIDAD.	49
6.1. Normatividad Colombiana en Bioseguridad	51
Nuevo código penal:	51
6.1.1. LEY 599 DEL 2000	51
6.1.1.1. <i>Artículo 328:</i>	51
6.1.1.2. <i>Artículo 329:</i>	51
<i>Artículo 330:</i>	51
6.1.1.3. <i>Artículo 331:</i>	51
6.1.1.4. <i>Artículo 332:</i>	51
6.1.1.5. <i>Artículo 334:</i>	51
6.1.1.6. <i>Artículo 339:</i>	51
6.2. LEY 740 DE 2002:.....	52

6.2.1. Decreto 4525:.....	52
6.3. Regulación del Sector Agropecuario	53
6.3.1. Decreto 2142/92:	53
6.3.2. Ley 101/93:.....	53
6.3.3. Decreto 1840/94:	53
6.4. Agricultura	53
6.4.1. Acuerdo 00013 del 22 de diciembre de 1998.....	53
6.4.2. Resolución ICA 3492 de 1998:	53
6.5. Normatividad Ambiental Colombiana y Los OGM's.....	54
6.5.1. Ley 99/93:.....	54
6.5.2. Ley 165/94:.....	55
7. CONSIDERACIONES.....	55
8. BIBLIOGRAFÍA.....	58

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Cristóbal Colón.....	6
Figura 2 Luis Pasteur.....	6
Figura 3. Gregor Mendel.....	7
Figura 4. Watson y Crick.....	7
Figura 5. Transformacion de <i>E. coli</i> con plasmidos recombinantes.....	7
Figura 6. Tomate Flavr-savr.....	8
Figura 7. Algodón Bt.....	8
Figura 8. Resistencia de planta a insecto plaga.....	9
Figura 9. Clavel azul.....	10
Figura 10. Cultivos Genéticamente Modificados en Colombia 2016.....	17
Figura 11. Agalla de corona inducido por <i>Agrobacterium Tumefasciens</i> en una planta de tabaco (A), callos embriogénicos (B), brotes (C), e inducción de raíces transformadas por <i>Trigonella foenumgraecum</i> (E); Y células en suspensión de <i>Capsicum</i> crecidas en biorreactores (F), desarrollados en el departamento de biotecnología y bioingeniería del CINVESTAV	21
Figura 12. Técnica de ADN recombinante.....	22
Figura 13. Biobalística.....	23
Figura 14. Países con mayor número de personas que enfrentan crisis alimentaria.....	36
Figura 15. Países en riesgo de sufrir hambrunas en el 2017.....	37
Figura 16. Vista macroscópica del hongo antagonista <i>Trichoderma harzianum</i>	40
Figura 17. Agentes microbiales, efecto de granulovirus de <i>Phthorimea operculela</i> sobre larvas de <i>Tecia solanivora</i>	41

Figura 18. Nematodos entomopatógenos de los géneros <i>Steinernema spp</i> y <i>Heterorhabditis spp</i>	41
Figura 19. Avispa parasitoide (<i>Trichogramma pretiosum</i>) parasitando un huevo de un lepidóptero.	42
Figura 20. Avispa parasitoide (<i>Trichogramma pretiosum</i>).....	42

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Investigación Pública y Privada para la Producción de Plantas Transgénicas en
Colombia..... 16

INTRODUCCION

El objetivo del siguiente trabajo es mostrar la biotecnología como aquella disciplina que brinda mejores alternativas de producción al sector agrícola, donde la tecnología y el material biológico son los protagonistas inmersos en cada uno de los procesos biotecnológicos. La biotecnología le brinda al productor mejores flujos de caja y al consumidor, alimentos libres de contaminantes (pesticidas, plaguicidas, herbicidas, etc.) generados por prácticas agrícolas convencionales; sin dejar de lado que las diferentes técnicas y sus procedimientos son ambientalmente amigables y sostenibles en el tiempo.

En un país como el nuestro ubicado en la zona tórrida o de confluencia intertropical permite variabilidad de climas que a su vez permite la producción de un sinnúmero de productos. Esta misma ubicación en el globo terráqueo hace que nuestro país sea uno de los más biodiversos del mundo, anfibios y aves en primer renglón y mamíferos y reptiles a renglón seguido hacen de Colombia un país mágico y exuberante por sus recursos naturales.

Pero desafortunadamente, todos estos recursos se han venido destruyendo paulatinamente por el desaforado e irracional uso de estos, especialmente con inadecuadas prácticas agrícolas y pecuarias (ICA, s.f.). Técnicas como la deforestación de grandes zonas de bosque primario para el establecimiento de monocultivos, han degradado los suelos, han dejado sin hábitat a muchas especies animales. La utilización de fertilizantes químicos para el control de plagas, malezas y enfermedades sin las debidas prácticas agrícolas, terminan por contaminar los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, generando un gran impacto en el ecosistema nativo y migratorio. Al parecer se tiene la premisa de que recursos como el agua, el suelo y la biodiversidad son inagotables y que por ende van a durar toda la vida, que son renovables, que se tendrán

permanentemente tanto para estos tiempos como para las generaciones futuras. Pero lo que no saben es que, aunque son renovables, estos necesitan de cierto tiempo para restablecerse y entrar nuevamente al ciclo de la vida. Este tipo de mecánica biológica no ha sido asimilada por quienes los explotan de manera deliberada, haciendo de este tipo de prácticas, insostenibles en un futuro no muy lejano. Esta es quizá una de las causas por las cuales la biotecnología ha entrado a formar parte importante en el desarrollo de nuevas metodologías que permitan el uso de tecnologías en beneficio del medio ambiente y del mismo ser humano (Flórez, 2013). La implementación de la biotecnología en la agricultura se fundamenta principalmente al desarrollo de estrategias y técnicas que ayuden a dar soluciones a las problemáticas sociales y económicas que enfrentan diariamente los agricultores de nuestro país. Se estima que cerca del 40% de la producción mundial se pierde por culpa de plagas y malezas (ChileBio, 2004), además de otros factores que están asociados al cambio climático, fertilidad de suelos, rendimiento, calidad nutricional y demanda alimentaria, afectan gravemente la sostenibilidad y el desarrollo del Agro Colombiano (Barítica, 2008). La biotecnología a través de investigación en biología celular y molecular, basados en la utilización de técnicas de ADN recombinante, anticuerpos monoclonales y el cultivo de células y tejidos quiere dotar a cada integrante del proceso productivo de nuevas tecnologías que le hagan más rentable, más ameno y con mejor calidad de vida, su diario vivir.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

- Realizar investigación documental con base a las implicaciones que ha tenido la biotecnología en la agricultura nacional e internacional.

2.2. ESPECIFICOS

- Conocer las diferentes entidades que trabajan en materia de investigación biotecnológica en Colombia
- Determinar las diferentes técnicas biotecnológicas y su papel en el desarrollo agrario colombiano.
- Analizar e interpretar las diferentes concepciones sociales, económicas y políticas que giran en torno a la biotecnología en Colombia
- Analizar el papel de los organismos genéticamente modificados y sus implicaciones en las nuevas formas de producción en el ámbito nacional e internacional.
- Analizar y determinar las implicaciones de la biotecnología como estrategia para derrocar el hambre en el mundo.
- Conocer la normatividad colombiana existente en materia de bioseguridad.
- Reconocer la importancia de la biorremediación como estrategia para recuperar recursos naturales renovables (agua, suelo, entre otros) necesarios para cualquier sistema productivo.

3. LA BIOTECNOLOGÍA

“La Biotecnología se refiere a toda la aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Convention on Biological Diversity, Article 2. Use of Terms, United Nations. 1992).

La biotecnología tuvo sus inicios en los años 8000 a. de C. con la fermentación llevada a cabo en el imperio egipcio cuando de manera artesanal se dio inicio a la producción de vino y queso. Posteriormente en Alemania después de la segunda guerra mundial se trabajó de manera más detallada e instrumental el proceso fermentativo, la cerveza fue uno de los productos que tuvo mayor atención (Morones, 2009). Pero la fermentación no solo fue usada en el campo industrial, ya que también tuvo repercusiones importantes en el campo de la medicina con la aparición de la primera vacuna para la humanidad, la penicilina (Morones, 2009).

Tiempo después tras muchas investigaciones el 28 de febrero de 1953 se dio el descubrimiento de la estructura del ADN a manos de Watson y Crick. Con este descubrimiento se dio inicio a la ingeniería genética, que, entre otros sucesos, pudo descubrir e interpretar el genoma que sería punta de lanza para la implementación de algunas técnicas biotecnológicas que hoy por hoy se conocen, caso clonación, terapia génica, organismos genéticamente modificados, entre otros.

Con el descubrimiento de esta nueva disciplina en la humanidad, en materia clínica los científicos han incursionado en la producción de medicamentos mediante la manipulación de microorganismos a los cuales se les ha suprimido su poder destructivo y se les ha insertado un gen con alguna característica que antes no tenía y que trae algún beneficio para el huésped (ser humano). Otro de los beneficios que trae este tipo de técnicas de ADN recombinante es la cura

de enfermedades genéticas, mediante la supresión o el parcheo de aquella secuencia génica protagonista de la enfermedad o deficiencia (Morones, 2009).

Ya en el campo agropecuario, la biotecnología siempre ha estado desde tiempos milenarios. Según la Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola (2000), “*la edad de piedra marcó la historia de la humanidad, dio lugar al nacimiento de la agricultura*” llevando al hombre a pasar de cazador-recolector a hombre agrícola como consecuencia de cambios en el clima (glaciaciones) que produjo cambios en sus actividades diarias. El hombre dejó de recoger lo que la naturaleza le ofrecía para empezar a cultivar aquello que necesitaba. Este proceso de selección originó la agricultura: la selección del terreno, semillas, frutos entre otros, dieron lugar a la primera modificación genética en organismos como resultado de un proceso selectivo; lo realizado hace 10000 años sería la punta de lanza de lo que hoy conocemos como mejoramiento genético, uno de los principios de la biotecnología.

¿Cómo funciona la biotecnología agrícola? El uso de las tecnologías con la combinación de material biológico daría lugar a un mejoramiento genético de los cultivos. Dicho mejoramiento parte de un conocimiento científico que se tiene sobre el ADN y como está estructurado. Esto le valió a la comunidad científica para dar solución a los problemas que se han venido presentando en materia agrícola. Problemas de índole fitosanitario y climático han sido los de mayor relevancia e importancia. El avance de un grupo de disciplinas tales como la biología celular y molecular, microbiología, estadística, bioquímica, ingeniería entre otras, han permitido que otra ciencia multidisciplinaria como la biotecnología moderna haga su aparición y permita la creación y desarrollo de nuevas variedades de plantas con características diferentes a las iniciales tales como: características nutricionales mejoradas, tolerancia a condiciones climáticas extremas (grado de salinidad, bajas o altas temperaturas), resistencia a ciertos herbicidas, control de plagas

entre otros. Este grupo de organismos a los que se les ha modificado su genoma reciben el nombre de organismos genéticamente modificados (OGM). El hoy de la biotecnología moderna la ubica como una disciplina que ha venido creciendo aceleradamente como resultado del desarrollo de mejores técnicas y prácticas aplicadas a los diferentes cultivos unidos al interés de la comunidad científica por propender de mejores alternativas en búsqueda de soluciones a cada problemática que presenta el sector (AGROBIO, 2009).

China en el año 1992 fue el primer país que produjo esta clase de organismos, lo hizo con una planta de tabaco a la que se le insertó ciertos genes con la capacidad de tolerar ciertos virus. Más tarde, esta clase de organismos tendrían su aparición en los EE. UU. Con una especie de tomate que se caracterizaba por madurar en un período más largo.

3.1.Historia de la Biotecnología Agraria en el Mundo

1492 - Tras el descubrimiento de América, los españoles llevaron por diferentes partes del mundo productos suramericanos como el maíz y la papa, una vez en territorio europeo, se le realizaron mejoras que permitieron adaptarlos a la fenología local (AGROBIO, 2012).



Figura 1 Cristóbal Colón. Fuente. BBC.com

1864- Con el desarrollo de la pasteurización a manos del científico francés Luis Pasteur se logra la destrucción de microorganismos que deterioraban una gran cantidad de productos (ARGROBIO, 2012).

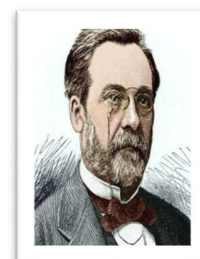


Figura 2 Luis Pasteur. Fuente. BBC.com

Siglo XIX- Mediante cruzamiento de variedades de guisantes, el monje y botánico austriaco Gregor Mendel pudo demostrar que estas diferencias entre las variedades eran atribuidas al traspaso de genes, a los cuales llamó como estructuras básicas de la vida (AGROBIO, 2012).



Figura 3. Gregor Mendel. Fuente. Tiching.com

Siglo XX Se aplican procesos de hibridación para obtener semillas mejoradas con mejores rendimientos. Esta aplicación fue implementada por Henry Wallace (AGROBIO, 2012).

1953- Watson y Crick descifran la estructura del ADN y la definen como la molécula donde esta guardada toda la información genética que se transmite de una generación a otra (AGROBIO, 2012).



Figura 4. Watson y Crick. Fuente. Dorling Kindersley RF

1973- La técnica de ADN recombinante es implementada por primera vez por los investigadores Stanley Cohen y Herbert Boyer (ARGENBIO, 2012).

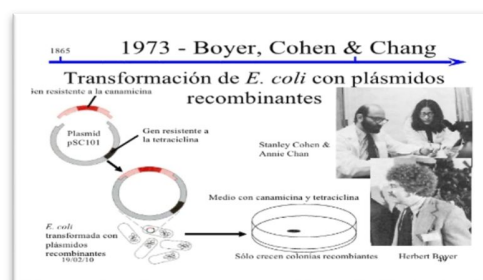


Figura 5. Transformación de *E. coli* con plásmidos recombinantes. Fuente. es.slideshare.net

1978- Bayer logra el primer organismo genéticamente modificado de la historia, se trata de una bacteria que contenía el gen de la insulina humana (AGROBIO, 2012).

1980 – Aparición de uno de los primeros productos agrícolas modificados genéticamente en la historia de la agricultura, se trata del tomate Flavr- Savr, el cual desarrollaba una maduración tardía (AGROBIO, 2012).



Figura 6 Tomate Flavr-Savr. Fuente. sciencefood.net

1987- La bacteria *Bacillus Thuringiensis* (Bt) es insertada por primera vez en productos agrícolas como el algodón (AGROBIO, 2012).

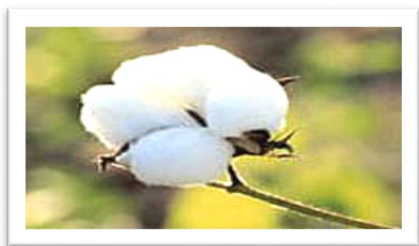


Figura 7. Algodón Bt. Fuente. BBC Mundo

1990- El algodón Bt es probado en EE. UU. (AGROBIO, 2012).

En este mismo año el proyecto GENOMA HUMANO es puesto en conocimiento a la comunidad científica y general. Con el conocimiento del genoma humano se da inicio a disciplinas como la GENÓMICA encargada del mapeo, secuenciación y análisis del genoma

humano; permitiendo la identificación y comprensión de las diferentes formas de organización de los genes y sus funciones en el organismo (*Burguete et al, 2009*). Y de la PROTEOMICA con las mismas funciones que la genómica pero enfocada en proteínas. Con el desarrollo de estas disciplinas se buscaba la posible relación existente entre en la secuenciación de los aminoácidos y los genes que las codificaban, (*Pavisic et al, 2001 & Burguete et al, 2009*). Determinando la función propia de cada proteína en el funcionamiento del organismo.

1996 – Los agricultores conocen de primera mano los beneficios de la implementación de organismos genéticamente modificados (OGM) en el control de plagas y enfermedades y malezas (AGROBIO, 2012).

1998- Se da inicio a la comercialización de organismos genéticamente modificados caso algodón Bt y maíz, los cuales son resistentes a insectos (AGROBIO, 2012).

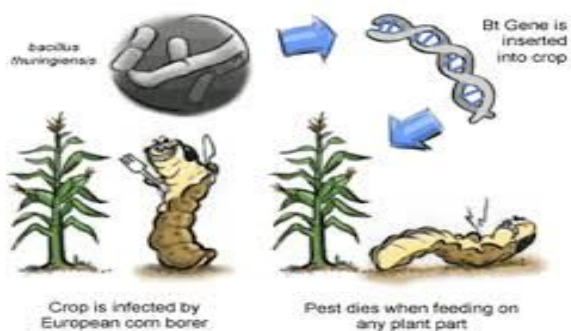


Figura 8. Resistencia de planta a insecto plaga. Fuente. Alimentostrangenicos2.blogspot.com.co

2000 – El clavel azul hace su incursión en Colombia como el primer organismo genéticamente modificado (AGROBIO, 2012).



Figura 9. Clavel azul. Fuente. elpais.com

2001- Colombia realiza pruebas de algodón Bt en la Costa Caribe, en el departamento de Córdoba. Por otra parte, en otros países latinoamericanos como Argentina, México y Uruguay (AGROBIO 2012).

2003 – Colombia extiende el cultivo de algodón a los departamentos de Tolima y Valle del Cauca. Brasil extiende a 3 millones de has de soya transgénica y se posiciona como el cuarto país en el mundo en implementar estas tecnologías (AGROBIO, 2012).

2004 - Uruguay aprueba la siembra de maíz Bt 11 y Paraguay extiende a 1.2 millones de has de soya transgénica (AGROBIO, 2012).

2007- Bajo siembra controlada el maíz transgénico hace incursión en suelo colombiano. Por su parte México alcanza las 100.000 ha con soya y algodón genéticamente modificado (AGROBIO, 2012).

2008 – Egipto y Burkina Faso se suman a la lista de países con cultivos transgénicos: maíz y algodón Bt (AGROBIO, 2012).

2009- Brasil se posiciona como el segundo país con mayor número de hectáreas sembradas con transgénicos, 21.4 millones de has. En Colombia se da vía libre para la exportación de clavel azul (AGROBIO, 2012).

2010 En este año fue galardonado al fisiólogo inglés Robert Edwards con el premio Nobel de medicina por su contribución en el tratamiento de la infertilidad humana al desarrollar terapias de fecundación in vitro (Bellver, 2012). Este tipo de terapia (reproducción asistida) se ha convertido en una de las opciones más tangibles para las parejas que buscan ser padres y que por una u otra condición les ha sido imposible concebir; cerca del 10% de las parejas del mundo entero sufren esta condición (Bellver, 2012).

2015 Aparición de la técnica CRISPR (Cluster Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) como una herramienta biotecnológica revolucionaria de origen bacteriano para edición y/o corrección genómica que trabaja o funciona a manera de tijeras moleculares con la habilidad de cortar secuencias de ADN -gracias a proteínas CAS9- específicas y permitir la inserción de otras, generando cambios en la célula de estudio de forma precisa y coordinada. Este tipo de procedimiento se presenta en dos etapas: en la primera se presenta el corte de la sección gracias al trabajo en conjunto de la ARN guía o CRISPR y la proteína CAS9 o endonucleasa; donde CRISPR lleva a CAS9 al corte de la secuencia de ADN de interés. Posteriormente, en la segunda etapa hay un proceso de reparación, llevado a cabo

mediante la inserción del gen de interés, lo que conlleva a la pérdida de funcionalidad previa que tenía el gen (Moran, 2015).

Este tipo de herramienta puede ser utilizada en la regulación de la expresión génica, etiquetar sitios específicos del genoma celular y en la identificación, modificación y corrección de secuencias de ADN defectuoso (Moran, 2015). Con el descubrimiento de esta nueva tecnología se quiere curar aquellas enfermedades que hasta el día de hoy han sido incurables.

2017 El CRISPR no solo ha sido utilizado como medio para editar o corregir el genoma. Nuevas plataformas basadas en CRISPR como es el caso de SHERLOCK (Specific High Sensitivity Enzymatic Reporter UnLOCKing) y DETECTR (DNA Endonuclease Targeted CRISPR Trans Reporter) han sido creadas por el laboratorio Feng Zhang en mayo de 2017 citado por *genética médica news* como mecanismo para detección de ADN tumoral o virus en todo tipo de muestras, siendo un importante medio para el diagnóstico de enfermedades. En la plataforma SHERLOCK no se utiliza la enzima Cas9 como en los estudios previos con CRISPR sino que en este caso la protagonista es la enzima Cas13, la cual tiene la habilidad de identificar ARN y fragmenta ARN al momento de activarla. La detección de los ácidos se lleva a cabo mediante el uso de una tirilla de papel sin la imperiosa necesidad del uso de equipos especiales, haciéndolo más práctico (*GENETICA MEDICA*, febrero de 2018). Con DETECTR la enzima protagonista es Cas12, la cual se activa en presencia de ADN diana y del ADN reportero generando fluorescencia, la cual es detectada por los científicos como positivo para presencia de ADN. Este tipo de técnica –DETECTR- ha sido utilizada en la detección de cepas del virus de papiloma humano en muestras de pacientes con diferentes tipos de virus (*GENETICA MEDICA*, febrero de 2018).

3.2. La Biotecnología en Colombia

Según la Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola (2012), Colombia para el año 2011 sembró un total de 108.568 has, de las cuales 59.239 corresponden a maíz; 49.993 a algodón y más de 4 has a clavel azul. En estos tres productos se ha venido teniendo un aumento en su producción en comparación con el año inmediatamente anterior. En cultivos de maíz por ejemplo se incrementó un 52% (37.657 has), en algodón el incremento fue del 31% (38.896). Cifras que indican que el agricultor está viendo con muy buenos ojos los beneficios de implementar este tipo de metodologías en sus campos de producción.

Con técnicas de ingeniería genética como el ADN recombinante se han podido incorporar al genoma de estos productos, nuevos genes que les permiten adquirir nuevas y mejores características que antes no tenían, permitiéndoles contrarrestar ataques de todo tipo (ambiental y biológico). En el algodón, por ejemplo, se ha sacado provecho de las virtudes que tiene una bacteria conocida como *Bacillus Thuringiensis* o Bt. Esta bacteria ha sido considerada por muchos años como el plaguicida biológico por excelencia, su ambiente natural es el suelo y su accionar básicamente se presenta en las larvas de muchos insectos plagas de los órdenes Lepidóptera, Coleóptera y díptera, entre muchos otros. Este tipo de insectos han sido enemigos mortales de cultivos como el arroz, maíz, algodón y papa, generando daños incalculables en las arcas de muchos campesinos. La toxina secretada por este microorganismo, llamada proteína cry, se activa solamente en el tubo digestivo del huésped (larvas) presentando cese en la ingesta de alimentos, parálisis del intestino, vómito, diarrea, descompensación osmótica, parálisis y finalmente, la muerte. Este tipo de toxina no daña otras especies que actúan como los enemigos biológicos de este tipo de plagas.

Por tal motivo, este tipo de plaguicida biológico es comúnmente usado como estrategia para el manejo integral de plagas (MIP) y en el manejo integrado de cultivos (MIC) dada su efectividad (Portela *et al*, 2013).

Las semillas a las que les ha incorporado la toxina cry tienen la facilidad de generar toxinas que acaban con algunas plagas y maleza. En cultivos del Tolima con la implementación de técnicas de ADN recombinante y la inserción de este tipo de toxina (Cry) logra que insectos como tierreros, comedores de follaje, picudos entre otros, que intentan atacar el algodón, mueran inmediatamente y, al ser una semilla de doble propósito evita de igual manera que la maleza inunde los campos (El Nuevo día, 2016). Estos beneficios no solo se ven en materia de control de plagas, malezas y enfermedades; también se puede observar que los materiales producidos con esta fibra son de mejor calidad. Aunque su costo sea un poco más elevado que el convencional, vale la pena pagar un poco más por tener un mejor producto (El Nuevo día, 2016). Por último, el trabajar con OGM permite un trato ameno hacia el medio ambiente, ya que se restringe el uso de insecticidas, lo que permite de igual forma que el campesino no sufra de enfermedades propias de la aplicación de estos insumos (El Nuevo día, 2016).

Según la ONG Agro-Bio, Colombia, citado por Chile-Bio (19 de noviembre, 2015), en cabeza de su directora María Andrea Uscategui “la aplicación de tecnología para los cultivos de algodón no solo ha traído beneficios al cultivo en sí, sino que también se han podido ver beneficios ambientales, ya que en los últimos diez años se ha tenido una reducción en el consumo de agua de 212,4 millones de litros” Y se espera que para los próximos 10 años el ahorro de agua alcance los 758.7 litros. Además, el beneficio también toca el número de aplicaciones, con su reducción se está logrando de igual forma una reducción el uso de maquinaria agrícola y de combustible en su utilización.

El maíz es otro de los productos a los que Colombia le ha abierto la puerta. Este producto ha sido plantado en 21 departamentos, donde el departamento del Meta fue el que adoptó más rápidamente el uso de este tipo de tecnologías, hoy cuenta con una producción de 22.030 has sembradas y en segundo lugar la región de la Orinoquía alcanza las 29.000 has sembradas de maíz transgénico (ChileBio, 19 de noviembre de 2015) Para el año 2003 se aprobó su importación para ser consumido, para el 2003 el MON 810-6 y en 2004 para el MON 603-6 y solo hasta 2006 se dio el aval para que fuera parte de la dieta de animales de granja para MON 810, NK 603 y TC 1507 (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2013). A partir de 2007 fueron autorizadas las plantaciones de maíz transgénico bajo siembra controlada. Con la implementación de este OGM se quiere generar resistencia a insectos lepidópteros y/o coleópteros y resistencia a glifosato. Los ejemplares introducidos son Cry1F, Cry1Ab, Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb1, Cry34Ab1 y Cry35Ab1 para resistencia a lepidópteros, vip3Aa20 para resistencia a coleópteros, CP4EPSPS y mEPSPS para tolerancia a glifosato y pat para tolerancia a glufosinato de amonio (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2013). Lo agricultores de maíz transgénico han logrado márgenes operacionales superiores al 35% con respecto a los cultivos tradicionales de maíz (ChileBio, 19 de noviembre de 2015). Se espera, según la directora María Uscátegui citado por Chile Bio (2015) que Colombia alcance por cultivos transgénicos cifras entre 386 millones de dólares hasta los 1.049 millones para los próximos diez años, donde el maíz seguirá siendo el principal cultivo que generará la mayor parte de los beneficios.

Respecto al tercer producto en cuestión, el clavel, Colombia es el primer exportador en el mundo. En los últimos años ha alcanzado el 53% de la producción mundial con ganancias de más de 600 millones de dólares (Portafolio, 2011). Ese primer puesto lo ha conseguido gracias a

que ha incursionado en nuevas variedades, dentro de las cuales encontramos el clavel azul. Esta especie fue el primer espécimen genéticamente modificado autorizado por el ICA en año 2000 (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2003), dicha coloración se debe a la inserción de una proteína propia de las petunias al genoma de los claveles, brindándoles una coloración azul violácea.

Las nuevas formas de sus pétalos, nuevas gamas de colores, llamativas al ojo humano y un periodo de vida más largo han hecho que los claveles colombianos estén dentro de los favoritos en el mercado internacional (Portafolio, 2011).

Una de las instituciones más importantes en materia de biotecnología ha sido el CIAT (Centro de Investigación en Agricultura Tropical), desde 1990 ha venido adelantando investigaciones en materia de variedades transgénicas en cultivos de arroz (resistentes al virus de la hoja blanca) en etapa de cultivo experimental a campo abierto, yuca (resistente al barrenador de tallo *Chilomima clarkei*), frijol (resistente a la sequía) y pastos (CIAT, 2002; Vélez, enero 2004). Otras investigaciones como las que ha venido realizado IBUN (Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional) hace más de 6 seis años centran especial interés en variedades como el tabaco transgénico resistentes a herbicidas y variedades de papa resistentes a virus (UN; CORPOICA, 2002).



Figura 10. Cultivos Genéticamente Modificados en Colombia 2016. Fuente. AGROBIO, 2012.

3.3 Investigación en Biotecnología en Colombia

Colombia cuenta actualmente con 74 grupos de investigación relacionados con biotecnología, de los cuales el 35% son universidades, el 33% pertenece al sector productivo, el 27% a centros de investigación privados y el restante, no formales (COLCIENCIAS, 2006)

De los anteriores, más del 50% de las investigaciones se han enfocado en la parte agrícola y vegetal (Ciencia, 2015). De los institutos más reconocidos en Colombia está el centro de biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, el cual, gracias a su empeño, amor y perseverancia en conseguir recursos internacionales ha logrado hacerse a tecnologías que hoy por hoy les permite realizar investigaciones biotecnológicas que están favoreciendo a campesinos y empresarios. Dichas investigaciones se han enfocado básicamente en cultivos transgénicos de arroz, papa, tabaco, frijol, tomate, maracuyá, café, caña de azúcar, arveja y flores como el crisantemo y heliconias (Macías, 1998; Vélez, 2004). Cabe resaltar que todas ellas están en etapa preliminar.

En la siguiente tabla encontraremos información relacionada con la investigación pública y privada para la producción de plantas transgénicas en Colombia.

Tabla 1. Investigación Pública y Privada para la Producción de Plantas Transgénicas en Colombia

Cultivo	Solicitante (institución)	Rasgo y Características del OGM	Estado de la investigación
Arroz	Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT	Resistencia a la enfermedad hoja blanca del arroz <ul style="list-style-type: none"> Baja expresión del gen de la nucleoproteína del virus de la hoja blanca (RHBV), clonada del RNA 3 del virus. 	Investigación en manejo confinado y en pequeña escala en campo.
Yuca		Resistencia al barrenador del tallo (<i>Chilomima clarkel</i>). <ul style="list-style-type: none"> Gen CryIA(b) <i>B. thuringiensis</i> 	Investigación en manejo confinado.

Pastos: <i>Bracharia</i> y <i>Stylozantes</i>			Investigación en manejo confinado.
Café	Federación Nacional de Cafeteros de Colombia	Resistencia a la broca del cafeto • Transformación vía Biolística, PEG y <i>A. tumefaciens</i> . - Promotor 35 S	Investigación en manejo confinado.
Caña de azúcar	Centro Nacional de Investigación en Caña de Azúcar - CENICAÑA	Resistencia al virus del síndrome de la hoja amarilla. • Gen que codifica proteína de la cápside del virus (CP ORF). Transformación vía Biobalística	Investigación en manejo confinado.
Papa	Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional IBUN	- Papa criolla (<i>Solanum phureja</i>, var. yema de Huevo). que expresan el gen de la Cápside del Virus del enrollamiento de la hoja (PLRV). - Papa var. Diacol capiro que contengan el gen C.P. y de la replicasa. • Transformación vía <i>A. tumefaciens</i> .	Clones potencialmente transgénicos en etapa de evaluación.
Maracuyá y Crisantemo	Pontificia Universidad Javeriana	Maracuyá resistente a virus, Crisantemo resistente a Hongos	Investigación en laboratorio
Algodón y arveja	CORPOICA	Plantas de algodón resistente al insecto (<i>Anthonomus grandis</i>). Plantas de Arveja resistente a insectos	Investigación en laboratorio
Papa	Corporación para Investigaciones Biológicas – CIB	Plantas de papa resistentes al ataque de las polillas • Transformación vía <i>A. tumefaciens</i> .	Investigación en laboratorio
Banano	Universidad de Antioquia	Plantas de banano resistentes a la Sigatoka negra • Clonaje de fragmentos de DNA de banano por PCR, con alta homología a genes de resistencia, que codifican para Fenilalanina Amonia liasa (PAL)	
<i>Stevia rebaudiana</i> <i>Heliconia stricta</i>	Facultad de Ciencias exactas y naturales, U. de Antioquia	Transformación genética de <i>Stevia rebaudiana</i>. Transformación genética de <i>Heliconia stricta</i>.	Investigación en laboratorio
Tomate	Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Valle.	Plantas de tomate variedad UNAPAL-Arrebles, resistentes a plagas. • Incorporación de los genes nptII, gus-intron y Cry1Ab (<i>B. Thuringiensis</i>). Transformación vía <i>A. tumefaciens</i> .	Investigación en laboratorio
Papa	Grupo de Ing. genética. Fac. de Ciencias - U. Nacional de Colombia	Plantas de papa criolla (<i>Solanum phureja</i> var. Yema de Huevo) resistente insectos • Gen que codifica para un inhibidor de proteasas (<i>mirf 2</i>) derivado del Pomelo.	Investigación en laboratorio

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Actas CTN 1999-2001; COLCIENCIAS; y memorias del “Taller Internacional de Ingeniería Genética para la Agricultura Colombiana”. Departamento de Biología e instituto de Genética de la Universidad Nacional de Colombia y CORPOICA, 2002.

Las tecnologías y componentes genéticos utilizadas en el país son las que comúnmente se realizan a nivel mundial, caso 35s y 19s ribosomal (promotores y terminadores virales) provenientes del virus del mosaico de coliflor, marcadores genéticos que confieren resistencia a antibióticos, herbicidas entre otros (Vélez, 2004). Toda la investigación que se ha venido realizado por parte de las instituciones ha sido financiada en su mayoría por parte de instituciones privadas o por convenios que tienen las instituciones con sectores como Fedepapa, Fedearroz, entre otras. Por parte del gobierno, las instituciones (solo algunas) reciben financiación de sus proyectos gracias a COLCIENCIAS (Vélez, 2004).

Según la revista semana en su columna de ciencia y tecnología (22 de mayo de 2017), el gobierno colombiano había prometido invertir cerca del 2% del PIB nacional para temas de investigación y tecnología, a la fecha solo el 0.5% del PIB ha sido destinado para estos propósitos, dejando a COLCIENCIAS al borde del abismo. Por tanto, con tanto recorte presupuestal en materia de investigación al país solo le queda invertir en materia técnica y científica en nuevas biotecnologías (alimentos transgénicos) proveniente de países industrializados, caso Alemania que invierte cerca del 2% del PIB nacional.

Aunque es bueno que Colombia entre en ese mercado (declaraciones de la directora de AGROBIO y de campesinos que han sido entrevistados) sería mejor, invertir mucho más en investigación, en un trabajo mancomunado del estado, empresarios, campesinos y los centros de investigación. Los recursos naturales están a nuestro alrededor, basta con el deseo de invertir más tecnología para que está nos permita mayor y mejor uso de los recursos naturales en procura de mejores prácticas agrícolas, beneficiando al sector productivo, comercial y el de consumo.

3.4. Principales Aplicaciones de la Biotecnología Agraria.

3.4.1. Cultivo de tejidos vegetales, en técnicas como la micropropagación, obtención de plantas libres de patógenos, preservación de bancos de germoplasma, mejoramiento genético y biosíntesis de metabolitos, además de ser herramientas útiles para investigación en áreas como la genética, fisiología y bioquímica (Fowler, 1987; Carpita & Mccann, 2000; Calva & Pérez, 2005). Con la micropropagación, embriogénesis y organogénesis (Figura 4) se pueden obtener ejemplares libres de patógenos con características uniformes, lo que les permite a sectores como el agrícola y el forestal obtener individuos uniformes valiosos tanto para la agricultura como para la industria maderera o reforestación de zonas degradadas por actividad antrópica.

En este tipo de aplicaciones se aísla una porción de material vegetal llamado “explante” y se le proporciona, mediante un ambiente aséptico y controlado, ciertas condiciones de estrés fisiológico como mecanismo de supervivencia para cuando sea puesto en su ambiente natural, éste pueda sobrevivir a las diferentes condiciones ambientales del entorno (FAO-TECA, 23 de octubre 2006). Este tipo de aplicaciones debe llevarse a cabo en un lugar apropiado como un laboratorio, el cual debe contar con: área de preparación, un área de lavado y esterilización, área de transferencia, área de observación y examen, área de crecimiento y por último área de cuarentena y de control sanitario (FAO-TECA, 23 de octubre 2006).

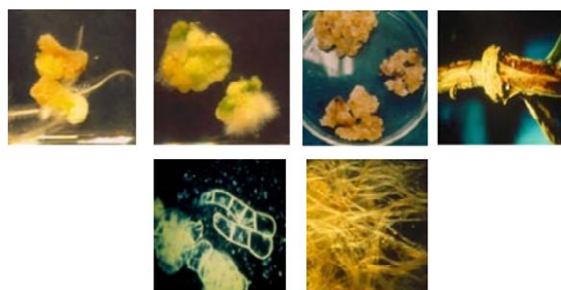


Figura 11. Agalla de corona inducido por *Agrobacterium tumefaciens* en una planta de tabaco (A), callos embriogénicos (B), brotes (C), e inducción de raíces transformadas por *Trigonella foenumgraecum* (D); Y células en suspensión de *Capsicum* crecidas en biorreactores (F), desarrollados en el departamento de biotecnología y bioingeniería del CINVESTAV (Calva y Ríos 1999, Peraza et al 2001, Martínez et al 2004).

3.4.2. Tecnología del ADN, este tipo de aplicación biotecnológica propende por el aislamiento, amplificación, modificación y recombinación del ADN (Figura 5) que permite desde el uso de marcadores y de sondas en cartografía genética y la genómica funcional y estructural hasta la identificación inequívoca de genotipos, pasando por la inserción de genes foráneos en organismos de diferente especie.

La técnica consiste en cortar fragmentos de ADN de organismos vivos de interés e incorporarlos a otros con el propósito de mejorar sus características iniciales y sacar provecho mediante su manipulación (Campos & Seguel, 2000). Cabe resaltar que los organismos vivos que han sufrido esta clase de alteraciones genéticas se les denominan Organismos Genéticamente Modificados (OGM). Como ejemplo de estos avances tenemos la inclusión de la bacteria *Agrobacterium* como vector para insertar genes de interés y su importancia en la comprensión y manipulación para la resistencia de las plantas. Al manipular esta bacteria, se quiere aislar su plásmido y cortar el segmento Ti que codifica para tumores, este gen es el que se expresa en forma de tumor en las plantas que parasita (produce la agalla de corona) y una vez cortado, en el espacio dejado por este, se inserta el gen de interés (producción de toxinas mortales para insectos), se unen con enzimas llamadas ligasas y se procede al cultivo de estas nuevas bacterias en el laboratorio, para posteriormente ser inoculadas en el individuo de estudio, quien tendrá este nuevo gen en su genoma y lo transmitirá a su progenie.

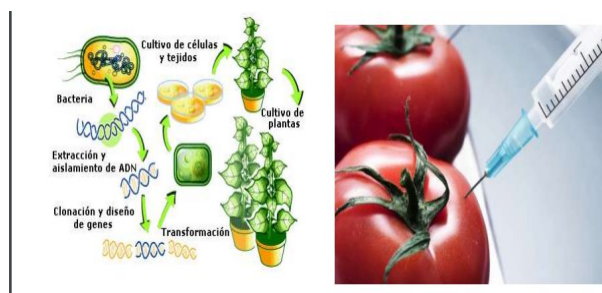


Figura 12. Técnica de ADN recombinante. Fuente. Instituto de Innovación en Biotecnología e industria

3.4.3. Biobalística, con esta técnica, la célula de la especie en estudio es bombardeada con múltiples disparos de un dispositivo parecido a un cañón con balas microscópicas de oro o tungsteno, las cuales atraviesan la pared celular, estas balas están recubiertas con los genes de interés que se desean incorporar al genoma de la especie vegetal. (FAO-TECA, 23 de octubre 2006).

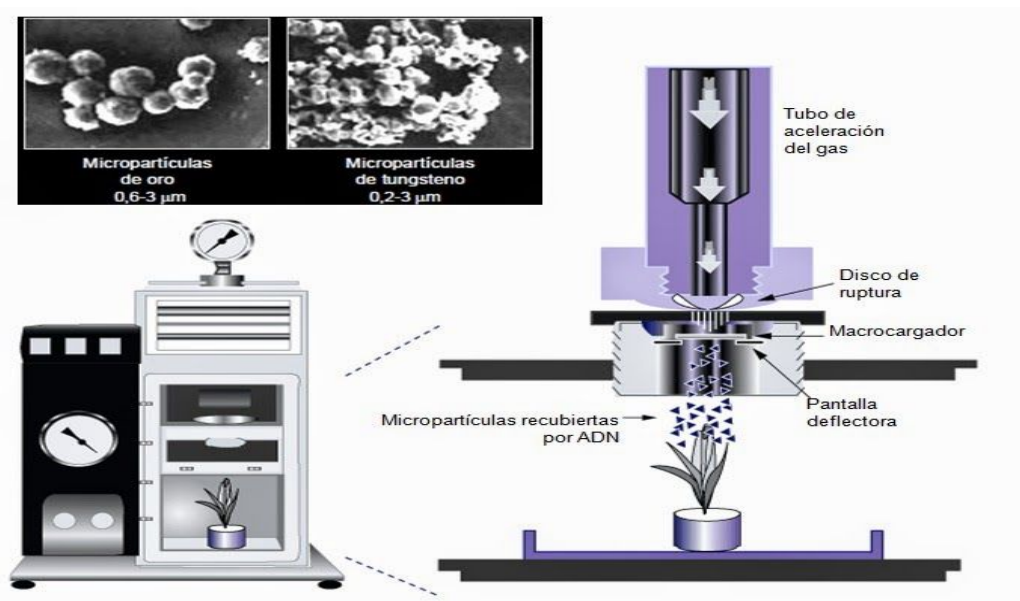


Figura 13. Biobalística. Fuente. ULUM.es. Hablando de ciencia

3.4.4. Estuches de diagnóstico, son herramientas (antígenos, anticuerpos monoclonales) producto de la biotecnología que han sido empleadas como medios de identificación y caracterización de patógenos en el campo agrícola y animal, gracias a estos productos, el hombre ha podido luego de la identificación, buscar el mejor mecanismo de neutralizar el poder destructivo de dichos patógenos (FAO-TECA, 23 de octubre 2006).

3.4.5 Nuevas variedades, aquí no hay intercambio de material genético entre organismos de distinta especie como si ocurre con las técnicas de ADN recombinante, la biotecnología busca con este tipo de aplicación mejoramiento de cultivos a través de cruzamiento selectivo entre

diferentes variedades vegetales que permitan un mayor rendimiento. (FAO-TECA, 23 de octubre 2006).

3.5. Aplicaciones Biotecnológicas Implementadas en Colombia.

El cultivo de papa es considerado como uno de los 4 más importantes del mundo con una producción anual de 300 millones de toneladas (Banerjee *et al*, 2006). En Colombia el cultivo de papa se constituye como uno de los principales cultivos en los 283 municipios del país. Además, permite la empleabilidad a más de 90.000 familias de los departamentos de Boyacá, Antioquia, Nariño y Cundinamarca, donde se concentra cerca del 85% de la producción nacional (CEVIPAPA, 2006; López & Chaparro, 2007). Para el año 2012 se cosecharon 101.681 has de papa de las 536.124 has destinadas para cultivos transitorios en el país (DANE, SIPSA, Min Agricultura, septiembre de 2013).

Pero dichos rendimientos están siendo amenazados por varias enfermedades y ataques de insectos plaga. Uno de ellos es la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Lepidoptera: Gelechiidae), generando una disminución de más del 30%. Su control ha sido mediado por aplicaciones de insecticidas con consecuencias no muy gratas para el campesino, ya que los costos de dichas aplicaciones son elevados sumados a la resistencia que esta plaga ha adquirido (López & Chaparro, 2007; Sánchez *et al*, 2000).

Para mitigar el daño ocasionado por esta clase de lepidóptero se ha venido trabajando en técnicas de cultivo de tejido *in vitro* al igual que en ADN recombinante, como se explica en el siguiente estudio realizado por el departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia y la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 2013. Donde:

Se utilizó técnicas de cultivo de tejido vegetal in vitro para reproducir 150 explantes y técnicas de ADN recombinante para la inserción del gen *gus* a bacterias *Agrobacterium tumefaciens* (Sánchez *et al*, 2000). Tanto las bacterias modificadas como los explantes fueron puestos en cultivos bajo estrictas condiciones permitiendo que los explantes fueran infectados por las bacterias. Mediante cultivo in vitro se indujo a callo los explantes infectados, para su posterior regeneración. Los resultados de la infección fueron corroborados mediante la extracción de ADN plasmídico y la posterior amplificación del gen *nptII* por PCR. Una vez fueron infectados los explantes fueron puestos en campo donde su accionar fue satisfactorio, ya que la evaluación de la toxina Cry resultó importante en la letalidad hacia *T. solanivora* (Sánchez *et al*, 2000).

3.6. Aspectos Económicos, Sociales, Políticos con respecto a la Biotecnología en el País.

La biotecnología permite que con la consecución de sus tecnologías el agricultor pueda lograr mejores rendimientos en cada uno de sus cultivos con el subsecuente ahorro de dinero en la mano de obra utilizada. Sin embargo, en un país como el colombiano donde el sector agrícola se encuentra rezagado y si se quiere, en el olvido (Tovar, 2013), donde las políticas gubernamentales solo existen para los terratenientes, olvidando al pequeño agricultor; donde, condiciones como la no existencia de un subsidio para él y su producción y la precaria infraestructura vial, hacen que sea casi que imposible que el agricultor pueda acceder a esta clase de tecnologías. Pero pese a todos los problemas anteriormente descritos, en el país se han levantado cultivos con OGM: zonas algodoneras ubicadas en los departamentos de Córdoba, Tolima y Cesar cuentan con el mayor índice de siembra con 13727, 6309 y 4673 has respectivamente. Productos como el maíz, han sido sembrados en el Tolima con siembras de

19908 has; Córdoba con 16605 y Meta con 15582 has (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2003).

Testimonios recogidos por la Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola- AGROBIO (2012), aseguran que las herramientas biotecnológicas han sido muy útiles. Tal es el testimonio recogido del señor Antonio Lafourie en el departamento de Cesar, quien es un agricultor de algodón. Él sostiene que “La biotecnología en el algodón fue el matrimonio perfecto, definitivamente fue la gran revolución”. Esto no pasa solamente con el algodón, con el cultivo del maíz también se han recogido las mismas impresiones. El Sr. Nicolás Hernández Moreno quien cuenta con 20 años de experiencia como agricultor, ha adoptado al maíz transgénico en sus tierras. Según él cree que “la tecnología en el maíz ayuda a tener un grano sano sin ser afectado por insectos, y eso sirve mucho para la comercialización del producto” y además sostiene que “ojalá la tecnología llegará para el arroz o para el sorgo ya que con el maíz hemos tenido un gran beneficio”

3.6.1. En el aspecto social, el impacto que ha tenido la implementación de los cultivos genéticamente modificados en Colombia tiene tanto detractores como defensores. Según estudio realizado por International Food Policy Research Institute IFPRI, 2011. La información limitada que reciben los aldoneros sobre el manejo del cultivo es quizá una de las desventajas de los OGM. Sin embargo, los aldoneros, en especial las mujeres afirman que trabajar con OGM les ha traído varios beneficios como lo ha sido el ahorro de tiempo y dinero. Ahorro de dinero en la contratación de mano de obra para desyerbar y para la aplicación de insecticidas. Además del tiempo que usan para compartir con sus familias, ya que el cuidado hacia los cultivos transgénicos es menos riguroso que cuando lo hacían con los métodos convencionales (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2003).

3.6.2. En el tema político y normativo, Colombia debe garantizar a su población que se cuenta con la protección, uso, transferencia y aplicación de los OGM en las diferentes regiones. Esto con el fin de dar un parte de tranquilidad a todos los sectores que están directamente implicados con los OGM. Además, los órganos de control como ICA, INVIMA y demás entidades competentes deben de articular las legislaciones preexistentes en materia de bioseguridad con las políticas de desarrollo agrícola bajo condiciones de sostenibilidad y conservación de la mega biodiversidad que envuelve a Colombia (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2003). Porque, por encima de los réditos o beneficios que se puedan conseguir de una producción con OGM, está la salud y el bienestar de todos los habitantes de una región, además del medio que les rodea. Por tanto, se debe ser riguroso con cada estudio que se haga en materia de ingeniería genética con estos productos y, una vez se tenga los estudios que indiquen que esta clase de productos no son nocivos para su comercialización, luego de un estudio juicioso, se podrá dar parte a la comunidad en general que los productos son sanos y están aptos para ser sembrados en campo y formar parte de la canasta familiar de todos los colombianos.

Para María Andrea Uscátegui, directora ejecutiva de la Asociación Colombiana de Biotecnología Vegetal (Hurtado, 2013) asegura que la biotecnología en los últimos 16 años ha contribuido a la sostenibilidad ambiental y que será pieza clave para la humanidad en vistas de afrontar temas como una mejor productividad y mayor producción para una población que viene creciendo exponencialmente y para algo que viene golpeando a la población, el cambio climático.

4. ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS (OGM) EN EL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO Y EL MUNDO.

A lo largo de este trabajo se ha venido hablando de organismos genéticamente modificados, pero ¿Qué son los organismos genéticamente modificados u OGM (siglas)?

Los organismos genéticamente modificados son aquellos individuos a los cuales se les ha modificado su genoma tras la inserción de un gen foráneo, el cual los hace inmunes o resistentes a una característica ambiental específica o a un enemigo biológico en particular (Spendeler, 2005). Dichos organismos han sido modificados con el fin de ofrecer a la humanidad mejores resultados en materia de productividad y producción, ya que, según las entidades que en este momento están a la vanguardia de este tipo de prácticas, aseguran que las regiones que adopten este tipo de técnicas estarían invirtiendo menos en productos químicos para hacerles frente a las plagas o enfermedades, lo que le generaría al campesino menor gasto y más rendimiento en sus cosechas.

China en el año 1992 fue el primer país que produjo esta clase de organismos, lo hizo con una planta de tabaco a la que se le insertó ciertos genes con la capacidad de tolerar ciertos virus. Más tarde, esta clase de organismos tendrían su aparición en los EE. UU con una especie de tomate que se caracterizaba por madurar en un período más largo.

En Norteamérica, EE. UU es el país que más produce organismos genéticamente modificados en el mundo alrededor de 73.1 millones de hectáreas (ISAAA, 2015) aumentando anualmente un 4% equivalente a 3 millones de hectáreas, seguido por Canadá que en 2010 tenía cultivado un total de 6.9 millones de hectáreas, para el 2011 la cifra tuvo un incremento en más de un millón de hectáreas en cultivos como la soja con un 46%, el maíz con un 58% y el 80% en canola

(ChileBio, mayo de 2004). A nivel suramericano Brasil y Argentina son los mayores productores con un 44.2 y 24.5 millones respectivamente en cultivos de algodón, maíz y soja. En el viejo continente, según reporte del diario la vanguardia (mayo 10 de 2017), España es el mayor productor de organismos genéticamente modificados con un 95% en comunidades como Aragón, Catalunya y Extremadura en cultivos de maíz MON-810 de la multinacional Monsanto. El total de hectáreas sembradas con vegetales transgénicos rondan las 129081 hectáreas, seguido por Portugal con 7069 has en 2016, Eslovaquia con 138 has y la Republica Checa con 75 has.

Para La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2003): plantea una serie de ventajas que tiene la utilización de los organismos genéticamente modificados, entre las cuales tenemos:

4.1. Ventajas

4.1.1. Mayor resistencia a agentes externos: Al incorporar en su genoma, gen o genes de otro ser vivo, adoptaría las características de este nuevo gen, lo que le conferiría nuevas y mejores herramientas para defenderse de enemigos ambientales y/o biológicos, permitiéndole mejores oportunidades de subsistir, donde solo el mejor adaptado, evoluciona y se mantiene.

Alimentos básicos más nutritivos: ofrecer a la comunidad en general cultivos con mejor contenido nutricional a partir de la introducción de genes que expresen aquellas falencias nutricionales, sobre todo para aquella población vulnerable. Producción de arroz dorado con alto contenido de vitamina A.

4.1.2. Animales más productivos: Introducción de genes en animales que les permita mejor producción. Ejemplo, vacas con mejor producción de leche.

Producción de cultivos alimentarios con menos tierra: Se lograría mejores rendimientos en cada una de las parcelas, optimizando así un mejor uso de las tierras y, por ende, menor impacto a bosques primarios y tierras marginales.

Los OGM podrían atenuar las repercusiones ambientales debidas a la producción de alimentos y a los procesos industriales: Al insertar genes de resistencia contra malezas, plagas y enfermedades, se restringe el uso de insumos químicos mortales no solo para el medio ambiente sino también para la salud pública.

4.1.3. Rehabilitación de tierras degradadas o menos fértiles: con la implementación de técnicas de ADN recombinante se pueden obtener organismos que soporten la salinidad y la sequía producidas por prácticas agrícolas inadecuadas.

Rehabilitación biológica: producción de microbiota que restaure aquellas condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo que fueron degradadas por malas prácticas agrícolas.

4.2. Organismos Genéticamente Modificados y la Sociedad Colombiana

Colombia desde el año 2000 ha hecho incursión en temas biotecnológicos. En esa época se empezó a experimentar con cultivos de clavel a pequeña escala, un gen de petunia que expresa coloración azul violácea le confirió al clavel dicha coloración; la cual ha sido aceptada internacionalmente. El clavel azul no es la única especie que ha sido modificada genéticamente, especies como la rosa y el crisantemo también han sido objeto de estudio bajo estas mismas características. Cabe resaltar que este tipo de prácticas en estas especies se han hecho bajo medio confinado y únicamente para exportación (Hodson de Jaramillo & Castaño-Hernández, 2003).

Aunque OGM como el clavel, el maíz y el algodón – mencionados en el aparte de biotecnología – han venido tomando auge, no son las únicas especies que han sido estudiadas por la biotecnología en el país. Entidades como CENICAÑA ha venido implementando cultivos de

caña transgénica mediante ADN recombinante, donde la especie recibe cierta tolerancia al virus del síndrome de la hoja amarilla. Este tipo de investigación se ha realizado a pequeña escala, según la resolución 3995 (ICA, 200d). Con estos estudios se quiere evaluar producción de sacarosa y rendimiento (Bonilla, 2008; Chaparro, 2015). En el año 2010 la Corporación para las Investigaciones Biológicas (CIB) con la supervisión del ICA viene adelantando investigación en OGM de papa que codifican el gen cry1Ac confiriéndole resistencia a *Tecia solanivora*, según resolución 04040 (ICA, 2010b). Dichos estudios han reportado resistencia del cultivo de papa transgénica a *Tecia solanivora* en 3 variedades de papa andina que expresan el gen cry1Ac (Chaparro, 2015; Valderrama *et al*, 2007) y estudios de expresión de la misma proteína en variedad de papa Diacol Capiro (Chaparro, 2015; Vanegas *et al*, 2010). Es de anotar que todos estos estudios cuentan con la supervisión del ICA, que llegado el caso exista un incumplimiento en los protocolos; estos serán destruidos (Chaparro, 2015).

En Colombia como en el mundo la implementación de técnicas biotecnológicas, especialmente aquellas que tienen que ver con organismos genéticamente modificados han suscitado en dudas, inseguridad y poca fiabilidad para su implementación. El poco tiempo de investigación al que son sometidos los diferentes productos y la posibilidad de contaminación genética que se podría presentar por el cruce de estos individuos modificados con sus pares convencionales, podría generar plagas resistentes e inmunes a herbicidas; lo que implicaría un aumento en la utilización de productos químicos y por ende más mano de obra.

Por otro lado, se presume, que los daños irreparables para la biodiversidad y sus ecosistemas con los OGM sería devastador, ya que toda sustancia que no forme parte de un sistema se considera foránea y por ende enemiga del ciclo ecosistémico (Martínez & Corona, 2007). Pese a que la biotecnología ha incursionado en el campo agrícola para ofrecer ventajas en materia de

productividad y producción, hay sectores de la población nacional (ambientalistas) que distan de este tipo de prácticas por considerarlas peligrosas no solo para el medio ambiente sino también para la salud pública.

4.2.1. Posibles Riesgos de la Implementación de OGM según grupos opositores (genetistas, ONG, ambientalistas, etc.)

4.2.1.1. Alergias, causadas al consumir productos genéticamente modificados, tras su consumo, se activaría una respuesta inmune del cuerpo con las proteínas contenidas en los alimentos ingeridos. Esta patología afectaría alrededor del 6% en niños y el 4% en adultos. La sintomatología va de desde afecciones en la piel, tracto gastrointestinal hasta el tracto respiratorio (revista UNAL, 2011; Singh, *et al.*, 2006)

4.2.1.2. Efectos negativos en especies no objetivo, como es el caso de los controladores biológicos de insectos plaga, los cuales se podrían ver afectados por la implementación de esta clase de técnicas. Según la revista de la Universidad Nacional (2011), se hicieron estudios sobre la incidencia del maíz Bt que ataca lepidópteros sobre las larvas de la mariposa monarca y se concluyó que sobre cultivos a gran escala de maíz Bt no produjo gran riesgo sobre este tipo de mariposas (Angharad *et al.*, 2001).

4.2.1.3. Aumento de propiedades invasivas de malezas, produciendo “supermalezas” producto de la transmisión incontrolada del gen, ya que estas especies plaga podrían cruzarse con la especie transgénica y producir este tipo de “superplaga”. Sin embargo, Garnier y Lecomte, 2006, citado por la revista de la Universidad Nacional de Colombia afirma que debido a la introgresión (movimiento de un gen entre especies mediante hibridación y retrocruzamiento) estará limitada por la presión de selección.

4.2.1.4. Resistencia de insectos, los cuales generarían algún tipo de resistencia a la amplia dispersión de los cultivos genéticamente modificados (GM), limitando la duración de la variedad (Singh *et al.*, Revista UNAL, 2011). Según reportes más de 17 especies de insectos han desarrollado resistencia a la toxina del Bt, las cuales venían siendo aplicadas por aspersión (Andow y Zwahlen, 2006; Revista UNAL, 2011). Se ha manifestado que una de las estrategias para contrarrestar esta resistencia es establecer un área de plantas no transgénicas (llamado refugio) con el firme propósito de limitar el crecimiento de individuos resistentes (Cerdeira y Wright, 2004; Revista UNAL, 2011).

4.2.1.5. Pérdida de la biodiversidad por la inclusión de los transgénicos, ya que estaría destruyendo el hábitat de la fauna silvestre de cada región, remplazo de las variedades tradicionales por las que generan mayores dividendos- caso las transgénicas- y la extinción de las semillas originales que conservan la diversidad (Iniciativa PEW sobre Alimentos y Biotecnología, 2003).

Otro de los factores que preocupa es el monopolio de las semillas, el cual afecta la libertad de cultivos administrados mediante patentes. Para nadie es un secreto que las multinacionales como Monsanto con sede en Saint Louis (Estados Unidos), tiene el control de la gran mayoría de semillas transgénicas. Su expansión se debe principalmente a la compra de los principales viveros naturales en los 5 continentes, entre ellos: Seminis, una de las empresas semilleras más importantes (Sudamérica rural, 2014). Al abarcar todo el sector viverista y semillero a nivel mundial, deja sin salida a los agricultores, quienes forzados, engañados y sobornados tienen que acceder a la compra de esta clase de semillas. Los costos de estas son excesivos sumado a su poca funcionalidad, ya que serán estériles luego de ser sembradas por primera vez, con el único fin de que el agricultor no pueda reutilizarlas y tenga que comprar nuevamente. Estas semillas

reciben el nombre de “Semillas Terminator” (Sudamérica rural, 2014). Este problema debe de verse con minucia, Colombia y los demás países productores y consumidores de OGM deben de propender por el bienestar de sus agricultores, fijando alternativas que le permita al agricultor acceder a los diferentes insumos sin inconvenientes. Por otro lado, los países deben de fijar acuerdos con las multinacionales donde prime el bienestar y la protección del agricultor, quien es en últimas la razón de ser de cada proceso productivo (Sudamérica rural, 2014).

La UICN (Unión Mundial para la Naturaleza) en agosto de 2014, como entidad competente en materia de biodiversidad afirma tener ciertas preocupaciones con relación a los OGM y su implementación. Una de ellas es la posible pérdida de biodiversidad provocada por la liberación de los OGM al medio ambiente. Por otro lado, los aparentes beneficios que tiene la implementación de estos en materia de seguridad alimentaria en el mundo, aún no han sido demostrados.

Lo que sí es claro, afirma la UICN es que se debe obrar con precaución de acuerdo a lo establecido en el principio 15 de la declaración de Río de Janeiro en materia ambiental y desarrollo y a su vez estipulado en el Congreso de Cartagena sobre la Bioseguridad y el establecimiento de los Organismos Genéticamente Modificados (UICN, 2014).

En conclusión, existen diferentes puntos de vista con base a la implementación de los OGM en el medio ambiente según la UICN:

Unos miran con recelo y desconfianza el sector gubernamental y las multinacionales que trabajan en materia científica por todo aquello que se maneja de puertas hacia adentro. Además, consideran ellos que el mundo científico es tan cambiante que lo que hoy es certeza, mañana ya no (UICN, 2014).

Otros en favor de la biotecnología afirman que la ciencia le ha brindado a la humanidad un mejor estilo de vida, ha traído grandes beneficios en todos y cada uno de los sectores donde ha hecho incursión, además creen que cada nuevo problema que afronta la sociedad, la ciencia estará en la capacidad de solucionarlo (UICN, 2014).

4.3. OGM. Hambre y Desnutrición

El Diario el ESPECTADOR, en su sección salud, cita un informe publicado por la UNION EUROPEA, USAID (Agencia Internacional para el Desarrollo de Estados Unidos) y NACIONES UNIDAS (4 de abril, 2017) en el que se afirma que el crecimiento de personas que padecen hambre es cada vez más preocupante y desalentador. Según el informe, en el año 2015 la cifra de víctimas por este flagelo alcanzaba los 80 millones de personas en el mundo y, solo en 2 años, hubo un aumento de 28 millones de personas, equivalente a la población de Perú, alcanzando los 108 millones de personas, dice la fuente.

Para las organizaciones presentes en el estudio, la seguridad alimentaria se ha venido resquebrajando como consecuencia de tres factores: el fenómeno del niño, los conflictos internos y el aumento de los precios en la canasta familiar. Un cuarto factor por considerar sería el uso irracional de los recursos naturales como el suelo, donde no solo se envenena como producto de los ciclos productivos agrícolas, sino que además las tierras con vocación agrícola están siendo sustituidas para uso residencial, debido a que la tasa de natalidad ha venido creciendo a un ritmo exponencial, pero inversamente proporcional a la oferta de suelo.

Los conflictos internos han provocado desplazamientos masivos, quienes por ponerse a salvo, dejan las comodidades y la seguridad alimentaria que le ofrecían sus tierras para aventurarse a un camino incierto y pedregoso.

Según el informe realizado por estas tres organizaciones, 6.3 millones de habitantes fueron desplazadas de su lugar de residencia, más del 50% de esta población, migraron a países vecinos, caso Irak, Yemen, Sudán del Sur, Somalia y Nigeria.

Los embates de la naturaleza se han convertido en un factor crucial que ha jugado en contra de la seguridad alimentaria para la población. El caso más reciente, el fenómeno del niño que con la oleada de calor acrecentó la sequía, afectando principalmente al sudeste de África en países como Etiopía, Madagascar, Simbawe, que dejaron un saldo de 25 millones de personas sumidas en una precaria condición alimentaria (EL ESPECTADOR, jueves 9 de noviembre).

En Centroamérica, países como Haití llevaron la peor parte, los estragos dejados por el huracán Matthew, la poca o nula infraestructura local, la miseria y la inclemente temporada de sequía provocada por el Niño dejó un saldo de 3.6 millones de haitianos padeciendo hambre.

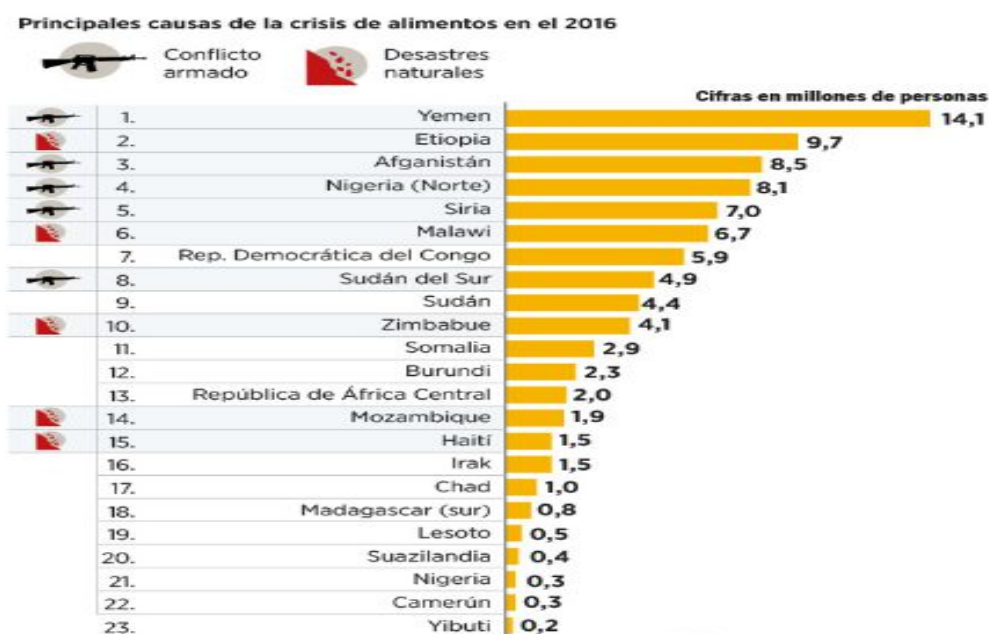


Figura 14. Países con mayor número de personas que enfrentan crisis alimentaria. Fuente. ELESPECTADOR.com

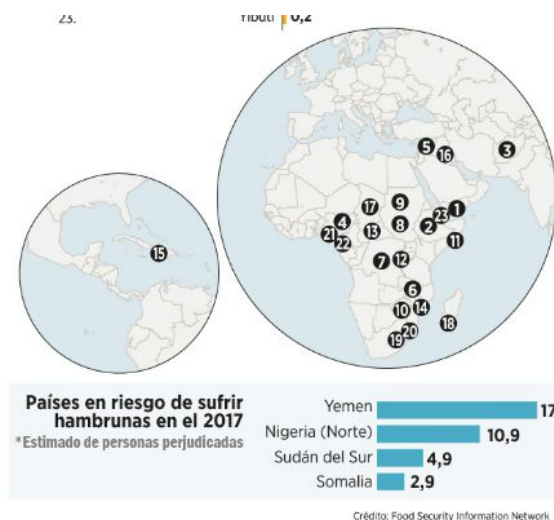


Figura 15. Países en riesgo de sufrir hambrunas en el 2017. Fuente. ELESPECTADOR.com

Con el aumento de la hambruna y el riesgo en el que está la seguridad alimentaria para la población mundial, la ciencia obliga a una responsabilidad social de los científicos, llevándolos a tener en cuenta los efectos del resultado de sus investigaciones. Su trabajo si se quiere, debería ser altruista, siempre priorizando el bien de la humanidad por encima de un bien personal o particular; sobre todo, si es para alguien que solo le importa el dinero y el poder como es el caso de las multinacionales (Monsanto, Dupont, Syngenta entre otras).

En el rol que desempeñan los científicos con la implementación de la biotecnología están puestas las esperanzas de la humanidad y por esta razón deben tener un principio moral, ideológico y político. Sus aportes científicos junto al desarrollo tecnológico por lo general deben estar enfocados a mejorar la calidad de vida de la población mundial (Pargas & De la Cruz, 2003). Pero ¿Están los científicos y la disciplina como tal en la capacidad de erradicar el hambre en el mundo?

Si a la biotecnología se le sumarán estrategias gubernamentales en las que primara la lucha por erradicar el hambre del mundo a través de la cooperación entre naciones, muy seguramente

la hambruna desaparecería. Pero esto es cosa de que cada nación ponga su granito de arena en pro del bienestar de todos aquellos quienes mueren por no tener un bocado en su mesa.

Muy seguramente la biotecnología trabajando de la mano con los diferentes entes gubernamentales lograrían minimizar en un alto porcentaje la hambruna del mundo, ofreciendo todo tipo de estrategias basadas principalmente en proveer de alimentos con altos contenidos nutricionales que velarían por el bienestar de la población más vulnerable en el mundo, sobretodo de la niñez (Chaparro, 2015). (ICA, s.f).

Uno de los mayores retos que tiene la biotecnología para el 2030 es no solo satisfacer la necesidad de alimentos sino también proveer alimentos de excelente calidad. Por otra parte, se vienen adelantando estudios en materia de vacunación, vacunas en productos como papa, tomate o bananos, con el objetivo de inmunizar la población infantil, previniendo enfermedades como cólera, hepatitis o diarrea (ARGE BIO, 2000).

5. BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA.

5.1. Los Bioinsumos

La biotecnología microbiana es denominada por sus antecedentes como “*la biotecnología tradicional*” (ARGENBIO, 2007), dado el gran rol que han desempeñado los microorganismos presentes en los diferentes procesos de fermentación, biorremediación, Manejo Integrado de Plagas (MIP) en la agricultura, entre muchos otros.

El sector agrícola es consciente que los altos costos generados por la adquisición de insumos químicos como herbicidas, fungicidas, plaguicidas y de otros productos no muy amigables con el medio ambiente y la salud de quien o quienes realizan este tipo de prácticas agrícolas - todo por obtener mejores rendimientos y ser competitivos - no están generando los ingresos suficientes y sí están ocasionando efectos negativos desde el punto de vista social y ambiental (Conway &

Pretty, 1991). La agricultura moderna no solo no elimina de manera eficaz los organismos patógenos, sino que está acabando con aquellos organismos entomopatógenos (enemigos biológicos de plagas), al afectar su capacidad de reproducción, ya que no pueden encontrar las condiciones ideales para establecerse y multiplicarse (Altieri, & Nicholls, 2000).

Colombia en el año de 1962 con la importación de ingredientes activos da inicio a la industria de los insecticidas, en el año de 1964, se empiezan a sintetizar algunos de estos componentes gracias a la tecnología que por esos años se empezaba a implementar. En el año de 1985 se sintetizan a nivel nacional los primeros herbicidas y 10 años más tarde, los fungicidas (Buitrago & Gómez, s.f.). Según estos mismos autores Buitrago & Gómez, s.f., *“Por el uso de los plaguicidas indiscriminadamente en la agricultura y en la lucha antivectorial, implican riesgos para los seres vivos y el ambiente, generando que las plagas crean resistencias, resurgimiento y efectos indeseables en especies no blanco”*.

Además, en los últimos 20 años, Colombia aumentó el uso de plaguicidas en un 360%, cifras presentadas por la Universidad Nacional de Colombia en tema salud pública en su página web agenciadenoticias.unal.edu.co, 2015, la cual afirma que campesinos productores de arroz y tomate utilizan los pesticidas más tóxicos, hasta 10 de ellos en una sola aplicación.

Este tipo de prácticas agrícolas han venido provocando intoxicaciones en la población, sobre todo al momento de ingerir los alimentos sin lavarlos y/o cocinarlos.

Los carbamatos y fosforados fueron los más encontrados en esta clase de cultivos, dichos plaguicidas inhiben una enzima – Acetilcolinesterasa - que tiene la función de los impulsos nerviosos que controlan el movimiento en las personas, alterando el sistema nervioso central; además de provocar convulsiones y dificultades en el habla y locomoción (Agencia de Noticias UN-, 12 de noviembre de 2015).

Según la profesora Diana Carolina Chávez, profesora del Departamento de Toxicología de la Universidad Nacional de Colombia, citada por Agencia de Noticias UN-2015, muchos de estos accidentes ocurren debido a la desinformación que tiene el campesinado respecto a la manera correcta de aplicar los insumos en sus cultivos. Debe existir un compromiso por parte del gobierno y las entidades especializadas en materia agrícola para acompañar a cada campesino en estas prácticas, concluye la fuente.

Ante tal situación, la biotecnología ha puesto al servicio del agricultor los bioinsumos, entendidos estos como productos de origen vegetal, 100% orgánicos, utilizados como ingredientes para optimizar la fitoprotección y permitir el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas (ICA, 2011). Este tipo de biopreparados son usados como herramientas para contrarrestar el poder destructivo de los organismos plaga, incluyéndolos como controladores biológicos dentro de los programas de control en los principales cultivos agrícolas. Existe una gran variedad de bioinsumos hechos a base de microorganismos benéficos (bacterias, hongos, virus, nematodos, protozoos y rickettsias) (Vázquez *et al*, 2012; ICA, 2011), sustancias bioquímicas, plantas o animales (artrópodos, nematodos).

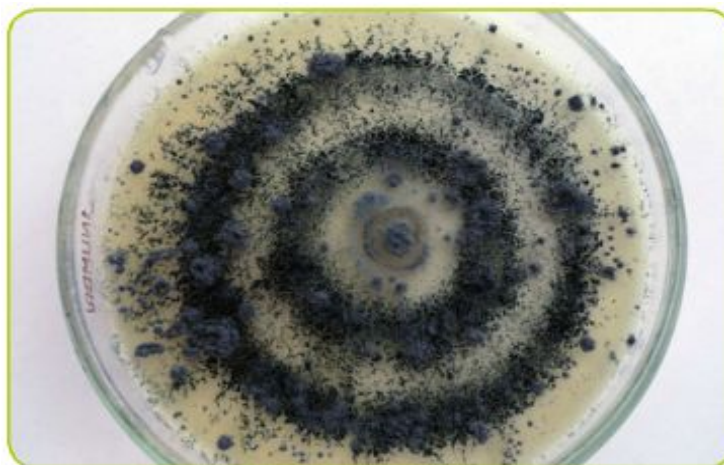


Figura 16. Vista macroscópica del hongo antagonista *Trichoderma harzianum*. Foto. Mario Andrés Va Stralthen P, 2011. Citado por ICA

Según el ICA, 2011, Los bioinsumos de uso agrícola se clasifican de acuerdo a su actividad y potencial biológico de la siguiente manera:

5.1.1. Agentes biológicos para el control de plagas:

5.1.1.1. *Agentes microbiales*, conformados por virus, bacterias u hongos que por su antagonismo y competencia con organismos plaga son empleados para control biológico.



Figura 17. Agentes microbiales, efecto de granulovirus de *Phthorimea operculelela* sobre larvas de *Tecia solanivora*. Fuente ICA.

5.1.1.2. *Nematodos entomopatógenos*, son empelados como controladores biológicos, ya que tienen la capacidad de parasitar y causar las enfermedades en insectos plaga.



Figura 18. Nematodos entomopatógenos de los géneros *Steinermena spp* y *Heterorhabditis spp*. Fuente ICA.

5.1.1.3. Parasitoides, artrópodos parasíticos que son introducidos en el huésped a temprana edad y que a medida que van creciendo se van alimentando de él, una vez adultos, dejan lo que queda de su víctima para ser libre.



Figura 19. Avispa parasitoide (*Trichogramma pretiosum*) parasitando un huevo de un lepidóptero. Fuente ICA

5.1.1.4 Depredadores, este tipo de controladores biológicos (artrópodos) se alimentan de insectos plaga luego de capturarlos.



Figura 20. Avispa parasitoide (*Trichogramma pretiosum*). Fuente ICA

5.2. Inoculantes biológicos,

Este tipo de bioelaborados son hechos a base de microorganismos, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas:

5.2.1. Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, este tipo de microorganismos tienen la capacidad de formar simbiosis con las plantas a través de su sistema radicular, especialmente con las leguminosas en la fijación de nitrógeno.

5.2.2. Bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno, fijan nitrógeno atmosférico sin la interacción con otras especies, caso bacteria *Azospirillum brasilense*.

5.2.3. Microorganismos solubilizadores de fosfatos, los cuales tienen la capacidad de solubilizar formas no disponibles de fósforo, como es el caso del hongo *Penicillium janthinellum*.

5.2.4. Microorganismos transformadores de materia orgánica, aceleran la mineralización de la materia orgánica (compostaje) para la producción de abonos, como es el caso de *Lactobacillus brevis*.

El mayor aporte biotecnológico es el de crear una conciencia ambiental al aumentar y masificar el uso de los bioinsumos como herramienta útil para conservar la salud humana, preservar el medioambiente y mantener una producción agrícola sostenible.

5.3. Biorremediación

La revolución industrial trajo consigo innumerables beneficios para la humanidad. Desde el siglo XVI hasta nuestros días, el hombre con ayuda de equipo técnico y científico implementó una serie de procesos que le permitieron un desarrollo social, instrumental e ideológico. Sin embargo, no todos los aspectos relacionados a su entorno tuvieron los mismos resultados. El

hombre y su transformación provocaron la ruptura entre la sociedad y la naturaleza, ocasionando un impacto negativo en las relaciones intra e interespecíficas del medio. En nuestro país, las malas prácticas agrícolas, derrames de crudo y vertimientos de tipo industrial y doméstico a ríos y mares, sumadas a la inoperancia de los entes territoriales han desencadenado en el deterioro de los recursos naturales; sin contar que las políticas ambientales se han quedado rezagadas ante el crecimiento demográfico, económico y político; porque hoy prima más, el repartir licencias ambientales a diestra y siniestra que el cuidado y la preservación de nuestros recursos no renovables (Leonard et al, 1999; Herrera, 2007).

Actualmente se vienen adelantando tratamientos que permiten tanto la degradación como la remoción de aquellos contaminantes que han sido nocivos tanto para la humanidad como la biodiversidad global. Dicho tratamiento es conocido como biorremediación.

La biorremediación es un proceso biotecnológico que permite neutralizar o eliminar los venenos y/o contaminantes generados por diferentes prácticas industriales, agropecuarias, domésticas mediante el uso de organismos vivos (microorganismos). Este tipo de microorganismos especialmente las bacterias tienen la facultad de degradar hidrocarburos e insecticidas. Pero no solamente los microorganismos tienen esta facultad, ya que existen ciertas especies vegetales con similares características, en un proceso conocido como fitorremediación. En la fitorremediación, las plantas utilizadas tienen la capacidad de absorber, acumular o tolerar sustancias tóxicas entre las que destacan los metales pesados (mercurio, plomo, cromo, cadmio) y pesticidas, con el firme propósito de neutralizar su poder destructivo, reduciendo de esta manera los contaminantes presentes en suelo y agua como los principales recursos que sufren por estos problemas ambientales (ARGENBIO, 2017). Entre los ejemplares utilizados en la

fitorremediación tenemos el girasol, mostaza, nabos, cebada, lúpulo, ortiga, diente de león, álamo, sauces, etc.

5.3.1. Biorremediación en Colombia

Colombia a través de Institutos de investigación dedicados al saneamiento de áreas contaminadas por compuestos orgánicos persistentes (COP) como son los hidrocarburos de petróleo y plaguicidas cuyo principal destino son los suelos y las fuentes hídricas, han tenido un aumento en su concentración en las regiones costeras y marinas, estos COP's tienen una larga permanencia en la naturaleza interviniendo negativamente en los ecosistemas marinos (Gómez *et al*, 2006).

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” INVEMAR con el apoyo financiero de COLCIENCIAS y la cooperación de otras instituciones como las Corporaciones Autónomas Regionales Costeras, se han dedicado a aislar e identificar bacterias marinas capaces de degradar COP's crenado, la primer colección de estos microorganismos (bacterias marinas) fueron aislados de los sedimentos marinos en zonas con concentraciones altas de hidrocarburos y plaguicidas organoclorados, extraídos de quince estaciones ubicadas en los departamentos de Bolívar, Magdalena, Sucre y Córdoba en el Mar Caribe, igualmente en el Océano pacífico se ubicaron en Nariño y Valle del Cauca; obteniendo como resultado el aislamiento de 145 cepas de bacterias poniendo de manifiesto que se han adaptado para tolerar estas sustancias y con la capacidad de degradarlos (Gómez *et al*, 2006). Las bacterias obtenidas en las estaciones del Caribe y Pacífico se sometieron a presiones selectivas a los COP (ACPM, Crudo, DDT y aldrin) con el fin de seleccionar bacterias competitivas, obteniéndose un cultivo mixto degradador de Hidrocarburos del Caribe de los

géneros *Klebsiella* sp., *Pseudomonas* sp., *Ralstonia* sp., entre otras y otro grupo de bacterias provenientes del Pacífico e igualmente grupos mixtos para degradación de plaguicidas organoclorados utilizados en plantaciones agrícolas, para ambas regiones, los géneros bacterianos *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Rabnella* sp., *Stenotrophobomonas* sp., *Brevibacillus* sp. Estas bacterias se deben conservar con técnicas que aseguren el sostenimiento de las cepas garantizando sus características naturales a largo plazo y se puedan multiplicar posteriormente para ser usados más adelante en el campo de la Biorremediación. ECOPETROL (2003) en su laboratorio de biotecnología adelanta trabajos para diagnosticar y descontaminar aguas subterráneas con hidrocarburos y paralelo a esta investigación ha desarrollado el producto ECOBIOL-TPH cuyo compuesto principal son bacterias nativas NO-MG como degradador de hidrocarbonados para suelos y residuos contaminados con hidrocarburos. (Gómez *et al*, 2006) universidades como la Javeriana, U. Nacional y U. Andes impulsan la técnica de “Landfarming” para la biorremediación de suelos contaminados por petróleo; técnica que involucra una delgada capa de suelo contaminada sobre un suelo en óptimas condiciones estimulando actividad microbiana de la delgada capa mediante la aireación y/o el aditamento de minerales, nutrientes y humedad, aumentando la actividad microbiana conllevando a la degradación del contaminante por la respiración de los microorganismos (Environmental Protection Agency (EPA), 1994).

5.4. Fitorremediación

Al igual que la biorremediación, la fitorremediación se ha presentado como otra de las técnicas importantes para el control de agentes contaminantes propios de la actividad agroindustrial, industrial y doméstica.

El proceso como tal parte a partir de los contaminantes inorgánicos representados por los “metales pesados” que por su tendencia en la cadena trófica a biomagnificarse y bioacumularse en altas concentraciones, están afectando el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Roy *et al*, 2005). Las plantas como instrumento principal en el proceso de fitorremediación están determinadas por su grado de tolerancia a cada tipo de metal pesado y su capacidad de absorción, translocación y retención. Las plantas por medio de las raíces como medio de ingreso del metal a su interior por flujo masivo o intercambio catiónico mediante la carga positiva del metal pesado y la carga negativa de grupos carboxilos del interior de la célula; genera un equilibrio (Roy *et al*, 2005). Los mecanismos fisiológicos que tienen lugar entre las plantas y los microorganismos asociados en la biotecnología de la “fitorremediación” son: la transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición (Navarro *et al*, 2007). Según el metal pesado (contaminante), condiciones del área y grado de limpieza requerido las técnicas fitocorrectivas pueden ser de contención o eliminación (López, 2011).

Como prevención y remoción de la contaminación sobre el medio ambiente entran a participar los microorganismos y plantas genéticamente modificadas; manipuladas para metabolizar compuestos orgánicos o para nuestro caso almacenar contaminantes inorgánicos. Algunas bacterias de la rizósfera degradan selectivamente compuestos tóxicos para la planta haciéndolos menos nocivos y ser asimilados por la planta. Por esta razón al ser modificados los microorganismos presentes en la rizósfera surgen como una oportunidad de mejoramiento en las técnicas de fitorremediación, principalmente en el asociación microorganismo GM presentes en la raíz (Thangavel & Subharam, 2004). Las características que debe tener la planta para cumplir su tarea de extraer los contaminantes del medio es su biomasa y su eficiencia de bioconcentración, plantas hiperacumuladoras a pesar de que son buenas candidatas para la

fitorremediación poseen poca biomasa, mediante la ingeniería genética se busca transferir y expresar los genes de microorganismos GM o animales que permiten la hiperacumulación en ciertas plantas con gran biomasa (Navarro-Aviñó, 2007).

En Colombia investigadores de la Universidad del Valle, (2012), realizaron estudios con especie nativa de *Heliconia psittacorum* para evaluar su capacidad de fitorremediación en humedales para el tratamiento de aguas residuales en zonas tropicales; una de las variables a evaluar fue la identificar la acumulación de metales pesados (Cd, Hg, Pb y Cr) altamente tóxicos para el ser humano; se obtuvieron resultados positivos en los cuales la especie *H. psittacorum* mostro ser una planta acumuladora y eliminadora de estos metales pesados y en los cuales la planta no mostro signo alguno como hojas amarillas o clorosis con una eficiencia de eliminación alrededor de un 5% al 10% de capacidad frente a un sistema sin plantas, calificando esta especie como acumuladora de metales pesados con alto potencial de ser utilizada en sistemas de humedales construidos; trabajos como este proponen realizar proyectos tendientes a controlar la contaminación en Colombia por las descargas de aguas residuales en cuerpos hídricos con eco-tecnologías (fitoremediación) con alternativas costo-efectivas para este propósito (Macek *et al*, 2007).

Otro de los temas que sin duda le devolverá la vida a los suelos desérticos son los polímeros oxopolisacáridos: EPS (sustancias poliméricas extracelulares), entendidos estos como compuestos excretados por algunos microorganismos como las *pseudomonas*, *lactococcus* y *bacillus*, los cuales según estudio realizado por la universidad de Georgia, tienen la facultad de unir las partículas del suelo, aumentando su cohesión y por tanto, mejorar los procesos germinativos, retención de agua e incrementar la fijación de nitrógeno atmosférico. Este tipo de

procedimientos están en etapa de estudio, pero se presume que serán una alternativa para la restauración de suelos desérticos (Chang *et al*, 2015).

De confirmarse este tipo de tecnologías harían que suelos que fueron destruidos por malas prácticas productivas puedan volver a tener protagonismo. Colombia tiene un porcentaje bastante alto de suelos desérticos, lo que le vendría bastante bien este tipo de tecnologías.

6. NORMATIVIDAD.

Si bien el mejoramiento genético de cultivos ha permitido el incremento de la producción en cereales y las hibridaciones de la mano de manipulaciones citogenéticas han mejorado la resistencia tanto a plagas como a enfermedades haciéndolos más resistentes ante las condiciones climáticas, y con ello aminorando costos, no se han dejado descuidados los protocolos para lograr confiabilidad y seguridad frente a los riesgos tanto biológicos como ambientales generados por el uso de la biotecnología “. Para el año 2009 se sembraron en Colombia, 18.874 hectáreas de cultivos GM de algodón, 16.793 hectáreas de cultivos GM de maíz, y cerca de cuatro hectáreas de cultivos GM de clavel y rosas, estos últimos sembrados en el departamento de Cundinamarca y cuyos genotipos expresan color azul. Desde la academia se ha tratado de organizar el debate sobre la adopción de los cultivos GM, alrededor del análisis ponderado de los riesgos biológicos y beneficios ambientales y económicos. Los riesgos biológicos se definen por los posibles efectos negativos sobre consumidor humano o ambiente en que se liberan. Los beneficios ambientales tienen que ver con los efectos de la reducción en el uso de agroquímicos (insecticidas y herbicidas), y beneficios económicos con la reducción en las pérdidas debidas al ataque de insectos y a la competencia de malezas, así como a la reducción de costos de producción” (Macías, 1998).

Es entonces donde el derecho ambiental, buscando la convivencia armónica del hombre con la naturaleza, debe regular e implementar normatividad clara para el uso de la biotecnología, estableciendo un balance entre desarrollo e impacto en el medio ambiente y en el hombre. “La norma ambiental no busca regular una serie de conductas de los hombres para que convivan entre sí, sino una serie de conductas del hombre frente a la naturaleza para que conviva con ella y además respete las leyes naturales que las rigen” (Macías, 1998)

En Río de Janeiro, en el año 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, reafirmo la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas aprobada en Estocolmo en junio de 1972, y proclama, entre otros, el principio número 15, que indica que por protección del medio ambiente los Estados deben aplicar ampliamente el criterio de precaución, sobre el cual se instaura el “Protocolo de Bioseguridad de Cartagena, que busca contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección a la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna, que pueden tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana” (García, 2003).

Colombia no cuenta con un texto único o una compilación normativa en materia de Bioseguridad, sin embargo, existe una extensa normatividad, que inicia con la Constitución de 1991, que ha sido llamada por la Corte Constitucional en sentencia T -411 de 1992 «Constitución Ecológica».

6.1. Normatividad Colombiana en Bioseguridad

Nuevo código penal:

6.1.1. LEY 599 DEL 2000

Incorpora el título XI. De los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente.

6.1.1.1. Artículo 328: Ilícito aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Tipifica como conductas punibles, la inducción, explotación, transporte, tráfico, comercio, aprovechamiento o beneficio, siempre que se trate de especímenes producto o partes del recurso fáunico, forestales, florísticos, hidrobiológicos de especies amenazadas o en vía de extinción de los recursos biogénéticos.

6.1.1.2. Artículo 329: violación de las fronteras para la explotación de los recursos naturales.

Artículo 330: manejo ilícito de microorganismos nocivos. Penaliza la conducta de “todo aquel que, incumpliendo las normas existentes, induzca, manipule, experimente, inocule o propague especies, microorganismos, moléculas o sustancias que pongan en peligro la salud o la existencia de los recursos fáunicos, florísticos o hidrobiológicos o altere perjudicialmente sus poblaciones”

Este artículo tiene en su segundo inciso segundo una tipificación expresa para el que realice manipulación genética o introduzca, violando la legislación colombiana y los requerimientos exigidos por las autoridades competentes en el país, organismos modificados genéticamente con “peligro” para la salud o la existencia de los recursos mencionados en el inciso anterior. La pena se aumentará en una tercera parte, en caso de que llegase a producir algún tipo de enfermedad, plaga o erosión genética de especies, es decir, se deja en claro que, a pesar de no existir claridad científica para determinar previamente la existencia de daños concretos para la salud, hay que mantener una cuidadosa precaución, porque si se llegará a configurar algún tipo de enfermedad, plaga o erosión genética de las especies, la pena será superior.

6.1.1.3. Artículo 331: daños a los recursos naturales. Tipifica las conductas de destrucción, inutilización, hacer desaparecer o dañar de “cualquier otro modo los recursos naturales a que se refiere ese título, causándole una gran afectación a los que estén asociados con estos o se afecten áreas especiales protegidas”

6.1.1.4. Artículo 332: Contaminación ambiental. Donde encuadra la conducta de todo aquel que con la aplicación de la biotecnología ponga en peligro la salud humana o la de los recursos fáunicos, forestales, florísticos o hidrobiológicas.

6.1.1.5. Artículo 334: Experimentación ilegal en especies animales o vegetales. La norma penal es clara en señalar que todo el que “sin permiso de la autoridad competente o con incumplimiento de la normatividad existente introduzca o propague especies animales, vegetales o hidrobiológicas o agentes biológicos o bioquímicos que pongan en peligro la salud o la existencia de las especies o alteren la población de animal o vegetal”.

6.1.1.6. Artículo 339: Modalidad culposa. Establece la posibilidad de que culposamente cualquier persona pueda incurrir en alguna de las conductas descritas por los artículos 331 y 332. Y, en esos casos, única y exclusivamente, puede rebajarse la pena a la mitad.

6.2. LEY 740 DE 2002:

6.2.1. Decreto 4525: Ratifica el protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología en el Comercio de la Diversidad Biológica. Da el marco general para bioseguridad en organismos genéticamente modificados, incluidos cultivos transgénicos.

Reglamenta la ley 740 de 2002 y se establece el marco regulatorio y procedimental de Organismos Vivos Modificados (OVM's). Aplica a movimiento transfronterizo, tránsito, manipulación y utilización de es estos OVM's que puedan tener efectos adversos para el medio ambiente y la diversidad biológica, teniendo en cuenta los riesgos para la salud humana,

productiva y producción agropecuaria. Desarrollar esta actividad en Colombia implica solicitar autorización previa a la autoridad competente, la cual se otorga mediante acto administrativo en el cual se especifican datos sobre el organismo vivo que se usará, resultados de la evaluación y la gestión de riesgo y las medidas que deben adoptarse para prevenir, mitigar y controlar efectos adversos.

6.3. Regulación del Sector Agropecuario

6.3.1. Decreto 2142/92: por el cual se reestructura el Instituto Colombiano Agropecuario. Redefine las funciones del ICA, principalmente las de control, protección y regulación de productos de importación y organismos con relación a sanidad animal y vegetal.

6.3.2. Ley 101/93: Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero. Establece que las funciones de desarrollo de políticas agropecuarias del país en cuanto a protección, producción y sanidad deben ser ejercidas por el ICA.

6.3.3. Decreto 1840/94: Ámbito de aplicación de Normas de Sanidad. ICA regula lo relacionado con la sanidad animal y las acciones que permiten proteger la producción nacional en este campo.

6.4. Agricultura

6.4.1. Acuerdo 00013 del 22 de diciembre de 1998: por el cual se crea el Consejo Técnico Nacional (CTN) para introducción, producción, liberación y comercialización de Organismos Modificados Genéticamente (OGM) de uso agrícola. La composición de este CTN fue modificada por el acuerdo 00002 del 25 de febrero de 2002

6.4.2. Resolución ICA 3492 de 1998: por la cual se reglamenta y se establece el proceso para la introducción, producción, liberación y comercialización de Organismos Genéticamente

Modificados (OGM's). Cabe anotar que esta resolución establece impone la obligación del etiquetado a los OGM en su artículo 11 y en el artículo 22da aplicación al Principio de Precaución, por lo tanto, se erige como una de las resoluciones más completas en materia de OGM's en Colombia.

6.5. Normatividad Ambiental Colombiana y Los OGM's

El código natural de recursos naturales, expedido por el decreto 2811 de 1974, a pesar de no reglamentar expresamente a los OGM's, por analogía guarda relación, pues incluye la conservación y preservación del medio ambiente, mediadas de emergencia en caso de daño en el ambiente, introducción de especies animales, vegetales o microorganismos no nacionales. Adicionalmente, se encuentra relacionada con el protocolo de Cartagena y con la ley 740 de 2002, que ratifica y amplía el ámbito de aplicación de este.

6.5.1. Ley 99/93: Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente. Se le confiere las funciones que en otro momento tenía el INDERENA a la vez da las directrices de la política ambiental en Colombia, siguiendo como principios ambientales la Declaración de Río de Janeiro de 1992, la protección de la biodiversidad del país como patrimonio nacional, el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, el resultado de una investigación científica y la aplicación del Principio de Precaución cuando exista peligro de daño grave o irreversible en el medio ambiente, el manejo integral del medio ambiente y su interrelación con los procesos de planeación económica, social y física, la prevención de desastres protección y recuperación ambiental y los estudios de impacto ambiental como instrumento básico en la toma de decisiones

6.5.2. Ley 165/94: Convenio sobre diversidad biológica. Declarada su exequibilidad por la Corte Constitucional mediante la sentencia C-745 de 1999. Con esta ley se busca la protección de la diversidad biológica, de tanta importancia para Colombia por ser un país mega diverso. En virtud de esta ley Colombia requiere regular el acceso a los recursos genéticos pues esto “incumbe a los gobiernos nacionales y está sometida a la legislación nacional, en reconocimiento de los derechos soberano de los estados sobre sus recursos naturales”.

7. CONSIDERACIONES

La biotecnología ha hecho incursión en varios escenarios del saber con muy buenos resultados. Entre los muchos escenarios en los que se han podido evidenciar su participación, encontramos el sector agrícola, el cual, mediante el uso de microorganismos o sus productos (enzimas) se ha podido incrementar la producción alimenticia, la cual se había visto disminuida por los continuos problemas de índole fitosanitario. Cabe anotar que no solo se ha aumentado la producción alimenticia, sino que, gracias a la biotecnología se han evidenciado logros en materia de suplementos nutricionales para el normal crecimiento de la población, como ejemplo tenemos el arroz dorado con suplementos nutricionales como el beta caroteno de la vitamina A, importante para el desarrollo humano en sus primeras etapas de crecimiento.

No se entiende el por qué la biotecnología y sus diversas técnicas han sido tan resistidas en el ámbito mundial. Se les acusa de muchas cosas, pero todas ellas han sido sin fundamento, ya que no se ha llegado a probar ninguna de esas acusaciones. Se considera que la comunidad aún no está lo suficientemente informada en materia de OGM.

Quizá una de las razones, paralelas a la biotecnología en sí, que causa indignación, ha sido los monopolios que se han levantado y que han acaparado la venta y distribución de las diferentes

semillas transgénicas, dejando sin alternativas al agricultor de poder cultivar sus propias semillas; aquí la culpa es de quienes comercializan y no de la ciencia como tal.

La agronomía y la biotecnología deben de ir de la mano, se deben de conservar sistemas productivos orgánicos propios del campo (agronomía), acompañados de tecnologías (biotecnología) que permitan optimizar los recursos que se tienen, garantizando una mejor calidad de vida para todos y cada uno de los agentes que componen la maquinaria agrícola del país.

Aunque Colombia hace parte de esos países que ha incursionado en la biotecnología, es muy poco lo que se ha hecho y no porque no haya material científico competente sino porque la burocracia de este país tiene la mayor responsabilidad. Sus decisiones o más bien el poco valor que le ha dado al tema, tiene al país rezagado.

Uno de los más importantes científicos en la historia de Colombia, hablamos del neurofisiólogo Rodolfo Llinás, habló para la revista semana (9 de noviembre de 2017), en la que afirma que *“sin una estructura científica fuerte y sin la capacidad de obtener conocimiento relevante y poder utilizarlo, Colombia no tiene futuro”*. Palabras certeras pero precisas, de alguien que ha vivido muy a fondo la problemática del país en materia de investigación.

En el gobierno se establecen las diferentes normatividades que le permiten a una región crecer, ser prospera y vivir plenamente. Cuando un país invierte en investigación tiene la certeza de que dicha inversión no será en vano, ya que los diferentes descubrimientos le brindarán mejores procesos productivos, mejores réditos y por ende mejor calidad de vida. Pero, cuando un gobierno invierte más en la guerra u otras “prioridades” y deja en último renglón el tema de investigación y de herramientas tecnológicas, siempre estará rezagado y con la imperiosa

necesidad de comprar a otros, negándose la posibilidad de construir su propia tecnología como pilar de la investigación y obtener importantes rubros que no solo se reinvertirían en ciencia sino en otros aspectos que también son vitales para el crecimiento y desarrollo de un país

8. BIBLIOGRAFÍA

- 75 maneras de generar conocimiento en Colombia. (2006). Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias.
Recuperado de http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-138367_pdf.pdf.
- Andow, A., Zwahlen C. (2006). Assessing Environmental Risks of Transgenic Plants. *Ecol Lett.* 9:196-214.
- Angharad M. R., Gatehouse, J., Ferry, N., Romaan J. M., Raemaekers A. (2006). The Case of the Monarch Butterfly: A Verdict is returned. *Trends Genet.* 18:249-251.
- AGROBIO (Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola). (2000). Biotecnología Agrícola. Recuperado de <http://agrobio.org/bfiles/agro-biofile-22.pdf>
- AGROBIO (Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola). (2012). BIOTECNOLOGÍA Y ALIMENTACIÓN. Boletín. No. 11 • ISSN 2011-7124. Recuperado de <http://www.agrobio.org/wp-content/uploads/2016/04/boletin-biotecnologia-y-alimentacion-agrobio-colombia-11.pdf>
- Altieri, M., Nicholls C. I. (2000). Agroecología: Teoría práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para la formación ambiental. Primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.* 250 p
- ARGENBIO, (2007). Cultivos resistentes a insectos o Bt. Recuperado de: <http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=261>

- Asprilla, N. I. S., Murillo, M. V., & Rivas, M. A. M. (2008). Propagación in vitro de musáceas del Choco a partir del cultivo de meristemas radiculares. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, 27(1), 96-99. Recuperado el 19 de febrero de 2016 de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2705044>
- Banerjee, A. K., Prat, S. & Hannapel, D. (2006). Efficient production of transgenic potato (*S. tuberosum L. sp. andigena*) plants via *Agrobacterium tumefaciens* mediated transformation. *Plant Sci.* 170, 732-738.
- Bellver-Capella, V. (2012). BIOTECNOLOGÍA 2.0: LAS NUEVAS RELACIONES ENTRE LA BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL SER HUMANO Y LA SOCIEDAD. *Persona y Bioética*, 16(2), 87-107. Retrieved March 10, 2018, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-31222012000200002&lng=en&tlng=es.
- Bonilla B ML, Muñoz F JE, Ángel SF (2008). Expresión transitoria del GUS en caña de azúcar usando *Agrobacterium tumefaciens*. *Acta Agron.* 57:161-166. Doi: <http://dx.doi.org/10.4161/gmcr.24459>.
- Burguete, A., H Bermúdez-Morales, V., & Madrid-Marina, V. (2009). Medicina genómica aplicada a la salud pública. *Salud Pública de México*, 51(Supl. 3), s379-s385. Recuperado en 10 de marzo de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342009000900003&lng=es&tlng=es
- Buriticá, P. (2008). Obtener cultivos y sus productos sanos, un propósito nacional: salud pública vegetal, su filosofía. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*.

Recuperado el 19 de febrero de 2016 en:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914077002>

- Campos, H., Seguel, I. (2000). Biotecnología y Recursos Genéticos Vegetales. *Rev. Agro Sur*, 28 (1). 13-15. Recuperado el 12 de marzo de 2016 en http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88022000000100002&script=sci_arttext
- Carpita N., Mccann M. (2000). The cell wall. En: BUCHANAN B., GRUISSEM W., JONES R. (Eds.) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. USA: American Society of Plant Physiologists, pp. 52-108
- Carranco, J. M., Calvo, C. M., & Pérez-Gil, R. F. (2011). Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61(3), 233-241.
Recuperado en 08 de noviembre de 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222011000300001&lng=es&tlng=es
- CEVIPAPA. (2006). En: <http://www.cevipapa.org.co/estadisticas/estadisticas.php#>; consulta: junio 2006.
- Cerda, H., Wright D. (2004). Modeling the Spatial and Temporal Location of Refugia to Manage Resistance in BT Transgenic Crops. *Agr Ecosyst Environ*. 102:163-174
- Chang, I., Prasadhi, A., Im, J., Shin, H. & Cho, G. (2015). Soil treatment using microbial biopolymers for anti-desertification purposes. *Geoderma*, 39-47.
- Chaparro, G. A. (2015). La ingeniería genética de plantas en Colombia: un camino en construcción. *Acta biol. Colomb.* 20(2):13-22. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n2.43412>.

- ChileBio, (mayo de 2004). Como la biotecnología ha contribuido a la sustentabilidad de la agricultura y a la producción de alimentos. *Chile Bio - Antonio Bellet 77, Of. 607* Providencia, Santiago, Chile.
- ChileBio, (19 de noviembre, 2015). Estudio en Colombia: los transgénicos si han traído beneficios. Recuperado de <http://www.chilebio.cl/?p=4543>
- CIAT (Centro de Investigación en Agricultura Tropical) (2002). *Genetic Transformation. Reseach focus*. Recuperado de http://ciat.cgiar.org/biotechnology/genetic_transformation.htm#
- Ciencia. (2015, 28 de agosto). Gobierno se compromete a destinar 1% del PIB para ciencia a 2018. El Tiempo. Recuperado el 12 de marzo de 2016 de <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/inversion-de-1-del-pib-para-ciencia/16303675>
- Conway, G. R., Pretty, J. N. (1991). *Unwelcome Harvest: agriculture and pollution*. Earthscan, Island Press London UK.
 - DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.04.006.
- DANE, SIPSA (Sistema de Información de Precios Y Abastecimiento del Sector Agropecuario), MinAgricultura. (Septiembre de 2013). El cultivo de papa, *Solanum tuberosum*. Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_sep_2013.pdf

- ECOPETROL. 2003. Laboratorio de biotecnología. ECOPETROL S.A. En:
http://www.ecopetrol.com.co/paginas2.asp?pub_id=35814&cat_id=153&idCategoriaprin cipal=153 &cat_tit=LABORATORIO%20DE%20BIOTECNOLOGÍA
- ELESPECTADOR. (jueves 9 de noviembre). Los puntos críticos de hambruna en el mundo. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/salud/los-puntos-criticos-de-hambruna-en-el-mundo-articulo-687826>
- El Nuevo Día. (Mayo 11 de 2016). Los cultivos de algodón genéticamente modificados se posicionan en el Tolima. Recuperado el 11 de mayo de 2016 de <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/ciudadania/contacto-agropecuario/227382-los-cultivos-de-algodon-geneticamente-modificados-se-posicio>
- EPA (Environmental Protection Agency). 1994. Chapter V: Landfarming. How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. (EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007; and EPA 510-R-04-002). Washington, DC. United States of America.
- FAO-TECA. (23 DE OCTUBRE DE 2006). CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES: principios básicos, metodologías y técnicas. Recuperado de <http://teca.fao.org/es/read/4290>
- FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2003). Ponderar el razonamiento sobre los OGM: argumentos a favor. Recuperado el 12 de mayo de 2016 de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/gmo7.htm>
- Flórez, G. G. (2013). Módulo Biotecnología Alimentaria. Bogotá, Colombia. Recuperado el 19 de febrero de 2016 de

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/MODULO_BIOTECNOLOGIA_ALIMENTARIA_A.pdf.

- FOWLER M. W. (1987). Products from plant cells. En: Bu'lock J., Kristiansen B. (Eds.) Basic Biotechnology. Academic Press, M., London, England. pp. 525-544.
- García, M., Lacouture D., Hugues M. (2003). Implicaciones jurídicas de los alimentos transgénicos en Colombia. *Revista de Derecho*, 216-249.
- Garnier, A., Lecomte, J. (2006). Using a Spatial and Stage-structured Invasion Model to Assess the Spread of Feral Populations of Transgenic Oilseed Rape. *Ecol Model*. 194:141-149
- Gómez, M., Vivas, L., Ruíz, R., Reyes, V., & Hurtado, C. (2006). Bacterias marinas nativas degradadoras de compuestos orgánicos persistentes en Colombia. INVEMAR, Santa Marta.
- Herrera, D. M. (2007). Ciencia, Tecnología y Salud Ambiental. *Rev. Hum Med*, 7 (1). Ciudad de Camaguey, Cuba.
- Hodson de Jaramillo, E. & Castaño-Hernández, A. (2003). Proceso de adopción de OGM en Colombia, sistema nacional de bioseguridad. *The world of food science*. Recuperado el 12 de mayo de 2016 de <http://worldfoodscience.com/article/proceso-de-adopci%C3%B3n-de-ogm-en-colombia-sistema-nacional-de-bioseguridad-abstract-english>
- Hurtado, C. (2013). Transgénicos, ¿un demonio en el que cree Colombia? Recuperado el 27 de mayo de 2016 de <http://www.kienyke.com/economia/transgenicos-un-demonio-en-el-que-cree-colombia/>

- Iniciativa PEW Sobre Alimentos y Biotecnología, Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia. (2003). Flujo Genético: ¿Qué significa para la biodiversidad y los centros de origen. México D.F.?: Iniciativa Pew Sobre Alimentos y Biotecnología.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (S f). Consejo Técnico Nacional de Bioseguridad Agrícola. CTN 1999-2000
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2011). Los bioinsumos en la agricultura ecológica. Convenio 055 MADR- ICA. Recuperado de http://www.ica.gov.co/Multimedia/swf/PublicacionesICA/Agr%C3%ADcolas/Cartilla_Bioinsumos/index.html
- ISAAA (INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRICULTURAL BIOTECH APPLICATIONS) (28 de enero, 2015). Los cultivos transgénicos muestran un crecimiento constante; beneficios obtenidos en 2014; la superficie sembrada en todo el mundo aumentó en 6 millones de hectáreas. Recuperado de <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/pressrelease/pdf/B49-PressRelease-Spanish.pdf>
- Leonard, P. A., Ercilla, M. A., Armenteros, M. C., et al. (1999). Tecnología y sociedad. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela, p 178.
- López, A. & Chaparro, A. (2007). Propuesta de transformación de plantas de papa (*Solanum tuberosum* sp. Andígena var. *Pastusa suprema*) mediado por *Agrobacterium tumefaciens*. *Agronomía Colombiana* 25(1), 16-25.
- López, D. A. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. Agroecosystem*, 14 (2). Mérida

- Macek, T., Kotrba, P., Svatos, A., Novakova, M., Demnerova, K., Mackova, M. (2007). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in Biotechnology*. 26: 146-152.
- Macías, L. (1998). Introducción al derecho ambiental. Bogotá, Legis
- Martínez, S., Corona, B. (2007). Algunos Conceptos Relacionados con los Organismos Genéticamente Modificados. *Rev. Salud Animal*, 29 (1). Recuperado el 12 de marzo de 2016 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0253570X2007000100001&script=sci_arttext
- Moran, A. (Marzo 9 de 2015). ¿Qué es la tecnología CRISPR/Cas9 y cómo nos cambiará la vida? Recuperado de <http://www.dciencia.es/que-es-la-tecnologia-crispr-cas9/>
- Morones, R. R. (Septiembre de 2009). Biotecnología. CONACYT. Recuperado de <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/235/Articulos/Biotecnologia/Biotecnolog%C3%ADa3.html>
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar- Alonso, I., López Moya, J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16: 10-25.
- Pargas, A. R., & de la Cruz Cardoso, M. A. (2003). Implicaciones éticas de la transgénesis y la clonación.
- Pavisic, D., Argote, G., Ordoñez, S., Antezana, O., Cary, A., Antezana, E., & Vargas, R. (2001). Avances en Proteómica. *Acta Nova*, 1(1), 01-25. Recuperado en 10 de marzo de 2018, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892001000000002&lng=es&tlng=es.

- Porcar, M., Juárez, P. V. (2004). Aislamiento establecimiento de una colección de *Bacillus thuringiensis*. En *Bacillus thuringiensis* en el control biológico. Bravo, A. y Cerón, J. eds. *Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.*; pp. 69-100.
- Portafolio. (2011). Colombia es el primer productor de claveles en el mundo. Recuperado el 12 de mayo de 2016 de <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/colombia-principal-productor-claveles-mundo-132646>
- Portela-Dussán, D., Chaparro-Giraldo, A., López-Pazos, S. (2013). La biotecnología del *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. NOVA - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas - Issn: 1794-2470 - Vol. 11. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v11n20/v11n20a09.pdf>
- Buitrago, G. C. & Gómez, G. M. (s.f.). Uso Aparente de los Plaguicidas en Colombia durante los años 2004-2007. *REPCar: reduciendo el número de plaguicidas al Mar Caribe*. Recuperado de <http://cep.unep.org/repcar/informacion-de-paises/colombia-1/COL%20importacion%20y%20exportacion%202004-2007.pdf>
- Roy, S., Labelle, S., Mehta, P., Mihoc, A., Fortin, N., Masson, C., Leblan, R., Cha, G., Sura, C., Gallipeau, C., Olsen, C., Delisle, S., Labrecque, M., Greer, C. W. 2005. Phytoremediation of heavy metal and PAHcontaminated brownfield sites. *Plant and Soil*. 272: 277-290.
- Sánchez, G. E. Londoño, L.A. Peña y E. Espitia. (2000) Manejo Integrado de Plagas. En: Manejo integrado del cultivo de la papa. *Manual técnico. Corpoica*, Bogotá. 160 p.
- Spendeler, L. (2005). Organismos genéticamente modificados. Una nueva amenaza para la seguridad alimentaria, *Rev. Española de Salud Pública*79 (2). 18-20

- Sudamérica rural. (Viernes 30 de mayo de 2014). El monopolio de las semillas transgénicas afecta a los pequeños productores. Recuperado el 12 de mayo de 2016 de <http://www.sudamericarural.org/promocion/articulos-de-opinion/promo/345-el-monopolio-de-las-semillas-transgenicas-afecta-a-los-pequenos-productores>
- Thangavel, P., Subhram, C. V. 2004. Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B. 70(1):109-130.
- Tovar, M. E. (2013). El tiempo: lo que tiene en jaque al agro colombiano. Recuperado el 27 de mayo de 2016 de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13052762>
- UICN (Unión Mundial para la Naturaleza). (Agosto 2014). Organismos Genéticamente Modificados y Bioseguridad. Recuperado de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PGC-001-Es.pdf>
- UN (Universidad Nacional de Colombia). (2011) Informe Final Convenio Interadministrativo de Asociación Suscrito entre el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Universidad Nacional de Colombia, 2010. 123p <http://worldfoodscience.com/article/proceso-de-adopci%C3%B3n-de-ogm-en-colombia-sistema-nacional-de-bioseguridad-abstract-english#sthash.LvG5tGwc.dpuf>
- UN; CORPOICA. (2002). *Memorias Taller de Ingeniería Genética para la agricultura colombiana*. Bogotá.
- Revista UNAL. (2011). Cultivos Transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta biol. Colomb., Volumen 16, Número 3, p. 231-252, 2011. ISSN electrónico 1900-1649. ISSN impreso 0120-548X*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/19986/27963>

- Agencia de Noticias UN. Salud (2015). En 20 años Colombia aumentó uso de plaguicidas en un 360%. Recuperado de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/articulo/en-20-anos-colombia-aumento-uso-de-plaguicidas-en-un-360.html>
- Singh, O.V., Ghai, S., Paul, D., Jain R. D. (2006). *Genetically Modified Crops: Success, Safety Assessment, and Public Concern. Appl Microbiol Biotechnol. 71:598-607.*
- UNIVALLE. (2012). Respuestas fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamientos con lixiviado de relleno sanitario. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3903/4/CB-0463669.pdf>
- Valderrama, A. M., Velásquez, N., Rodríguez, E., Zapata, A., Zaidi, M. A., Altosaar, I., et al. (2007). Resistance to *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Three Transgenic Andean Varieties of Potato Expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac Protein. *J Econ Entomol.*100:172-179. Doi: [http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[172:RTTSLG\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[172:RTTSLG]2.0.CO;2)
- Vanegas, P. A., Blanco, J., y Chaparro, A. (2010). Expresión de la proteína Cry1ac en tejidos de líneas transgénicas de papa (*Solanum tuberosum* spp. andígena) var. Diacol capiro. *Acta biol. Colomb.*; 15:101-114.
- Vázquez, M., E. Camacho, B. J., Nava, P. E., García, G.C. (2012). BIOPLAGUICIDAS: UNA OPCIÓN PARA EL CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS. Ra Ximhai, 17-29.
- Vélez, O. G. (enero, 2004). Los cultivos y alimentos transgénicos en Colombia. Recuperado de file:///C:/Users/ALEJA/Downloads/OGM.Reichsmann.04.FIN%20(1).pdf