

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
SEDE JAÉN



“LA TRANSGÉNESIS EN EL SECTOR FORESTAL ”

TRABAJO MONOGRÁFICO

PARTE COMPLEMENTARIA DE LA MODALIDAD “D”
EXAMEN DE HABILITACIÓN PROFESIONAL MEDIANTE
CURSO DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

BETTY CARHUATOCTO CRUZ

JAÉN - PERÚ

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
SECCIÓN JAÉN



"Norte de la Universidad Peruana"
Fundada por Ley N° 14015 del 13 de Febrero de 1,962
Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080
JAÉN - PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA

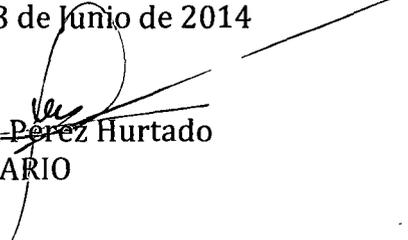
En la ciudad de Jaén, a los veintitrés días del mes de Junio del año dos mil catorce, se reunieron en el Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca-Sede Jaén, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 025-2014-FCA-UNC, de fecha 18 de Marzo del 2014, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo monográfico titulado: **"LA TRANSGÉNESIS EN EL SECTOR FORESTAL"**, de la Bachiller en Ciencias Forestales doña **BETTY CARHUATOCTO CRUZ**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

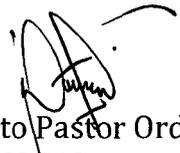
A las dieciséis horas y dieciocho minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto, invitando a la sustentante a exponer su trabajo monográfico y luego de concluida la exposición, se procedió a la formulación de las preguntas. Concluido el acto de sustentación el jurado procedió a deliberar para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **QUINCE (15)**. Por lo tanto, la graduando queda expedita para que inicie los trámites para que se le expida el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

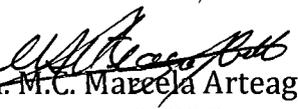
A las dieciocho horas y ocho minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

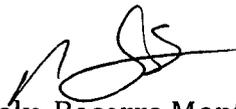
Jaén, 23 de Junio de 2014


Ing. M. Sc. Segundo M. Tafur Santillán
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
SECRETARIO


Ing. Sigilberto Pastor Ordinola
VOCAL


Blga. M.C. Marcela Arteaga Cuba
ASESOR


Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
ASESOR

DEDICATORIA

Primeramente a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, ser el manantial de vida y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor. A mis hermanos por ser el ejemplo de hermanos y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles y a todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar esta monografía.

A mis docentes por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, por su apoyo ofrecido en este trabajo, por haberme transmitidos los conocimientos obtenidos y haberme llevado pasó a paso en el aprendizaje

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a ti Dios Todo Poderoso, por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por ponerme en este loco mundo, por estar conmigo en cada momento de mi vida. Por cada regalo de gracia que me has regalado y que inmerecidamente he recibido, como la universidad sin la cual no hubiera podido ser un profesional, una prueba más de tu fidelidad, prometiste una buena escuela y me diste algo que fue más allá de mis expectativas, por lo que me doy cuenta que te vale mi desarrollo, pero antes de ser un profesional quiero ser tu hija ya que es el mayor privilegio que podemos tener, más valioso que todos los títulos de la tierra.

Al precioso Espíritu Santo, gracias porque me has iluminado y guiado todo este tiempo en la universidad, porque sin ti no hubiera podido salir adelante en los momentos difíciles y de prueba, no tengo palabras para agradecerte lo mucho que me has dado, lo único que puedo decirte es que te necesitaré en cada proyecto que emprenda en mi vida, por lo que nunca me apartaré de ti

A mi papá Wilder Carhuatocto Peña, tú has sido sin duda uno de los principales precursores de uno de mis logros, nunca te desesperaste e hiciste lo imposible para que yo pudiera seguir con mis estudios, creíste que podía y siempre te preocupaste por lo que estaba haciendo, eso me mantuvo firme las veces que pude tambalearme. Con profundo agradecimiento a ti papá, por ayudarme a la construcción de mi proyecto de vida y hacer que verdaderamente crea en mí. Gracias papá por tu amor, por tu comprensión y por ser el mejor amigo, eres quien hizo que todo esto fuera posible, a ti te debo gran parte de lo que soy.

A mi mamá Nora Cruz Peña tú también te mantuviste ahí, tú creatividad y dedicación me sacaron a camino muchas veces y tú incondicional comprensión siempre se impuso, a pesar de todo siempre me apoyaste; muchas veces no me doy cuenta y paso por alto tus esfuerzos, pero es que si te agradeciera todo lo que haces por mí no terminaría nunca.

A mis hermanos Leydi y Wilder Franklin, por brindarme aspiraciones y modelos iniciales que me sirvieron para orientar mis habilidades, mis fortalezas y dirigirme cada vez con mayor claridad hacia el camino que he escogido y del cual me siento tan orgullosa.

Al Lic. M.sc. Marcela Arteaga Cuba por instruirme con la mejor actitud desde el principio. Por indicarme desde siempre el mejor camino y por enseñarme con mucha dedicación y sabiduría cada una de las actividades a realizar. Por mostrarse receptiva y colaboradora en todo.

Al Ing. M.Sc. Vito By Becerra Montalvo por retarme cuando más lo necesité y ayudarme a madurar en múltiples sentidos. Pero principalmente, por reconocer mis logros y mis sacrificios. Por recordar como caí para recordarme lo bien que me levanté. Por obligarme a analizarme y con eso, permitirme ver y valorar la persona que soy. Junto a ti aprendí que es mi deber enseñar a los demás quién soy, para qué soy buena y de qué soy o no capaz.

Al Ing. M.Sc. Segundo Primitivo Vaca Marquina por brindarme su amistad y orientarme justo de la manera en que lo necesito. Por hacerme sentir valiosa al ver en mí la dirección de mis cualidades e incentivarlas. Por ver más allá de lo que parezco y enfocarse en quién soy. Por insistir en el lado humano. Junto a Ud. aprendí a valorar la diversidad, a ver más allá de lo que se aparenta. Aprendí a respetar y a dar lo mejor de mí en todo.

A mi amigo, Eider Jarol, por enseñarme cuánto valgo y reconocirme tan sólo al mirarme. Por estar presente aun cuando no lo he notado. Por abrazarme en mis abismos. Por tener fe en mí. Por protegerme y darme valor. Por tu sinceridad y amistad. Por inspirarme con tus logros y entregarte. Junto a ti aprendí que vivir la realidad puede ser más satisfactorio que soñar despierta. A mi amiga Ana María Laura por acompañarme en mis altas y bajas. Por gritarme y dejarme gritar cuando hizo falta. Por volverme hablar como si nada a los 15 minutos. Por ser sincera y honesta y por protegerme a tu manera. Por mostrarme ése lado tan particular y por confiar en mí. De ti aprendí que mi opinión vale lo suficiente como para ser expresada y defendida. Junto a ti aprendí la importancia de hablar sobre la vida para sentir que la estás viviendo a plenitud.

CONTENIDO

Pag

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Contenido	
Resumen	
Astract	
INTRODUCCION	11
CAPÍTULO I	
APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR FORESTAL	12
1.1. La Biotecnología en el sector forestal	12
1.2. Campo de aplicación de la biotecnología.	13
a. Producción vegetal	13
b. Especies forestales	13
c. Acuicultura y recursos marinos	13
d. Industria alimentaria	14
e. Biocombustibles y polímeros	14
1.3. La aplicación de la biotecnología a los programas de mejoramiento, producción y conservación forestal.	14
3.1.1. Biodiversidad	16
3.1.2. El valor de los genes y la bioeconomía	18
1.4. Ramas de la biotecnología	19
1.5. Técnicas de la biotecnología empleadas en el sector forestal.	19
1.5.1. Las técnicas de cultivo in vitro	19
a. Almacenamiento in vitro y criopreservación.	20
b. Regeneración de plantas.	21
c. Cultivo de células en suspensión	22
1.5.2. Métodos de propagación vegetativa	22
a. Micropropagación.	23
b. Criopreservación y almacenamiento in vitro.	23
c. Selección in vitro	24
1.5.3. Tecnologías de multiplicación vegetativa	24
1.5.4. Biotecnologías basadas en marcadores moleculares	25
a. Las técnicas de huellas genómicas	27
b. La Cuantificación de la variación genética	28
c. Selección con ayuda de marcadores moleculares	28

1.5.5. Modificación genética de especies forestales (árboles transgénicos)	29
1.5.6. Proceso para obtener un organismo genéticamente modificado.	31
a. Información de la planta receptora	32
b. Información del/los donante/s	32
c. Introducción o modificación del ADN	33
d. El organismo modificado	34
CAPÍTULO II	
LOS ARBOLES TRANSGÉNICOS Y EL MEDIO AMBIENTE	37
2.1. Árboles transgénicos	37
2.2. Ventajas de los árboles transgénicos	39
2.3. Desventajas de Árboles transgénicos	43
2.3.1. Amenaza de los árboles transgénicos	43
2.4. Impactos negativos que ocasionan los árboles genéticamente modificados al ambiente.	44
a. Creación de árboles con malezas	44
b. Gran reducción de la biodiversidad	44
c. Contaminación genética	45
d. Efectos sobre la productividad de los terrenos y modificación de los procesos ecológicos	45
e. Efectos sobre la salud humana	45
2.4.1. La Opinión de las Compañías Biotecnológicas	46
2.4.2. Impactos de los árboles transgénicos	46
2.4.3 Peligros aún más graves	47
2.5. Lucha contra los bosques transgénicos	48
2.5.1. La creciente sustitución de los bosques	48
2.5.2. Algunos mitos de los árboles GM	49
CAPITULO III	
EXPERIENCIAS DE ESPECIES FORESTALES GENÉTICAMENTE MODIFICADOS	58
3.1. Plantaciones forestales transgénicas en la actualidad.	58
3.1.1. Status mundial de los árboles GM	61
3.2. Plantaciones forestales transgénicas en el futuro	62
3.3. Un desafío en beneficio del ambiente	62

3.4. Experiencias de plantaciones transgénicos a nivel mundial.	63
3.4.1. Manipulando árboles en Brasil y Chile	64
3.4.2. Biotecnología Forestal en Colombia	65
CAPITULO IV	
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN FRENTE A LOS PLANTACIONES TRANSGÉNICOS	69
4.1. Mantenimiento de bosques naturales	69
4.2. Mejoramiento de bosques naturales	70
4.2.1. Métodos de mejoramiento	71
a. Mejoramiento genético vía selección y cruzamiento	72
b. Ensayos de procedencias	72
c. Ensayos de progenie	74
d. Huertos semilleros	75
e. Incendios	76
f. Silvicultura	76
4.3. Conservación y protección de reservas naturales	77
CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO	85

CUADRO, FIGURAS E IMAGEN

Cuadro N° 01: Potencial genómico de la biodiversidad en el Perú	18
Figura N° 01: Ramas de la biotecnología	19
Imagen N° 01: Cultivo de células y órganos vegetales a través de cultivo in vitro	20
Imagen N° 02: Proceso de embriogénesis somática	22
Figura N° 02: Objetivos de las investigaciones en modificación genética de árboles forestales	38
Figura N° 03: Participación de los continentes en actividades de Investigación en modificación genética de árboles forestales.	59
Figura N°04. Usos principales de la biotecnología forestal	60

RESUMEN

Los árboles transgénicos son árboles que tienen material genético ajeno incorporado en sus células con el objetivo de darles una nueva característica. A partir de los años 80 se han desarrollado árboles transgénicos, inicialmente con el propósito de incorporar características de resistencia a ciertas enfermedades, crecimiento acelerado y menor contenido de lignina para facilitar el proceso de producción de papel.

Las investigaciones de los árboles transgénicos se realizaron en 29 géneros de árboles. El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género Pópulos (álamo) y es el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos desarrollados pertenecen a este género), debido a la facilidad con que se pueden transformar genéticamente y propagar vegetativamente. Los otros géneros estudiados son principalmente los Pinus (19%), Eucalyptus (7%), Liquidambar (5 %) y Picea (5%).

Las principales ventajas potenciales de los árboles transgénicos son: un incremento en la producción de madera, así como un incremento de la calidad y de la resistencia a los insectos, las enfermedades y los pesticidas. Además, los costes de producir y procesar la madera o las virutas se reducen, así como el coste financiero y medio ambiental de la fabricación de papel.

Los árboles GM están diseñados para plantaciones enormes de monocultivos, pero constituyen una amenaza a los ecosistemas forestales naturales biodiversos. Es importante señalar que la implantación de ese modelo crecientemente artificializado de plantaciones de árboles de rápido crecimiento a gran escala ha sido acompañado por la oposición cada vez más fuerte y extendida de las comunidades locales que resultaban afectadas por el mismo a causa de sus graves impactos sociales y ambientales.

Sin embargo, a pesar de dicha oposición y pese a los peligros potenciales resultante de la manipulación genética de árboles, los científicos siguen adelante en sus investigaciones, no sólo en el laboratorio y a nivel de ensayos controlados sino también en el campo.

ABSTRACT

The transgenic trees are trees that are incorporated into their cells with the aim of giving a new feature genetic material. From the 80 transgenic trees have been developed, initially with the aim of incorporating features of resistance to certain diseases, accelerated growth and reduced lignin content to facilitate the process of paper production.

The investigations of transgenic trees were performed in 29 genera of trees. The first transgenic tree developed in 1986 was the genus *Populus* and is most commonly used in this type of research (47% of developed transgenic trees in this genre), due to the ease with which they can transform genetically and propagate vegetatively . the other genera studied are mainly *Pinus* (29%), *Eucalyptus* (7%), liquidambar (5%) and *Picea* (5%).

The main advantages of GM trees are increased Wood production, as well as increased quality and resistance to insects, disease and pesticides. Moreover, the costs of producing and producing and processing the wood or chips are reduced, and the financial and environmental cost of papermaking.

GM trees are designed for huge monoculture plantations, but to threaten biodiverse natural forest ecosystems.

Importance, the introduction of plantations of fast growing trees on a large scale has been accompanied by strong and increasingly widespread opposition from local communities that were affected by it because of its serious social and environmental impacts.

However, despite this opposition and despite the potential dangers resulting from genetic manipulation of trees, scientists are continuing their research , not only in the laboratory and level controlled trials but also in the field, as illustrated by the case china , which already has planted well over a million insect resistant transgenic poplars by inserting genes from a bacterium (*Bacillus thuringiensis*).

INTRODUCCIÓN

La transgenesis en el sector forestal busca el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, logrando una materia prima homogénea, barata y mitigando la presión al bosque natural. En la actualidad tenemos plantaciones de árboles transgénicos, pero la mayoría son especies de interés industrial y agrario como el chopo, el eucalipto y frutales. Una de las principales cosas que tenemos que ver en un organismo genéticamente modificado (OGM) es observar cómo se desarrollan en campo definitivo y tener en cuenta como se interrelacionan estos árboles con otras especies y como reconstruyen su ecosistema. La biotecnología es considerada uno de los campos tecnológicos estratégicos de mayor potencial. Dicha tecnología es una de las líneas que soportará la reconversión tecnológica de la silvicultura de cara a los tratados comerciales pues, aunque actualmente es poco el desarrollo biotecnológico alcanzado en los diferentes sectores productivos, tendrá gran importancia para el país dado que puede lograr cierta competitividad internacional.

La tendencia mundial actual se orienta hacia el establecimiento de plantaciones forestales comerciales para obtener materia prima más homogénea, barata y reducir la presión sobre el bosque natural. No en vano, se ha comprobado que la reforestación ha sido más exitosa en países donde se han promovido incentivos fiscales e investigación para su desarrollo, como Brasil, Chile y Costa Rica; y que en el futuro, la producción de maderas para el comercio vendrá de plantaciones forestales.

El uso de la biotecnología forestal se concentra, en un 70% en países desarrollados (aplicando la investigación genética), siendo los pioneros Estados Unidos, Francia y Canadá. El estudio y el uso de la biotecnología ha sido utilizada aproximadamente en 140 géneros, pero la gran mayoría (62%) se centra en seis especies: (*Pinus*, *Eucalyptus*, *Picea*, *Populus*, *Quercus* y *Acacia*). Para el desarrollo del presente trabajo monográfico se plantea los siguientes objetivos.

- ❖ Conocer la aplicación de los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) en el Sector Forestal.
- ❖ Conocerlos antecedentes, características, beneficios y riesgos de la aplicación de la transgénesis en el sector forestal.

CAPÍTULO I

APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR FORESTAL

1.1. La Biotecnología en el sector forestal

Martínez (2010), menciona que una definición más exacta y específica de la biotecnología "moderna" es "la aplicación comercial de organismos vivos o sus productos"; que involucra la manipulación deliberada de las moléculas de ácido desoxiribonucleico (ADN). Ésta definición implica una serie de técnicas de laboratorio que durante las últimas décadas, han sido responsables del tremendo interés científico y comercial en biotecnología, la creación de nuevas empresas y la reorientación de investigaciones en universidades.

FAO (2004), manifiesta que el término biotecnología es "Cualquier uso tecnológico que utilice sistemas biológicos, organismos vivos, o derivados eso, hacer o modificar productos o procesos para el uso específico". "La de biotecnología es más que la ingeniería genética". De hecho, la mayoría (81%) de las actividades de la biotecnología en el sector de la silvicultura en los últimos años no fue relacionada con la modificación genética. La biotecnología consiste de un gradiente de tecnologías que van desde las técnicas de la biotecnología "tradicional" largamente establecidas y ampliamente conocidas y utilizadas (fermentación de alimentos, control biológico), hasta la biotecnología moderna, basada en la utilización de las nuevas técnicas del ADN recombinante (llamadas de ingeniería genética) y los nuevos métodos de cultivo de células y tejidos.

Torres y Andrés (2008), señala que la biotecnología se define como toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos, y que se aprovecha puntualmente en agricultura, farmacia, alimentos, ciencias forestales y medicina. Dicha tecnología es una de las líneas que soportará la reconversión tecnológica de la silvicultura de cara a los tratados comerciales pues, aunque actualmente es poco el desarrollo biotecnológico alcanzado en los diferentes sectores productivos, tendrá gran importancia para el país dado que puede lograr cierta competitividad internacional.

1.2. Campo de aplicación de la biotecnología.

Mentaberry (2010), menciona que la biotecnología se aplica en los siguientes campos:

a. Producción vegetal

- Caracteres cuantitativos:
 - Resistencia a enfermedades, pestes y malezas.
 - Tolerancia a sequía, salinidad y temperatura.
- Caracteres cualitativos:
 - Cambios en la composición y el valor nutricional.
 - Cambios en el desarrollo, la morfogénesis y la arquitectura de las plantas.
- Mejoramiento asistido:
 - Incremento de los rendimientos.
 - Mejoramiento de calidad.
 - Adaptación a distintos agroecosistemas.

b. Especies forestales

- Mejoramiento de especies tradicionales:
 - Métodos de propagación masiva.
 - Calidad de madera.
 - Velocidad de crecimiento.
 - Arquitectura del árbol.
- Mejoramiento de especies autóctonas:
 - Métodos de propagación masiva.
 - Desarrollo de huertos clonales.
 - Mapeo y mejoramiento de caracteres.

c. Acuicultura y recursos marinos

- Cultivos a mar abierto:
 - Reproducción de peces, crustáceos y moluscos.
 - Algas marinas.
- Cultivos de agua dulce:
 - Reproducción de especies nativas y exóticas.
- Salud animal:
 - Vacunas y reactivos diagnósticos.

- Transgénesis y mejoramiento asistido:

- Velocidad de crecimiento.
- Caracteres de calidad.

d. Industria alimentaria

- Fortalecimiento nutricional:

- Modificaciones en la composición de aminoácidos, ácidos grasos e hidratos de carbono.
- Producción y superproducción de vitaminas.
- Mejoramiento de la digestibilidad de los alimentos.
- Enriquecimiento en disponibilidad de micronutrientes.
- Enriquecimiento en metabolitos secundarios “saludables”.
- Eliminación de tóxicos, alérgenos y antimetabolitos.

- Desarrollo de procesos industriales:

- Producción o eliminación de enzimas en la materia prima.
- Control de los procesos de maduración y oxidación en frutos y hortalizas.
- Producción de enzimas, colorantes, saborizantes y edulcorantes.
- Producción de ingredientes.

e. Biocombustibles y polímeros

- Alconafta.
- Biodiesel.
- Biogás.
- Plásticos biodegradables.
- Hilos y sedas.

1.3. La aplicación de la biotecnología a los programas de mejoramiento, producción y conservación forestal.

Martínez *et al* (2010), señala que la biotecnología es el manejo de los sistemas biológicos para el beneficio de la humanidad e incluye los métodos convencionales de fitogenética y cultivo. Además, la “nueva” biotecnología ofrece una serie impresionante de técnicas para superar las limitaciones biológicas convencionales debidas a las grandes dimensiones de los árboles y a los procesos sexuales

retardados, comunes a las especies leñosas. Estas técnicas incluyen: cultivo de células y micropropagación, selección genotípica in vitro, conservación in vitro y un gran número de nuevas tecnologías en el campo de la genética molecular.

Toribio y Celestino (2000), señalan que la biotecnología actual proporciona diversas herramientas para un mejor conocimiento de las características genéticas del ser vivo utilizado en las actividades forestales, el árbol, así como para producir en masa plantas mejoradas y para conservar dichos recursos genéticos. Las aplicaciones biotecnológicas se basan en dos grandes campos de actividad, frecuentemente interconectados. Por una parte, las técnicas y metodologías propias de la Biología Molecular han dado origen al campo de los marcadores, especialmente de ADN, al de la genómica de árboles y al de la transformación genética. La tecnología del cultivo in vitro de células, tejidos y órganos, ha permitido el desarrollo de técnicas de conservación de material vegetal, particularmente de crioconservación, así como de la posibilidad de regenerar plantas completas expresando las propiedades de totipotencia celular. Todas estas biotecnologías de aplicación se están impulsando con gran fuerza en el ámbito agrícola, existiendo ya numerosas aplicaciones comerciales, y se están empezando a implementar en el sector forestal.

La conservación de recursos genéticos forestales se beneficia fundamentalmente de los desarrollos en los ámbitos de marcadores, como medio para conocer la amplitud y la distribución de la variabilidad genética a conservar. También de la crioconservación y de la regeneración de plantas, como medios para la conservación ex situ y para la puesta en práctica de la forestación clonal.

FAO (2007), indica que el bosque constituye el ecosistema terrestre de mayor complejidad donde ocurren infinidad de interacciones entre los elementos estructurales del sistema (los árboles) y los numerosos organismos que viven dentro de él. En las últimas décadas, el acelerado avance de la frontera agrícola y ganadera ha reducido sensiblemente la superficie boscosa a una tasa anual de deforestación mundial de unos 13 millones de has, a la cual nuestro país, contribuye con un promedio de 300.000 has de bosque nativo por año, urge por lo tanto actuar rápidamente en la conservación del bien común genético forestal ya que de él depende la conservación de la diversidad genética y el uso adecuado de la misma en procesos productivos de importancia socioeconómica.

Numerosos son los marcadores que se utilizan en estudios de genética ecológica con fines de conservación y domesticación de especies forestales. Una de las formas de agrupar a los diferentes tipos de marcadores genéticos utilizados en estudios de genética ecológica forestal es en función de su utilidad para reflejar el verdadero nivel de variación genética a diferentes escalas espaciales y temporales.

En base a ello podemos definir tres grupos de marcadores genéticos que se han utilizado y se utilizan actualmente los cuales a continuación se mencionan:

- Los que permiten monitorear procesos evolutivos de larga data y en grandes escalas espaciales.
- Los que permiten monitorear procesos evolutivos recientes y procesos genéticos de importancia actual en escala de paisaje.
- Los que permiten la identificación de genomas y el monitoreo del impacto actual de diferentes tipos de disturbios sobre la diversidad genética en escala local.

3.1.1. Biodiversidad.

Gutiérrez y Correa (2007), señalan que a diferencia de las visiones conservadoras, desde la concepción bioeconómica, el mayor valor económico de la biodiversidad está en los genes. En el Perú, hemos calculado la existencia de 283 millones de genes endémicos, lo cual constituye su reserva bioeconómica. Nuestra enorme biodiversidad constituye uno de los motores para la innovación y desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos y para nuestra inserción en la bioeconomía mundial. El Perú es uno de los países megadiversos como la mayoría de ellos, situado en la zona tropical. Con toda seguridad, la biodiversidad existente en el Perú constituye su mayor riqueza y la fuente para el desarrollo de una industria competitiva de nuevos negocios y de desafíos científico tecnológicos.

FAO (2007) indica que la biodiversidad forestal en términos de biodiversidad, los bosques tropicales son los ecosistemas más ricos de la tierra. Como todos los otros tipos de bosques, estos son usados por el hombre desde tiempos inmemoriales al proporcionar una serie de bienes como la madera, los alimentos y las medicinas, los cuales han ganado y perdido importancia a través de los años.

Para gestionar y conservar los bosques de forma efectiva y para tratar las causas de la deforestación y la pérdida de biodiversidad, la gestión y la conservación forestal están continuamente evolucionando. La gestión sostenible de los bosques

implica actividades que abarcan desde el nivel genético hasta el de ecosistema. La conservación forestal está llegando a ser más compleja, donde los conservacionistas nunca podrán entender las necesidades y los derechos de las personas que viven dentro y alrededor de los bosques.

Gutiérrez y Correa (2005), manifiestan que nuestra enorme biodiversidad constituye uno de los motores para la innovación y desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos y para nuestra inserción en la bioeconomía mundial. El Perú es uno de los países megadiversos, como la mayoría de ellos, situado en la zona tropical. Con toda seguridad la biodiversidad existente en el Perú constituye su mayor riqueza y la fuente para el desarrollo de una industria competitiva, de nuevos negocios y de desafíos científicos y tecnológicos. Desde el punto de vista de la utilización de las plantas medicinales, cuyo valor terapéutico no ha sido comprobado en la mayoría de los casos y que se basa en la presencia de sustancias bioactivas provenientes del metabolismo secundario.

A continuación se detalla tres alternativas

Recolección.

Que es la alternativa más común utilizada en los países en vías de desarrollo y su comercialización es principalmente como materia prima a bajos precios; esto conlleva a la destrucción del ambiente y del recurso genético.

Cultivo agrícola

Alternativa que aparentemente es de fácil incursión pero que, sin embargo desconoce que la mayoría de las sustancias bioactivas son producidas en respuesta a las diversas situaciones de estrés a que están sometidas las plantas en sus ambientes naturales, desconociendo que la tecnología agrícola se ha desarrollado para condiciones de alejadas del estrés; aunque es posible que los sistemas hidropónicos en ambientes controlados permitan manejar el momento y la intensidad del estrés para tales fines.

Biotecnología

A través de un típico proceso biotecnológico mediante cultivo de células vegetales en biorreactores. Esta alternativa permite, por un lado conservar el recurso genético y de otro producir las sustancias bioactivas con precios muy altos en el mercado de

farmoquímicos (un kilo de algunas de estas sustancias puede costar hasta dos millones de dólares).

3.1.2. El valor de los genes y la bioeconomía

Gutiérrez y Correa (2005), señalan que el mayor valor económico de la biodiversidad está en los genes. El potencial económico basado en los genes de la biodiversidad peruana conocida hasta el momento, hemos calculado la existencia de 283 millones de genes endémicos.

Asumiendo que sólo el 1% de estos genes sean de utilidad y que estos puedan ser considerados como “bonos genéticos” a un valor de 5 millones de dólares por gen (valor referencial sólo para el ejemplo), estos tendrían un valor de US\$ 14'000,000'000,000. En un escenario de comercio internacional de genes y en depósitos a plazo fijo a una tasa de interés anual de 5%, esto daría un crédito de US\$ 700 000'000,000/año de intereses (“el mendigo sentado en un banco de oro”). Estas reservas genéticas son por demás codiciadas por países altamente tecnificados pero con muy poca biodiversidad.

Cuadro N° 01: Potencial genómico de la biodiversidad en el Perú

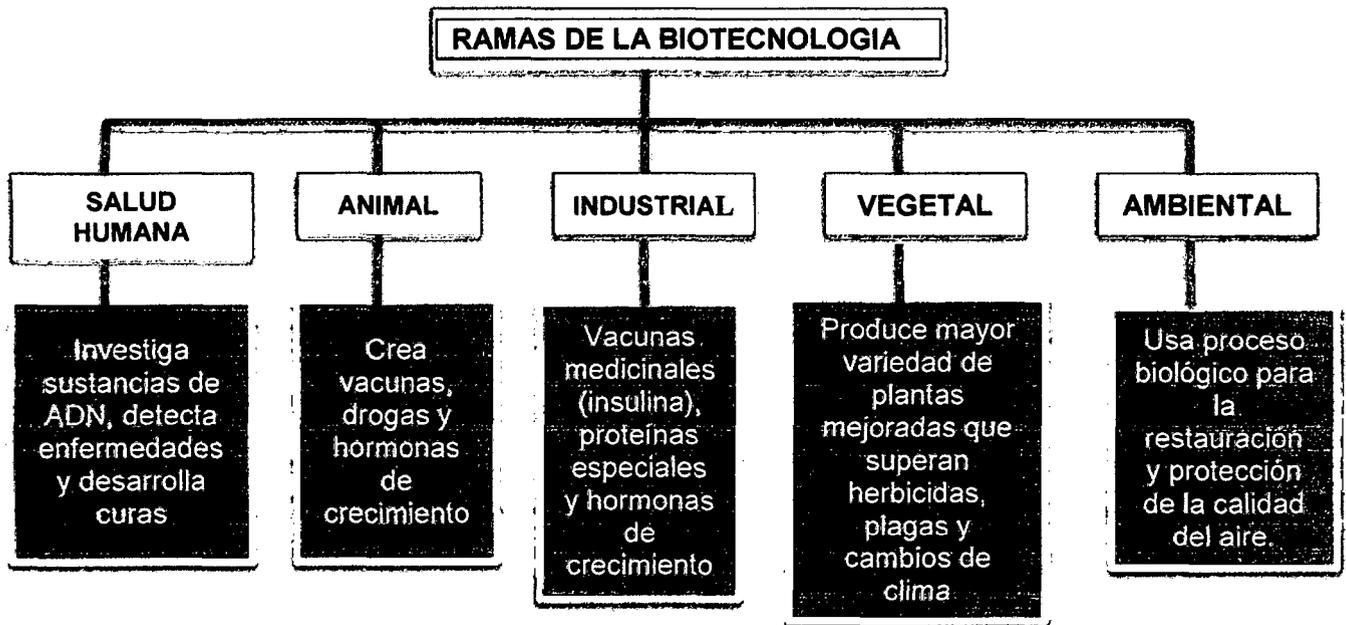
Organismos	Número de especies endémicas	Genoma Total disponible (Gpb)	Número total de genes endémicos disponibles
Mamíferos	69	207	2x10 ⁶
Aves	110	132	1.9x10 ⁶
Reptiles	98	294	1.9x10 ⁶
Anfibios	124	372	2.4x10 ⁶
Peces continentales	70	210	1.4x10 ⁶
Lepidópteros	300	50	3.0x10 ⁶
Plantas	5,530	26,845	2.7x10 ⁸
TOTAL			2.83x10⁸

Fuente: Gutiérrez y Correa (2005).

1.4. Ramas de la biotecnología

Rodríguez (2006), menciona que las ramas de la biotecnología se dividen en biotecnología de la salud humana, animal, industrial, vegetal, ambiental (ver Figura N° 01)

Figura N° 01: Ramas de la biotecnología



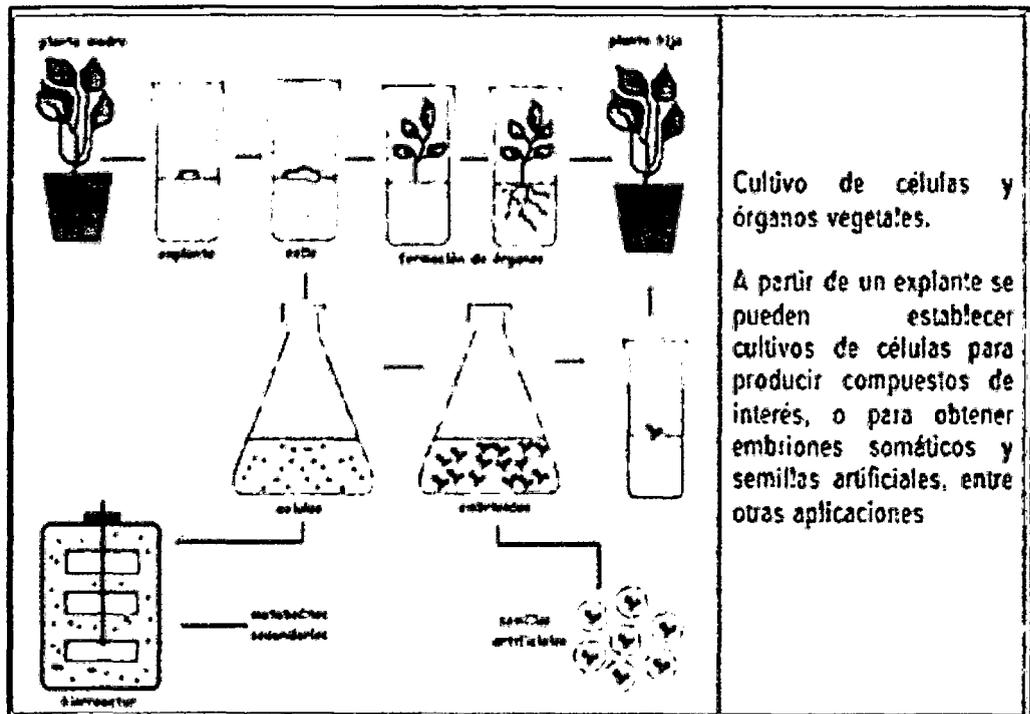
1.5. Técnicas de la biotecnología empleadas en el sector forestal.

1.5.1. Las técnicas de cultivo in vitro

Smith y Wood (1998), manifiestan que el cultivo de tejidos es una tecnología importante para los países en desarrollo con vistas a la producción de material vegetal de calidad y libre de enfermedades.

El cultivo de tejidos comprende la micropropagación, el aislamiento y cultivo de embriones, la regeneración a partir de tallo o de suspensiones celulares, el cultivo de protoplastos, anteras y microsporas. Estas técnicas se están utilizando en particular para la multiplicación de plantas en gran escala. La micropropagación ha resultado especialmente útil en la producción de material de plantación de gran calidad y libre de enfermedades de una amplia variedad de cultivos (ver Imagen N°01)

Imagen N° 01: Cultivo de células y órganos vegetales a través de cultivo in vitro



a. Almacenamiento in vitro y crioconservación.

Martínez *et al* (2010), señala que esta biotecnología comprenden el mantenimiento de células, tejidos u órganos de cultivos en los que se reduce la velocidad del crecimiento (por ejemplo disminuyendo la luz, la temperatura o los nutrientes) o se suspende (mediante inmersión en nitrógeno líquido). La crioconservación entraña muchas dificultades técnicas, especialmente en la posterior regeneración de las plantas procedentes de los cultivos crioconservados, pero los últimos resultados son en general alentadores. Aunque el almacenamiento in vitro y la crioconservación se utilizan cada vez más para el almacenamiento de germoplasma amenazado de especies agrícolas, respecto a las especies forestales tienen poca aplicación.

Sánchez (2000), manifiesta que los principales obstáculos para la conservación de germoplasma de especies arbóreas forestales son la insuficiencia de recursos económicos disponibles para el estudio, recolección y caracterización necesarios antes de almacenar cualquier germoplasma, y la poca estabilidad a largo plazo de muchas de las instalaciones existentes para el almacenamiento de semillas

La aplicación actual más importante de la crioconservación en especies forestales es la que la incluye en las estrategias de control del cambio de fase, para desarrollar la denominada forestación clonal de alto valor. Es una forma particular de conservación de recursos genéticos para su utilización en programas de mejora.

b. Regeneración de plantas.

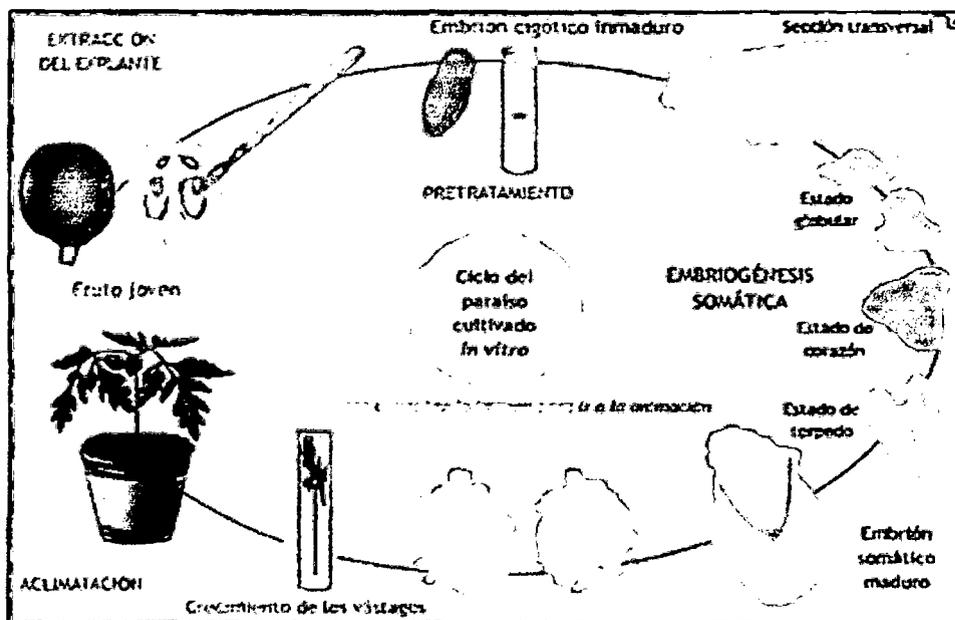
Martínez *et al* (2010), manifiesta que la regeneración in vitro de plantas se está utilizando como un medio para lograr la multiplicación rápida de individuos que se encuentran en poblaciones amenazadas, a fin de iniciar su conservación ex situ. La intensa presión que han sufrido en las últimas décadas las regiones tropicales ha conducido a la desaparición de algunas especies forestales y a poner a otras en peligro de extinción.

La regeneración se puede lograr por dos vías: organogénesis y embriogénesis somática.

- **Organogénesis:** Es la más clásica, habiéndose publicado cientos de trabajos desde los inicios del cultivo in vitro, siendo estas técnicas las que han llevado a las plantas ornamentales al ámbito comercial. La forma más común de regeneración y la que presenta mayores garantías de estabilidad genética, es la inducción del desarrollo de yemas axilares, seguida del enraizamiento de las mismas.
- **La embriogénesis somática:** Se está configurando como la opción más apropiada para la regeneración de plantas con especies forestales. En primer lugar presenta unas elevadas tasas de multiplicación mediante embriogénesis secundaria o recurrente lo que asegura la rápida amplificación de individuos seleccionados. Por otra parte, los cultivos embriogénicos suelen presentar una aceptable capacidad para la crioconservación, manteniendo todo su potencial de propagación y buena estabilidad genética. El beneficio más significativo de la embriogénesis somática es que resulta en unidades que contienen tanto un meristemo de raíz como de brote.

Los problemas más importantes de esta vía de regeneración, con la que se prevé alcanzar la automatización del proceso, radican en la necesidad de lograr cultivos sincrónicos, mejorar el proceso de maduración y lograr la inducción en tejidos procedentes de árboles adultos.

Imagen N° 02: Proceso de embriogénesis somática



c. Cultivo de células en suspensión.

Barrett *et al* (1999), manifiesta que un cultivo de células en suspensión consiste en dividir rápidamente células activas homogéneas y metabólicamente activas dispersas que crecen en un medio de cultivo líquido.

Las aplicaciones documentadas de cultivos de células en suspensión, con importancia para la silvicultura, incluyen su uso como recipientes para la inserción e integración de genes ajenos, criopreservación del germoplasma y como sistemas para el aislamiento in vitro de líneas mutantes y la selección de fenotipos resistentes/tolerantes al estrés. Además, la producción a través de biorreactores a gran escala de embriones somáticos, procedentes de los cultivos de células en medios líquidos, representa un camino potencial para la multiplicación vegetal a bajo costo y un modo de superar el problema del desarrollo asincrónico de los embriones, que se encuentra cuando se utiliza un medio sólido. Las aplicaciones actuales de las investigaciones incluyen la producción de embriones somáticos, producción de tallos, fuente de material para los estudios de conservación y transformación genética.

1.5.2. Métodos de propagación vegetativa

CDB (2000), indica que la propagación vegetativa comprende una amplia variedad de técnicas que incluyen la manipulación de los tejidos vegetales (por ejemplo secciones de tallos, hojas, raíces, semillas o incluso cultivos celulares), lo que en

definitiva permite una "repropagación" vegetativa completa de toda la planta, es decir, la producción de "variedades" clonales o líneas.

Las formas más sencillas de propagación vegetativa son las diversas técnicas de injertado y enraizado de trozos de tronco o trozos del tallo o "estaquillas". Algunas especies pueden enraizar o injertarse fácilmente en el patrón, mientras que otras especies pueden requerir "tratamientos" más elaborados a fin de que se enraícen o propaguen con éxito.

En el sector forestal, la mayoría de los métodos de clonación a escala comercial dependen de estaquillas enraizadas para fines de reforestación, aunque las técnicas de clonación avanzada son también un prerrequisito básico para la producción de árboles genéticamente modificados (GM).

Las "biotecnologías" específicas relacionadas con la propagación vegetativa en el campo forestal se distribuyen en las tres categorías principales de la micropropagación, la criopreservación y almacenamiento in vitro y la selección in vitro.

a. Micropropagación.

La micropropagación es el desarrollo de líneas clonales a partir de pequeñas muestras de tejidos como yemas, raíces o embriones extraídos de las semillas. La última, que se denomina embriogénesis somática (ES), será probablemente la tecnología de micropropagación más prometedora para el almacenamiento a largo plazo y para la producción en gran escala de árboles a partir de líneas clonales seleccionadas, particularmente para especies coníferas. La embriogénesis somática puede ser especialmente útil una vez que se ha determinado el valor genético de los clones mediante ensayos de campo. Sin embargo, los costos de desarrollo de estas tecnologías avanzadas de cultivos de tejidos son elevados en comparación con tecnologías más sencillas.

b. Criopreservación y almacenamiento in vitro.

Con esta técnica, pequeñas muestras de tejidos se mantienen a temperaturas muy frías para conservar su condición fisiológica actual. Por ello, la evaluación de genotipos para la producción eficiente de material vegetal posteriormente suele ser uno de los principales objetivos de la criopreservación. Aunque la tecnología es útil y necesaria para muchas aplicaciones en la silvicultura clonal, puede tener también

aplicaciones en programas para especies con semillas recalcitrantes, en los que el almacenamiento de las semillas constituye un importante problema.

c. Selección in vitro

Esta técnica incluye la selección para un determinado carácter o rasgo (ejm. la tolerancia a un metal pesado o a la sal) en una etapa preliminar en la fase de micropropagación. Aunque la selección in vitro se ha utilizado en cierta medida en las plantas de cultivo, los intentos en los árboles forestales se han limitado a la selección de caracteres GM expresados en árboles. Por tanto, se pueden combinar otros caracteres con los criterios básicos de selección in vitro requeridos para la clasificación GM (ejm tolerancia al mercurio en el álamo amarillo), que podrían utilizarse para identificar líneas clonales útiles para fines fitocurativos.

1.5.3. Tecnologías de multiplicación vegetativa

Torres y Andrés (2008), señalan que la tecnología de multiplicación vegetativa, tiene como objetivo la producción de materiales uniformes a gran escala a través de la clonación, el cultivo de tejidos vegetales en condiciones de laboratorio, tejido que también puede utilizarse para determinar características como la resistencia a enfermedades, tolerancia a herbicidas y a las bajas temperaturas. También presenta ciertas ventajas; evita que proliferen agentes patógenos, realizan estudios de procesos fisiológicos, se obtiene más individuos en espacios reducidos y uniformes con facilidad de transporte del material. La propagación de árboles mejorados a partir de semillas se limita por la longitud de su ciclo de vida.

La tecnología de multiplicación vegetativa, permite obtener árboles con un sello genético característico, genéticamente diferenciados, también llamados "elite". No en vano, gracias a sus evidentes beneficios, las actividades de micro propagación se están desarrollando en al menos 64 países en todo el mundo.

Acuña (2008), indica que la tecnología de multiplicación vegetativa, estas técnicas tienen como objetivo la producción de materiales uniformes a gran escala. El cultivo de tejidos vegetales en condiciones de laboratorio también puede utilizarse para seleccionar características tales como la resistencia a enfermedades y la tolerancia a herbicidas, a metales, a altas concentraciones de sal y a las bajas temperaturas.

La micropropagación (propagación clonal por cultivo in vitro) ya se utiliza en las especies agrícolas y hortícolas y existen técnicas para aplicarla a un cierto número de especies forestales. Esta técnica proporciona numerosas ventajas, entre ellas:

- Evita el riesgo de proliferación de patógenos, ya que se realiza en condiciones de esterilidad.
- Permite estudiar diversos procesos fisiológicos.
- Se pueden obtener gran cantidad de individuos en espacios reducidos.
- Permite la obtención de individuos uniformes.
- Facilita el transporte del material.

Si la propagación de árboles con miras al mejoramiento genético se hace a partir de semillas, no es posible saber cómo será ese árbol hasta su estado adulto, ya que los árboles tienen ciclos de vida largos. Es por eso que los investigadores comenzaron a usar nuevas técnicas para propagar árboles que han mostrado tener buenas características: se eligen los ejemplares que mejor representan la característica deseada y a partir del cultivo de sus células se obtienen individuos genéticamente idénticos al original (clones). Los clones se logran mediante técnicas de organogénesis (se induce la formación de órganos o tallos) y de embriogénesis somática o asexuada (en el cultivo se reproducen todas las fases de desarrollo de un embrión, hasta generar la nueva planta). Con estas técnicas se pueden obtener árboles con un sello genético característico, genéticamente diferenciados, también llamados "elite".

1.5.4. Biotecnologías basadas en marcadores moleculares

Torres y Andrés (2008), manifiestan que los marcadores son fragmentos de ADN que pueden corresponder a un gen y pueden usarse en identificación genética de árboles, localización de genes asociados a características cuantitativas y que pueden usarse en la biotecnología forestal con dos fines:

- **Identificación genética de árboles:** Los marcadores moleculares son capaces de detectar diferencias entre individuos a nivel del ADN, proporcionando el perfil genético preciso de cada organismo estudiado ("DNA fingerprint" o huella dactilar del ADN). En una población de mejoramiento esta huella dactilar permite diferenciar a los árboles y determinar si hay errores en los cultivos de campo que serían difíciles de reconocer visualmente.

- **Localizar genes que determinen características cuantitativas:** Se trata de localizar por ejemplo cualidades económicamente importantes en una especie como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, la forma del tronco y la calidad de la madera, entre otras. Una vez que se conocen esos genes, se pueden seleccionar aquellos árboles que posean los alelos deseados, sin necesidad de esperar hasta que el árbol sea adulto. Este procedimiento se denomina Selección Asistida por Marcadores (MAS) y permite elegir en las primeras etapas del crecimiento a aquellos árboles que tendrán buenas características de adultos permitiendo al productor ahorrar tiempo y trabajo.
- **Medir la diversidad genética dentro de las poblaciones:** La aplicación de marcadores moleculares sobre individuos de una misma población permite analizar cuán distintos son a nivel de sus ADN, aun cuando no se detecten diferencias fenotípicas, estimando así la riqueza y variabilidad genética de las especies.
- **Otras aplicaciones:** Los marcadores moleculares pueden, además, proporcionar información sobre los patrones migratorios (hacia dónde y en qué medida se dispersa el polen o las semillas), los sistemas de reproducción (si hay autofecundación y reproducción cruzada), y la paternidad y grado de parentesco entre árboles, por lo que constituyen instrumentos útiles para la formulación y seguimiento de programas de conservación de árboles forestales.

Rivera *et al.* (1998), manifiesta que la utilización de marcadores moleculares implica la identificación, mediante técnicas bioquímicas muy perfeccionadas, de las variaciones de moléculas celulares como el ADN y las proteínas. Contrariamente a las características fenotípicas de los individuos en estudio, como el vigor, la calidad del tronco y diversos aspectos morfológicos, los marcadores moleculares ofrecen la ventaja de que no cambian por efecto del medio ambiente, ni por la fase de desarrollo de la planta y además son muy numerosos. Estos atributos han hecho posible la aplicación de los marcadores moleculares al mejoramiento genético de los árboles

Martínez *et al.* (2010), señala que a últimas fechas se han ido aplicando al ámbito forestal diferentes marcadores que revelan polimorfismos en la secuencia de bases del ADN, permitiendo por tanto abordar la variación a nivel del genoma. A

continuación se describen algunas de sus aplicaciones relacionadas con la conservación de recursos genéticos:

a. Las técnicas de huellas genómicas

Smith y Wood (1998), señalan que gracias a sus atributos inherentes, los marcadores moleculares son mucho más precisos que los rasgos morfológicos que ayudan a establecer la identidad de un determinado árbol o para analizar su interacción genética con otros árboles. Los marcadores moleculares tienen aplicaciones importantes en la investigación relacionada con los programas avanzados de mejoramiento de especies industriales, especialmente en lo que se refiere al control de la calidad. Por ejemplo, se usan para la comprobación de la identificación clonal, la contaminación de los huertos por individuos no deseables y las modalidades de entrecruzamiento. También tienen una aplicación inmediata en la investigación complementaria sobre especies latifoliadas tropicales y especies no industriales, y en estudios taxonómicos e investigaciones sobre sistemas de reproducción.

Martínez *et al.* (2010), manifiesta que para ambos tipos de marcadores se basa en la PCR (reacción en cadena de la polimerasa); los RAPDs pueden usarse en la identificación positiva de los clones, la construcción de mapas de conexiones y estudios sobre valoración de importantes rasgos cuantitativos en los clones de interés, entre otros. En el mejoramiento y selección de los genotipos, los errores de muestreo y etiquetado son difíciles de detectar mediante una inspección visual de los árboles.

Sánchez *et al.* (2000), indica que por lo que los marcadores isoenzimáticos pueden ser utilizados para detectar estos errores. Se sabe que dichos marcadores son afectados por las condiciones ambientales y las diferentes etapas de desarrollo de la planta y no siempre prevén la distinción entre los genotipos. Por el contrario, los marcadores basados en el ADN superan estas desventajas y toman en consideración la diferenciación o la dactiloscopia, de los genotipos individuales.

De Verno *et al.* (1999), señala que al respecto se han detectado variaciones en el patrón de marcadores RAPD en material crioconservado de *Picea glauca*, posiblemente generadas durante la preparación para la congelación o durante el proceso de descongelación

b. La Cuantificación de la variación genética.

Martínez (2010), manifiesta que los marcadores moleculares son muy útiles para identificar caracteres genéticos tales como el vigor y la forma del fuste, ya que la variación causada por el medio ambiente puede, con frecuencia, inducir a errores de selección (es decir, no está claro si tales caracteres se deben a causas genéticas o a factores ambientales).

Se han utilizado marcadores para comparar la variación dentro de una población y entre poblaciones de diversas especies de árboles. La cuantificación de la variabilidad genética, como apoyo a las estrategias de muestreo para promover la conservación genética y mejorar las poblaciones de nuevas especies industriales y no industriales, es una aplicación potencialmente útil de los marcadores moleculares. Sin embargo, éstos pueden dar lugar a una subestimación de la variación genética en lo que respecta a caracteres (como el vigor y la calidad del fuste) más expuestos a la presión evolutiva, por lo que será preciso utilizarlos con precaución

c. Selección con ayuda de marcadores moleculares.

CDB (2000), señala que esta técnica consiste en una selección indirecta, basada en marcadores evidentemente asociados con caracteres genéticos importantes desde el punto de vista comercial. No siendo influidos por el medio ambiente y la fase de desarrollo, los marcadores moleculares ofrecen la posibilidad de realizar una selección temprana y eficaz (por ejemplo, la selección de individuos en calidad de madera en la fase de plántula), que es desde hace tiempo la esperanza de los silvicultores. Aunque estas posibilidades resultan muy atractivas, existen limitaciones que impedirán la aplicación a corto o mediano plazo. En primer lugar, el análisis de los marcadores es, en la actualidad, demasiado caro para que se puedan seleccionar grandes cantidades de plántulas. En segundo lugar, las asociaciones entre marcadores y rasgos económicamente importantes deben establecerse por separado para cada familia. Por consiguiente, incluso cuando se dispone de marcadores más baratos, la selección con ayuda de marcadores se utiliza sobre todo en programas de mejoramiento avanzados y complejos, es decir, programas en los que no existan problemas financieros para costear la creación y mantenimiento de estructuras genealógicas apropiadas y la aplicación de técnicas de clonación a la silvicultura.

Los marcadores genéticos son esencialmente secuencias de ADN que son indicativas de un ancestro común. El desafío para el genetista es buscar las relaciones entre estos marcadores y las características de árboles a partir de pedigríes o poblaciones específicas. Con interpretaciones correctas, los marcadores genéticos son invaluable para examinar los modelos de variación genética entre y dentro de las poblaciones, evaluar los niveles de cruzamiento externo y endogamia y la identificación genética o "fingerprinting" (huellas dactilares) de variedades o pedigríes.

Los datos de los marcadores genéticos se pueden utilizar también para ayudar a la selección inicial de los mejores genotipos, en lugar de esperar a que el árbol exprese su carácter mucho más tarde. Sin embargo, la selección asistida con marcadores (SAM) todavía se aplica de forma rutinaria en los programas de mejora genética de árboles, en gran parte debido a los inconvenientes económicos (es decir, las ganancias genéticas adicionales no son generalmente suficientemente grandes para compensar los costos de aplicación de la tecnología). Así, es probable que la SAM sólo se aplique a un puñado de especies y situaciones, por ejemplo, algunos de los principales pinos utilizados comercialmente y especies de Eucalyptus. Los marcadores moleculares son en primer lugar, por lo tanto, una herramienta de información y se usan para localizar ADN/genes que puedan ser de interés para la transformación genética, o información sobre la estructura de las poblaciones, sistemas de apareamiento y confirmación del pedigrí.

1.5.5. Modificación genética de especies forestales (árboles transgénicos)

Torres y Andrés (2008), señalan que así como se le implantan nuevos genes a plantas de soja o maíz para conferirles nuevas características a las especies forestales también pueden incorporarse genes que mejoren su crecimiento y la calidad de su madera. El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género *Populus* (álamo) y es el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos desarrollados pertenecen a este género).

Producto de las modificaciones genéticas, los árboles pueden adquirir características como:

- **Tolerancia a herbicida:** Se logran árboles tolerantes al glifosato (controlador de maleza), lo que permite aplicar el producto sin afectar el árbol, facilitando la labores de desmalezado.
- **Resistencia a insectos:** Se obtuvieron árboles "Bt" (*Bacillus thuringiensis*) que contienen un gen que codifica para una endotoxina, proveniente de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, lo cual les permite resistir al ataque de insectos lepidópteros, coleópteros y dípteros.
- **Modificación de la cantidad y calidad de lignina:** La lignina es un polímero complejo que forma parte de la pared celular vegetal y junto con la celulosa forman la madera. Los cambios en la composición química de la lignina pueden hacerla más fácilmente extraíble (INTA, 2003).
- **Modificación de la floración:** Se desarrollaron árboles transgénicos estériles para prevenir la posible dispersión del polen.
- **Otras características.** Se desarrollaron también árboles con resistencia a enfermedades, otros que se utilizan para la biorremediación de contaminantes altamente tóxicos; árboles con mayor eficiencia en la asimilación de nitrógeno; y árboles modificados para la síntesis de las hormonas giberelinas.

FAO (2004), indica que vale señalar que el proceso de mejoramiento de los árboles Genéticamente Modificados (GM) es dinámico, ya que responde a cambios permanentes que sufren las plantaciones, como la aparición de nuevas plagas, enfermedades, cambios climáticos y demandas de nuevos productos. Entre los beneficios obtenidos se pueden mencionar: la reducción de los costos al reducir el tiempo de corte de los árboles; el mayor aprovechamiento industrial y el incremento de la productividad.

Pero la biotecnología moderna avanza más allá. Los próximos pasos a dar técnicamente en materia de árboles transgénicos incluyen el mejoramiento o agregado de varias características: resistencia a virus y a insectos u hongos; tolerancia a heladas, a sequías, a temperaturas extremas, a la salinidad; mejoramiento de la calidad de fibra; mayor capacidad de captura de CO₂;

producción de compuestos de interés farmacológico y detoxificación de sitios contaminados (fitorremediación).

INTA (2003), indica que la obtención de árboles GM para obtener mejores características de interés, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad y la calidad del tronco y de la madera, no es tarea sencilla, debido a que estas características dependen de una gama de genes y aún son escasos los conocimientos disponibles sobre el control molecular de dichas características.

El desafío está en marcha. Frente al tema de transgénicos en especies forestales, la encuesta enunciada anteriormente arrojó resultados divididos respecto a si se deben impulsar dichas técnicas en el contexto nacional: el 57% de los expertos encuestados manifestaron estar a favor mientras el 43% estuvo en contra.

CDB (2000), manifiesta que la modificación genética de las plantas suele incluir la introducción artificial de genes bien caracterizados procedentes de otras especies en un nuevo genoma vegetal, que se expresará después como un carácter novedoso. La "Biolística" (es decir explosión controlada del ADN dentro del núcleo de la célula) o los vectores de microorganismo (por ejemplo. *Agrobacterium*) que llevan el gen específico de interés son utilizados normalmente para introducir el gen o los genes. Naturalmente, la expresión a largo plazo o adecuada del gen en la planta GM es crítica.

Para ser de valor económico, los árboles GM tienen que ofrecer características únicas que no pueden ser económicamente proporcionadas mediante programas convencionales de mejora genética y que son capaces de compensar los costos en el desarrollo de la tecnología.

1.5.6. Proceso para obtener un organismo genéticamente modificado.

Vegetales genéticamente modificados

Alatorre *et al* (2008), manifiesta que existen básicamente dos tipos de plantas genéticamente modificadas, aquellas cuya modificación afectó características agronómicas (rendimiento, resistencia a herbicidas o plaguicidas, tolerancia a la sequía, resistencia a plagas, etc.) o cuando se vieron alteradas sus características alimenticias (maduración retardada, nutrición, conservación, aroma y sabor, etc.).

Antes de comenzar con el análisis se deberá especificar si el vegetal genéticamente modificado ha sido sometido a evaluación anterior por otros países y en caso positivo deberá anexarse el documento final de dichas evaluaciones.

Adicionalmente se deberá presentar información completa sobre los puntos que se detallan continuación:

a. Información de la planta receptora

Alatorre *et al* (2008), manifiesta que se tomará en consideración para realizar la evaluación de inocuidad, que las plantas empleadas estén bien caracterizadas, sean estables y que posean historia de uso y/o consumo seguro, considerando especialmente la ausencia de patogenicidad o toxicogenicidad. El historial de uso puede incluir información sobre la forma en que suele cultivarse, transportarse y almacenarse, si se requiere una elaboración especial a fin de que pueda consumirse con seguridad y el papel que ocupa normalmente en la dieta (eje. qué parte de la planta se utiliza como fuente de alimento, si su consumo es importante en subgrupos particulares de la población, qué macronutrientes o micronutrientes importantes aporta a la dieta).

La información requerida incluye.

- Identificación:
 - Designación taxonómica más reciente de la planta receptora y nombre común.
 - Historia de uso seguro en alimentos, experiencias previas, parte de la planta utilizada como alimento, métodos de producción, etc.
- Patogenicidad asociada a los géneros y especies.
- Evidencia pertinente del potencial de producción de compuestos tóxicos o antinutrientes.

b. Información del/los donante/s

Se deberá proporcionar información sobre el organismo u organismos donantes y cuando se ha apropiado, sobre otros miembros del género correspondiente. Es particularmente importante que se determine si el organismo u organismos donantes o bien otros miembros de la familia estrechamente vinculados, presentan naturalmente características de patogenicidad o producción de toxinas u otros rasgos que afecten a la salud humana.

Se deberá anexar la siguiente información

- Tipo de organismo donante (vegetal, bacteria, virus, etc.)
- Identificación taxonómica más reciente y nombre habitual o común
- Historia de uso (presencia, nivel e identificación de sustancias tóxicas, factores antinutricionales, alérgenos y para microorganismos informaciones adicionales sobre la patogenicidad y la relación con los patógenos conocidos).

c. Introducción o modificación del ADN

El protocolo de transformación deberá describirse detalladamente y se presentarán las referencias relevantes del método de transformación empleado. Asimismo, se deberá evaluar el tipo de material genético insertado, la localización y orientación del ADN en el vector, número de copias insertadas, evaluar posibles componentes genéticos responsables de efectos toxicológicos, factores de patogenicidad o irritantes. Adicionalmente se evaluará la habilidad del material transgénico para ser expresado en la planta transformada y en sus líneas derivadas (ciclos vegetativos de propagación) de una forma consistente y de una manera predecible.

Para tal fin, se deberá anexar a la solicitud la siguiente información:

- Función del ADN introducido.
- Localización y orientación del material genético introducido.
- Para todo el ADN introducido:
 - Fuente y descripción detallada del ADN
 - Secuencia del ADN o mapa de restricción en caso de ser relevante
 - Caracterización de todos los componentes genéticos, incluyendo los genes marcadores, genes vectores, elementos reguladores y otros que afectan la función del ADN
 - Los genes marcadores están presentes en las plantas transgénicas como mecanismo para seleccionarlas. Para el caso de genes marcadores de resistencia a antibióticos, definir bajo qué tipo de promotor están regulados.
 - Inserción de la secuencia correspondiente al plásmido empleado en la transformación
 - Características del sitio de inserción (300 pb a los lados del sitio de inserción)
 - Describir detalladamente el método de transformación (físico o biológico)

- Número de secuencias codificadoras (efecto sobre la expresión del producto)
 - Integridad de los genes introducidos
- Regulación de la expresión: descripción de cómo el o los gen/es insertado/s es/son regulado/s en el receptor, indicando si el o los gen/es es/son inducible/s o constitutivo/sy detalles del mecanismo de regulación. Si es/son inducible/s, naturaleza o mecanismo de inducción, constancia de regulación y expresión.
 - Identificación de cualquier marco de lectura abierto dentro del ADN insertado o creados por las modificaciones del ADN contiguo en el cromosoma, incluidos aquellos que puedan dar origen a proteínas de fusión
 - Estabilidad de la modificación (Se deberá entregar información completa sobre estudios de estabilidad genética del transgen que incluya un número representativo de generaciones. Esta información deberá ser analizada empleando métodos estadísticos apropiados.)
 - Organismos hospedadores intermedios, incluidos los utilizados para producir o elaborar ADN para la transformación del organismo base.

d. El organismo modificado

Para la evaluación de la inocuidad del producto modificado, se empleará el concepto de equivalencia substancial y cuando sea requerido (detección de sustancias peligrosas, relaciones dosis respuesta, detección de diferencias significativas con su homólogo no modificado, etc.), deberán anexarse estudios en animales para garantizar la seguridad del OGM. La información que deberá anexarse para caracterizar el organismo genéticamente modificado:

- Se deberá proveer información sobre la organización del material genético insertado y los métodos empleados para su caracterización.
- En el caso que se hayan insertado porciones truncadas, se deberá establecer su tamaño.
- Propósito de la modificación
- Mecanismo de acción. Si el gen codifica para propiedades de resistencia a herbicidas, plaguicidas, tolerancia a factores ambientales estresantes; se deberá anexar información sobre las consecuencias sobre la composición final en la planta (Ej. acumulación de toxinas naturales, residuos de plaguicida o sus metabolitos, etc.)
- Estabilidad genética y fenotípica del organismo modificado

- El producto o los productos génicos u otra información tal como el análisis de las transcripciones o de los productos expresados para identificar cualquier sustancia nueva que pueda estar presente en el alimento.
- Perfil metabólico comparado con su organismo parental.
- Actividad biológica, crecimiento, características fisiológicas.
- Patogenicidad potencial.
- Potencial producción de compuestos tóxicos
- Documentación de:
 - Potenciales efectos secundarios de las modificaciones sobre la bioquímica, fisiología y metabolismo secundario.
 - Estabilidad de la construcción genética bajo diferentes condiciones (ej. cond. típicas de proceso) incluyendo datos sobre uniformidad o rango de variabilidad, frecuencia de transferencia del material insertado desde su receptor, etc.
 - Estabilidad de las características fenotípicas del OGM (datos representativos estadísticamente).
- Expresión y efecto del ADN introducido
 - Expresión de nuevos materiales o modificación de materiales nativos si la nueva planta no genera la expresión de una nueva proteína deberá determinar la expresión del ADN insertado directamente o mediante la cuantificación del ARN producido por transcripción.
 - Cuando se produzca una nueva proteína, ésta deberá ser caracterizada (identificación, secuencia aminoacídica, funcionalidad, modificaciones postraduccionales, etc.) y se determinará la concentración según su localización teniendo especial consideración en los tejidos empleados para su uso y consumo humano
 - Posibles alteraciones en la regulación y expresión de genes nativos
 - Sensibilidad y especificidad de la acción designada. Si el producto del gen es una sustancia que genera resistencia a antibióticos y éste se encuentra bajo el control de un promotor procarionta, la ausencia de expresión en el organismo receptor debe ser demostrada
- Cuando las modificaciones genéticas alteren o eliminen la expresión de constituyentes naturales o metabolitos, se deberá informar sobre los posibles efectos secundarios sobre rutas metabólicas relacionadas (rutas metabólicas en las que se está involucrando el producto del transgen, cómo cambia la

función metabólica afectada, cuál es el efecto de este cambio en el vegetal, generación de subproductos)

- Cinética de expresión del/los gen/es y nivel de expresión en las diferentes estructuras de la planta
- Demostrar si se han logrado los efectos buscados con la modificación y si todas las características expresadas se heredan de una manera estable en la cantidad de propagación necesaria para su uso en la producción de alimentos y conformes a las leyes de la herencia
- Indicar si existen datos que sugieran que uno o más genes del organismo receptor han sido afectados por las modificaciones o por el proceso de intercambio genético
- Métodos de detección e identificación del organismo genéticamente modificado, incluyendo infraestructura requerida para su identificación, reactivos requeridos, secuencias de primers y sondas evento específico para detectar el ADN transgénico, anticuerpos específicos para la proteína exógena, y nivel de confiabilidad de cada método.
- Tamaño y número de copias de todos los insertos detectables, tanto las insertadas completamente como los truncados.

CAPÍTULO II

LOS ARBOLES TRANSGÉNICOS Y EL MEDIO AMBIENTE

2.1. Árboles transgénicos

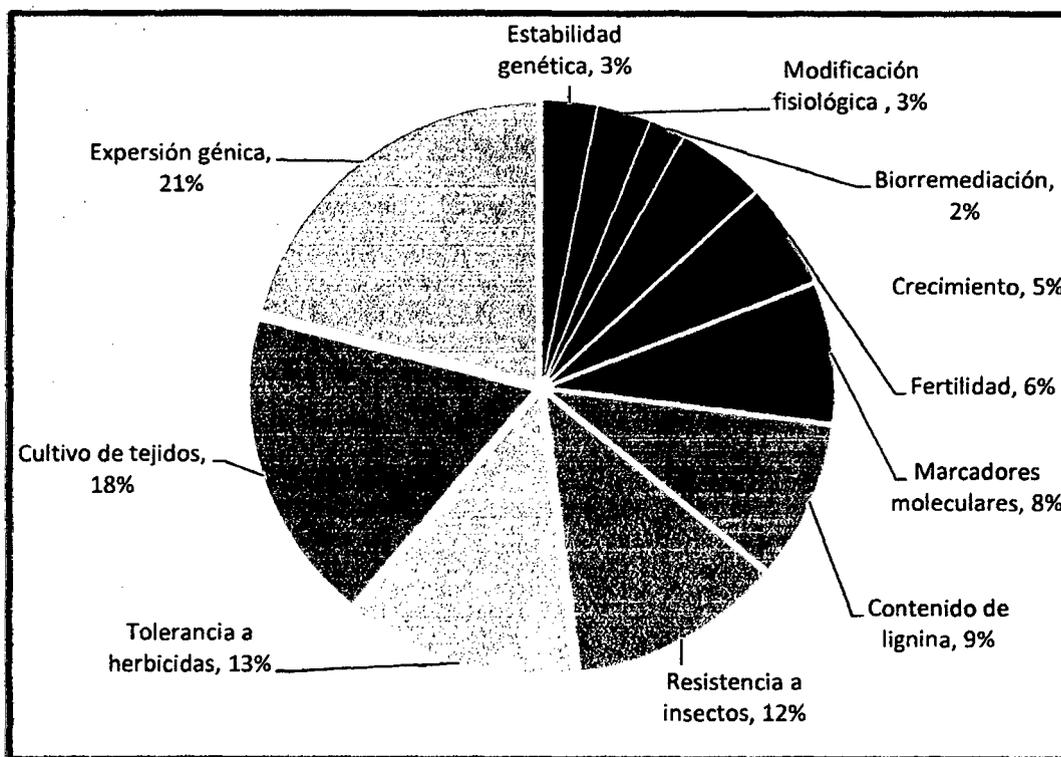
Carrere (2008), menciona que hasta ahora el debate sobre los organismos genéticamente modificados también llamados transgénicos se ha centrado principalmente en los cultivos agrícolas y sólo en menor medida en los árboles genéticamente modificados. Esto es comprensible, dado que ya se están sembrando comercialmente cultivos transgénicos por ejemplo maíz y soja que están destinados a alimentar directa o indirectamente a los seres humanos, lo que constituye una amenaza potencial para su salud.

Francois y Catacora (2008), señalan que los árboles transgénicos son árboles que tienen material genético ajeno incorporado en sus células con el objetivo de darles una nueva característica. A partir de los años 80 se han desarrollado árboles transgénicos, inicialmente con el propósito de incorporar características de resistencia a ciertas enfermedades, crecimiento acelerado y menor contenido de lignina para facilitar el proceso de producción de papel. Actualmente, los árboles transgénicos son de gran interés para la bioindustria como base de agrocombustibles de segunda generación, es decir bioetanol a partir de celulosa obtenida sobre todo de plantaciones forestales transgénicas.

FAO (2004), indica que las investigaciones de los arboles transgénicos se realizaron en en 29 géneros de árboles. El primer árbol transgénico desarrollado en 1986 fue del género *Populus* (álamo) y es el más utilizado en este tipo de investigaciones (47% de los árboles transgénicos desarrollados pertenecen a este género), debido a la facilidad con que se pueden transformar genéticamente y propagar vegetativamente. Los otros géneros estudiados son principalmente los *Pinus* (19%), *Eucalyptus* (7%), *Liquidambar* (5 %) y *Picea* (5%).

Aproximadamente la mitad de las actividades de modificación genética en árboles se relacionan con métodos de estabilidad genética y expresión genética, genómica funcional y cultivo de tejidos. Del resto de las actividades, las más dominantes son la tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos, contenido de lignina, y fertilidad (Ver Figura 2).

Figura N° 02: Objetivos de las investigaciones en modificación genética de árboles forestales.



Fuente: Informe de la FAO (2004).

Filippini (2008), señala que el hecho de que no se coman, no significa que los árboles transgénicos sean menos peligrosos. Por el contrario, los peligros que plantean los árboles transgénicos son en cierto modo más graves que los presentados por los cultivos de ese tipo, ya que los árboles viven más tiempo que los cultivos agrícolas, y esto significa que puede haber cambios no previstos en su metabolismo muchos años después de haber sido plantados. Por ejemplo, ya se está trabajando en árboles manipulados genéticamente para que no florezcan, con el supuesto objetivo de evitar la posible contaminación de árboles naturales con el polen de transgénicos.

El problema es que nadie puede asegurar que, 20 o 30 años después de plantados, uno de entre los miles o millones de árboles transgénicos no pueda florecer y contaminar a los árboles normales de la misma especie, volviendo a su descendencia estéril. El impacto que ello significaría sobre esa especie y sobre el bosque en su conjunto podría ser devastador.

2.2. Ventajas de los árboles transgénicos

FAO (2008), señala que las ventajas potenciales de los árboles transgénicos son: un incremento en la producción de madera, así como un incremento de la calidad y de la resistencia a los insectos, las enfermedades y los pesticidas. Además, los costos de producir y procesar la madera o las virutas se reducen, así como se reduce el costo financiero y medioambiental de la fabricación de papel.

El valor económico de los productos forestales en el comercio mundial es sensiblemente inferior que el de los productos agrícolas y las ventajas económicas del empleo de la biotecnología en el sector forestal están todavía por demostrar.

Carrere (2009), indica que es importante señalar que la implantación de ese modelo crecientemente artificializado de plantaciones de árboles de rápido crecimiento a gran escala ha sido acompañado por la oposición cada vez más fuerte y extendida de las comunidades locales que resultaban afectadas por el mismo a causa de sus graves impactos sociales y ambientales.

Sin embargo, a pesar de dicha oposición y pese a los peligros potenciales resultante de la manipulación genética de árboles, los científicos siguen adelante en sus investigaciones, no sólo en el laboratorio y a nivel de ensayos controlados sino también en el campo, como ilustra el caso de China, donde ya se ha plantado bastante más de un millón de álamos transgénicos resistentes a insectos mediante la inserción de genes de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*). Pero la investigación no se limita a álamos, sino a una gran cantidad de especies (sauces, abetos, nogales, etc.), entre las que, como no podía ser de otra manera, se encuentran los favoritos de las empresas papeleras: eucaliptos y pinos.

Filippini (2008), manifiesta que la industria de la pulpa y el papel es una de las principales interesadas y financiadoras de la investigación en árboles transgénicos y aspira a sustituir sus actuales plantaciones de árboles "normales" si es que las actuales plantaciones se pueden catalogar como normales con árboles transgénicos clonados que:

- Crezcan más rápido
- Contentan más celulosa y menos lignina
- Sean resistentes a herbicidas
- Sean resistentes al ataque de insectos y hongos
- Sean resistentes a la sequía y las bajas temperaturas

- No florezcan

Al mismo tiempo, la industria de la celulosa al igual que el sector de los combustibles está también investigando las posibilidades de la manipulación genética de árboles y enzimas para la conversión de la celulosa en un combustible líquido el etanol que podría ser utilizado para sustituir el petróleo en el transporte. Ello podría resultar en la instalación de enormes plantaciones de árboles transgénicos álamos, sauce, eucaliptos y otros, cuya madera sería transformada en celulosa y ésta a su vez convertida con la ayuda de enzimas también transgénicas en etanol.

Ballester y Vieitez (2009), señalan que la ventaja del sistema biotecnológico está en la rapidez de la consecución de los resultados buscados, sin embargo tiene el gran inconveniente del rechazo social hacia las plantas transgénicas, a pesar de que el sistema inserta sólo un pequeño número de genes de función conocida.

Aunque la transformación genética necesite años para que sea aceptada, los estudios genómicos tendrán un gran impacto en la recuperación del castaño a través del uso de marcadores moleculares (biotecnología) que guiarán la mejora mediante retro cruzamientos (mejora clásica) y permitirán la selección temprana de las líneas recurrentes. Es posible también que los marcadores moleculares puedan reemplazar los ensayos de inoculación y comprobación de la resistencia en los programas de selección.

Los arboles GM de crecimiento más rápido permitirían a las fábricas de celulosa hacer crecer más rápido una cantidad mayor de libra. La tolerancia a los herbicidas fue una de las esferas clave de las investigaciones iniciales en arboles GM. Los científicos han creado álamos, alerces, abetos blancos y nogales GM; en Japón han producido eucaliptos GM que pueden crecer en suelos salinos. Con árboles GM de lignina reducida el proceso de fabricación de la pulpa contaminaría menos, lo que sería muy útil a la industria de la celulosa en términos de relaciones públicas. Se está investigando también en arboles GM con resistencia a enfermedades. Los monocultivos a gran escala son especialmente susceptibles a las enfermedades.

Los investigadores también están buscando formas de obtener arboles de ingeniería genética que absorban y almacenen más carbono como supuesta

solución al cambio climático. Otros trabajan en la obtención de árboles de ingeniería para limpiar la contaminación. El físico Freeman Dyson sugirió incluso que en menos de 50 años los científicos serán capaces de crear árboles de ingeniería genética para que Marte sea habitable, convirtiéndolo en un atractivo destino para el turismo espacial.

Martínez *et al* (2010), manifiesta que los rasgos que hasta ahora se han tomado en consideración para la modificación genética potencial de los árboles son resistencia a herbicidas, floración reducida o esterilidad, resistencia a insectos y química de la madera. Si bien los programas convencionales de mejora genética han prestado atención a la resistencia a insectos y la calidad de la madera (pero no a muchos de los aspectos específicos de la química de la madera), probablemente tendrán poca capacidad para incorporar rasgos como resistencia a herbicidas o floración reducida.

Floración reducida o esterilidad: La floración reducida en árboles forestales puede ser deseable para dirigir los productos de la fotosíntesis hacia la producción de madera y no hacia tejidos reproductivos. No obstante, como esta reasignación de recursos no está bien cuantificada en este punto, la principal justificación para promover la floración reducida o la esterilidad es reducir sustancialmente el caudal genético a poblaciones silvestres adyacentes de la misma especie. Así se puede promover una mayor aceptación de plantaciones intensivas de árboles GM contiguas a bosques naturales.

Resistencia a insectos. Es ya corriente el desarrollo de cultivos genéticamente modificados con resistencia a los insectos, pero tales cultivos dan lugar también a algunas de las situaciones ecológicas de más complejo tratamiento. La primera cuestión inquietante es la posible toxicidad de los compuestos producidos en plantas GM resistentes a los insectos cuando se cultivan específicamente para consumo humano o para los de animales como parte de cadenas alimentarias.

En segundo lugar, los ecologistas se preocupan por el cruce con parientes silvestres y por la evolución de la resistencia en las propias plagas, como respecto a la resistencia a herbicidas. Un grave problema adicional en la silvicultura es que el largo tiempo de crecimiento de los árboles da a muchas generaciones de poblaciones de insectos la posibilidad de desafiar el mecanismo de resistencia

El método de modificación genética más desarrollado para la resistencia a insectos en la silvicultura, como en la agricultura, ha sido el uso de genes de un agente patógeno natural transmitido por insectos, *Bacillus thuringiensis* (Bt). Los álamos están de nuevo entre las especies arbóreas con las que más ha avanzado la tecnología. Está en marcha la investigación y el desarrollo de otros compuestos para no tener que depender del grupo relativamente reducido de toxinas naturales Bt. Dadas las complejas ramificaciones ecológicas y las preocupaciones públicas en torno a las plantas GM resistentes a insectos, serán precisas muchas pruebas de laboratorio y de campo con una buena base científica.

Resistencia a herbicidas. La resistencia a herbicidas en los álamos es probablemente la tecnología mejor desarrollada de modificación genética en árboles forestales. La primera preocupación respecto a las plantas GM resistentes a herbicidas es el hecho de que se desarrolla la resistencia en la propia cizaña. El riesgo puede ser bastante menor en la silvicultura que en la agricultura, ya que los herbicidas se aplican sólo por corto tiempo y menos veces durante el período inicial de la plantación. Además, en las plantaciones forestales no es necesario eliminar por completo las malas hierbas, de manera que hay menos presión selectiva en favor de la resistencia en las malas hierbas

Química de la madera. Ya es técnicamente posible alterar genéticamente la química de la lignina en los árboles para fabricar pasta con más facilidad y de manera más ecológica. Se han modificado genes importantes en el proceso de formación de la lignina en la madera para producir una composición única de la madera en árboles muy jóvenes. Sin embargo, se han encontrado también genes de efectos relativamente más amplios sobre la química de la madera (por ejemplo, un importante gen recesivo en el pino taeda), de modo que las propiedades de la madera pueden modificarse también por selección y mejora genética convencionales. Hay que tener en cuenta muchas de las mismas consideraciones ecológicas y económicas, con o sin tecnología de transformación genética

2.3. Desventajas de Árboles transgénicos

2.3.1. Amenaza de los árboles transgénicos

Ribeiro (2008), menciona que mientras que los cultivos transgénicos siguen siendo objeto de arduas polémicas y resistencias en todo el mundo, al tiempo que se acumulan cada vez más datos sobre contaminación, fallas de rendimiento, aumento de uso de agrotóxicos e impactos a la salud y el ambiente, nuevas amenazas se abren en el horizonte, con la presión creciente de las empresas para introducir árboles transgénicos. El motor principal de la industria es producir materia prima más barata para papel y celulosa para etanol, a costa de aumentar los fuertes impactos que ya tienen los monocultivos forestales en el ambiente, los bosques, las comunidades indígenas, negras y campesinas.

Frente a esta presión, y en función de los potenciales impactos sobre la biodiversidad, la octava Conferencia de las Partes del Convenio de Diversidad Biológica, que se reunió en Brasil en marzo de 2006 citado por Ribeiro (2008), tomó una resolución donde se invita a los países a “aplicar el enfoque de precaución a la utilización de árboles genéticamente modificados”. Existen 138 organizaciones de los países donde se están realizando investigaciones con árboles transgénicos, incluyendo ambientalistas, campesinas, indígenas y otras donde expresan sus principales preocupaciones.

En primer lugar, explican, este tipo de investigación se realiza para “consolidar y expandir un modelo de monocultivos de árboles que ya ha demostrado resultar en graves impactos sociales y ambientales en muchos de nuestros países”. Analizan a continuación los impactos que tendrían los diferentes tipos de investigación que se están realizando.

- Las investigaciones que apuntan a lograr árboles de crecimiento más rápido significarán una absorción mayor de nutrientes del suelo, agotándolos más rápido, y al mismo tiempo un impacto más grave sobre el agua del que ya han demostrado causar los monocultivos de árboles.
- La investigación para árboles manipulados genéticamente para resistir bajas temperaturas, con el objetivo de avanzar sobre regiones más frías y zonas más altas de montaña, erosionará nuevos ecosistemas y el sustento de comunidades en zonas que aún no han sido afectadas por los actuales monocultivos.

- Los árboles con propiedades insecticidas, podrían resultar en la mortandad de una cantidad de otras especies de insectos no objetivo, con los consiguientes impactos sobre las cadenas alimenticias de la fauna local.
- Los árboles con resistencia a herbicidas, implicarían impactos sociales y ambientales aún mayores, destruyendo flora y fauna local en el lugar de la plantación y alrededores, ya que la fumigación necesariamente es aérea y sobre la salud de los habitantes en esas regiones.
- Finalmente, argumentan las organizaciones firmantes, los árboles manipulados para facilitar el procesamiento de celulosa, con menor contenido de lignina componente que les da fuerza estructural a los árboles, creará árboles débiles y enfermizos, que los hará susceptibles a daños graves al entorno, frente a tormentas y fenómenos climáticos cada vez más extremos.

2.4. Impactos negativos que ocasionan los arboles genéticamente modificados al ambiente.

Manzur (2000), manifiesta que recientemente la organización WWF hizo un llamado de alerta sobre los peligros de los arboles transgénicos. Señala que, a diferencia de los cultivos, que han sido más estudiados y domesticados, existe un inadecuado conocimiento de la biología y ecología de los árboles. En la gran mayoría de las pruebas de campo solo se examinan efectos directos de la característica manipulada, pero no sus efectos más amplios sobre el medio ambiente y los riesgos asociados. Entre los peligros que señala esta organización tenemos:

a. Creación de árboles con malezas

Existe riesgo que los arboles de rápido crecimiento o los resistentes a herbicidas se transforman en pestes desplazando a especies nativas de crecimiento lento. Por ejemplo, la *Acacia mangium* transgénica, que se pretende producir en Indonesia, produce millones de semillas, que si son resistentes a herbicidas, las hará muy difícil de erradicar.

b. Gran reducción de la biodiversidad

Los arboles resistentes a herbicidas contribuirán a eliminar el sotobosque y los organismos del suelo por el rociado de herbicidas; asimismo, los arboles resistentes a insectos que produzcan hojas y frutos tóxicos afectarían a otras especies y a los microorganismos del suelo. Los arboles sin flores afectarían la presencia de polinizadores y de aquellas especies que se alimentan de sus frutos. Se teme por lo

tanto una gran reducción de la biodiversidad asociada a los bosques en riqueza y abundancia sobre todo de insectos como también de aves y mamíferos que utilizan el bosque como lugares de refugio, alimentación y reproducción. La plantación de bosques transgénicos podrá llevar a la creación de bosques silenciosos, a la esterilización del paisaje con inmensas extensiones de terrenos estériles.

c. Contaminación genética

El informe de WWF señala que el polen de pino puede viajar 600 kilómetros cruzando fronteras nacionales y continentales y contaminar otras especies. La larga vida de los árboles aumenta este riesgo de contaminación y también el de los otros impactos. El escape de genes que reducen el contenido de lignina es especialmente preocupante, ocasionando la pérdida de su fortaleza para resistir el viento el cual originaría un efecto devastador en los bosques nativos.

d. Efectos sobre la productividad de los terrenos y modificación de los procesos ecológicos

Los árboles transgénicos modificados para crecer más rápido se cosechan en más corto tiempo, lo que implica rotaciones más cortas uso más intensivo del suelo, mayor demanda de agua y menos oportunidad de reciclaje de nutrientes. Esto afectaría la productividad de los terrenos a largo plazo. La mayoría de las pruebas de árboles transgénicos no consideran los efectos sobre los ciclos hidrológicos y de nutrientes.

e. Efectos sobre la salud humana

Valverde (2006), indica que los peligros a la salud que ocasionan los árboles transgénicos a los seres humanos, son similares a los producidos por otros cultivos GM, pero podrían ser más intensos. A continuación se mencionan dos efectos negativos en los seres humanos

- El uso de la *Agrobacterium*; es utilizada como vector para crear muchos árboles transgénicos, es una bacteria del suelo que ocasiona tumores en plantas infectadas y es capaz de transferir genes hacia las células humanas y animales. Los científicos han advertido que la *Agrobacterium* es extremadamente difícil de erradicar de las plantas transgénicas creadas y por lo tanto pueden servir como un vehículo potencial para la transferencia horizontal no intencionada de genes hacia bacterias del suelo y otras especies, incluyendo seres humanos que entran

en contacto con cultivos transgénicos. Este peligro aumenta enormemente con los árboles GM, especialmente debido a su extenso sistema de raíces. La rizósfera, sistema radicular vegetal, es un conocido "punto caliente" para la transferencia horizontal de genes. La *Agrobacterium* tiene la ventaja de mediar la transferencia horizontal de genes, creación de nuevas bacterias y virus que causan enfermedades, como el cáncer en animales incluyendo los seres humanos.

- Otra amenaza para la salud la constituyen las toxinas Bt y otros transgenes, que podrían extenderse ampliamente en el polen de los árboles transgénicos. Todas las toxinas Bt utilizadas como transgenes, incluyendo las que confieren tolerancia al glifosato tenían similitudes con alérgenos conocidos y por tanto pueden provocar alergias.

2.4.1. La Opinión de las Compañías Biotecnológicas

Manzur (2000), señala que los investigadores y las compañías se defienden diciendo que los árboles transgénicos ayudaran a preservar los bosques nativos, pues serian plantaciones especializadas, en terrenos eriazos marginales de árboles para producción de madera o papel, reduciendo la presión sobre los pocos bosques nativos que quedan en el mundo. Aseguran además que se facilitara el procesamiento de la madera y se generara papel más barato.

Conocemos sin embargo que la conservación de los bosques nativos a nivel mundial no tiene relación con la creación de biotecnologías sofisticadas, sino con la implementación de medidas efectivas para su conservación y uso sustentable. Es difícil pensar además, al menos en nuestro país, que ocurra plantación de bosques transgénicos en terrenos eriazos y marginales ya que esto no ha ocurrido ni siquiera con árboles normales. Por el contrario los bosques nativos siguen siendo crecientemente reemplazados por especies exóticas.

2.4.2. Impactos de los árboles transgénicos

Fancois y Catadora (2008), manifiestan que los riesgos ecológicos asociados a los árboles transgénicos son aún más serios que de los cultivos agrícolas transgénicos debido a que los árboles viven más tiempo, lo que significa que pueden ocurrir cambios en su metabolismo muchos años después de haber sido plantados. Además, los árboles son diferentes a los cultivos porque generalmente no han sido

domesticados y el conocimiento científico sobre los ecosistemas de bosques es muy escaso. Los riesgos más importantes son:

- Desplazamiento y desalojo de las comunidades locales y la destrucción de formas tradicionales de interrelación.
- Reemplazo del uso de tierra destinada a la producción de alimentos por producción energética resultando en el aumento de los precios de los alimentos y de la tierra.
- Agotamiento de las fuentes hídricas provocando sequías y escasez de agua para la población local.
- Deterioro del medioambiente por la pérdida de biodiversidad y contaminación de los recursos naturales, especialmente agua y suelo por el uso de agroquímicos y monocultivos forestales intensivos que provocan erosión.
- Concentración de poder de las alianzas que surgen entre grandes empresas, como la industria biotecnológica y la industria papelería, por ejemplo la alianza entre Hauser (industria de papel) y Chevron (industria química) para convertir la biomasa en agrocombustibles.

2.4.3 Peligros aún más graves

Carrere (2009), señala que el hecho de que los árboles no se coman, no significa que los árboles transgénicos sean menos peligrosos que otros cultivos de ese tipo. Por el contrario, los peligros que plantean los árboles transgénicos son en cierto modo más graves que los presentados por los cultivos de ese tipo, ya que los árboles viven más tiempo que los cultivos agrícolas, y esto significa que puede haber cambios no previstos en su metabolismo muchos años después de haber sido plantados. Por ejemplo, ya se está trabajando en árboles manipulados genéticamente para que no florezcan, con el supuesto objetivo de evitar la posible contaminación de árboles naturales con el polen de transgénicos. El problema es que nadie puede asegurar que, 20 o 30 años después de plantados, uno de entre los miles o millones de árboles transgénicos no pueda florecer y contaminar a los árboles normales de la misma especie, volviendo a su descendencia estéril. El impacto que ello significaría sobre esa especie y sobre el bosque en su conjunto podría ser devastador.

Por otro lado, el polen de los árboles puede ser llevado por el viento a enormes distancias. Ello significa que los árboles transgénicos pueden fácilmente contaminar

con su polen a árboles localizados a gran distancia y generar así graves impactos sobre los bosques. Por ejemplo, un pino radiata transgénico resistente al ataque de insectos plantado en Chile puede a la larga contaminar a los pinos de esa misma especie en su lugar de origen en los Estados Unidos, pudiendo exterminar a una amplia gama de insectos y generar graves impactos sobre las cadenas alimenticias vinculadas a los mismos.

2.5. Lucha contra los bosques transgénicos

Ribeiro (2008), señala que la lógica perversa de las empresas, esto se podría "solucionar" agregando a estos árboles genes "Terminator" para que sus semillas sean estériles; asimismo, justificar que se "legitime" esta tecnología suicida, abriendo la puerta para aplicarla también a las semillas agrícolas.

Científicos como la doctora Ricarda Steinbrecher, han mostrado que si en los cultivos agrícolas, esta tecnología nunca podría funcionar completamente (sumando entonces los problemas de la contaminación a los problemas de la esterilidad), en los árboles sería aún más riesgoso, porque nadie puede prever los cambios metabólicos y mutaciones que puede sufrir un árbol durante toda su vida, a causa de cambios en el clima, el suelo o el ecosistema, haciendo imprevisible como expresarán los árboles estos constructos genéticos.

Es fundamental que todos sepan que plantaciones de árboles transgénicos no harán más que exacerbar todos los impactos de los monocultivos actuales. En efecto, árboles de crecimiento más rápido agotarán el agua más rápidamente; habrá una mayor destrucción de la biodiversidad en los desiertos biológicos de árboles modificados para ser resistentes a insectos y no tener flores, frutos ni semillas; se destruirá el suelo a un ritmo mayor mediante el aumento de la extracción de biomasa, la mecanización intensiva eliminará aún más empleos y el aumento del uso de agrotóxicos afectará la salud de la gente y de los ecosistemas y se quitará el sustento a más comunidades que serán desplazadas para hacer lugar a "desiertos verdes" aún más desprovistos de vida que los actuales.

2.5.1. La creciente sustitución de los bosques

Maewan Ho y Cummins (2005), manifiestan que los árboles forestales tienen una larga vida, su sistema de raíces es extensivo e interactúa con numerosas especies en la biota del suelo, las cuales son cruciales para reciclar, almacenar y mantener

los nutrientes en el ecosistema forestal. Por encima del suelo, los árboles proporcionan sombra, hogar y alimento a comunidades indígenas y a casi 2 millones de especies de insectos, aves, mamíferos, otras plantas, epífitas, hongos y bacterias.

Todos los seres humanos dependen de los bosques de una u otra manera ya sea con agua limpia, hábitat, alimentos, plantas medicinales y como santuarios recreacionales y espirituales. La mayoría de ellos, especialmente los bosques tropicales, son esenciales para el ciclo del agua que lleva la lluvia hacia los cultivos y para regular la temperatura de la tierra, evitando que algunos lugares sean muy calientes o muy fríos. Los bosques absorben dióxido de carbono y producen oxígeno; en ese sentido son los "pulmones" del planeta.

2.5.2. Algunos mitos de los arboles GM

Chris Lang (2004), indica que en su artículo digital denominado Arboles genéticamente modificados "La amenaza definitiva para los bosques". En dicho artículo menciona los mitos relacionados con los arboles GM; los cuales que a continuación se mencionan:

- **Arboles GM de crecimiento mas rápido no ayudaran a aliviar la presión sobre los bosques nativos**

A primera vista el argumento de que plantar árboles GM que crezcan más rápido significa "producir más madera en menos tierra" parece convincente. Quienes proponen los arboles GM alegan que puesto que la demanda de productos de la madera está aumentando, al producir más madera en las plantaciones de árboles GM que crezcan más rápido se necesitara cortar menos árboles en los bosques nativos.

Las plantaciones de rápido crecimiento producen madera adecuada para la industria de la pulpa y el papel, para carbón o para puntales para minas. Producir más fibra para la industria de la celulosa no cambiara la demanda de maderas tropicales duras decorativas y de alta calidad para la industria de la construcción proveniente en su mayor parte de los bosques tropicales. La demanda de madera no es la única causa de la deforestación. Los bosques se abren y se construyen carreteras que atraviesan, quedan sumergidos por represas hidroeléctricas o se los tala para plantar cultivos comerciales (como la

soja) o criar ganado. La minería y la extracción de petróleo en los bosques causan un daño enorme tanto a los bosques como a las personas que allí viven.

Lo probable que los arboles genéticamente modificados para que crezcan rápido consuma todavía más agua que los árboles que actualmente se utilizan en las plantaciones forestales industriales, lo que se verá a más ríos y arroyos secos un mayor descenso de los niveles piezómetros y más pozos que se secan. Los nutrientes se tomaran del suelo más rápido y esto hará que se necesiten mas fertilizantes químicos. Los arboles GM crecerán más rápido que los árboles nativos y podrán ser muy invasivos de los bosques circundantes, desplazando la vegetación y destruyendo el hábitat de los animales, las aves, los insectos y los hongos que van evolucionado para vivir en los bosques nativos.

- **Los arboles GM no pueden ayudar a revertir el cambio climático**

La idea de que plantar árboles puede ayudar a reducir el cambio climático se basa en el falso supuesto de que una tonelada de carbono emitida al quemar carbón de petróleo es igual a una tonelada de carbono contenida en un árbol.

El carbono almacenado en forma de combustible fósil bajo tierra es estable y no entran en la atmosfera a no ser que las corporaciones hagan un pozo lo extraigan y lo quemen. Para que las plantaciones forestales puedan permanecer como almacén de carbono hay que protegerlas e impedir que se incendien, que las plagas o enfermedades las destruyan y que se las talle y evitar que los arboles mueran y se pudran.

La modificación genética de los árboles para reducir el contenido de lignina no soluciona la contaminación de las fabricas de celulosa. Para producir pulpa kraft blanqueada los árboles se astillan, se cocinan a presión, se lavan y luego se decoloran. En el proceso de cocción se usan productos químicos tóxicos para quitar la lignina una sustancia parecida a la goma que mantiene unidas las células de la madera y hace que los arboles sean fuertes. La lignina hace que el papel amarillo, y por lo tanto todo resto de lignina debe ser blanqueado.

Los científicos forestales alegan que al modificar genéticamente los árboles para que reflejen menos lignina han encontrado la forma de que las fábricas de celulosa contaminen menos. "La parte costosa del proceso de fabricación de la

pulpa y el papel desde las perspectivas tanto económica como ambiental puede atribuirse a la eliminación de las ligninas. Por lo tanto es muy conveniente desarrollar medios por los cuales se reduzca el contenido de lignina o resulte más fácil extraer las ligninas. Entre los riesgos asociados a los árboles GM de lignina reducida se incluyen árboles debilitados en su estructura, más vulnerables a las tormentas. Los árboles de lignina reducida son más susceptibles de contraer enfermedades virales. Disminuir la lignina puede reducir las defensas de los árboles contra ataques de plagas lo que aumenta el uso de plaguicidas. Los árboles con poca lignina se pudrirán más fácilmente lo que tendrá serios impactos sobre la estructura del suelo y la ecología.

Si los árboles GM de lignina reducida se cruzaran con árboles del bosque estos impactos no se verían limitados a las plantaciones. Aunque los árboles GM de lignina reducida podrían ser menos competitivos que los árboles nativos, se los plantaría en enormes cantidades. Si la plantación estuviera cerca de una pequeña población de árboles nativos de la misma especie, los árboles GM podrían interferir en la reproducción de los árboles nativos de la misma especie de forma abrumadora. Los ecosistemas podrían ser invadidos por árboles que no pueden resistir tormentas y que corren el riesgo de sufrir ataques de plagas e infecciones virales que podrían acabar localmente con los árboles nativos de la misma especie. También podrían conllevar un rápido aumento de las poblaciones de insectos.

- **Árboles GM resistentes a los insectos no conllevarán un menor uso de plaguicidas**

Los monocultivos forestales se enfrentan a la amenaza permanente de ataques de insectos. Cuando esto ocurre la única solución es muy a menudo la aplicación de plaguicidas químicos. La biotecnología ofrece la posibilidad de árboles GM resistentes a los insectos. Los árboles GM resultantes producen su propio insecticida, que mata los insectos que intentan alimentarse del árbol. Los científicos de Forest Research, en Nueva Zelanda han modificado genéticamente *Pinus radiata* de esta manera. Los defensores de los árboles GM alegan que con esta novedad habrá menos necesidad de fumigar las plantaciones con plaguicidas.

Sin embargo, las plagas tienen una probabilidad mayor de desarrollar resistencia a un insecticida que está siempre presente. El algodón Bt modificado genéticamente se ha plantado mucho en China. Aunque al principio supuso una reducción del uso de plaguicidas, hay signos de que el gusano bellotero del algodón está desarrollando resistencia al algodón Bt. Liu Xiaofeng, de la oficina del algodón del Departamento de Agricultura de Henan dijo recientemente a Reuters que dentro de seis o siete años el gusano bellotero ya no sería afectado por los árboles de algodón Bt modificado genéticamente. Si las plagas se volvieran resistentes a los árboles GM que generan insecticidas, la "solución" de los encargados de las plantaciones sería fumigar aún más plaguicidas.

Basta que las plagas no desarrollen resistencia, los árboles transgénicos Bt pueden tener una ventaja sobre los árboles de los bosques, más vulnerables a ataques de insectos, aumentando así los riesgos de que los árboles Bt invadan los bosques circundantes. Si así lo hicieron, los árboles transgénicos Bt trastornarían la dinámica de las poblaciones de insectos tanto en los bosques naturales como en las plantaciones.

- **Los árboles GM con tolerancia a herbicidas no conllevarán un menor uso de herbicidas**

En 1995, Monsanto produjo en Brasil un eucalipto GM con tolerancia a herbicidas. El glifosato es el ingrediente activo del herbicida Roundup de Monsanto; la empresa se jacta de que sus productos de glifosato "están entre los herbicidas más usados del mundo". Monsanto los describe como "herbicidas no selectivos de amplio espectro". En otras palabras los herbicidas con glifosato matarán prácticamente cualquier cosa verde con la que entren en contacto.

Las plantaciones de árboles GM con resistencia a herbicidas podrían resultar en el aumento del uso de herbicidas por dos razones; primero, el hecho de que los árboles no serán dañados por el herbicida puede fomentar el uso irresponsable de herbicidas de parte de los capataces de las plantaciones. Las plantaciones de árboles GM pueden fumigarse en cualquier etapa del crecimiento del árbol.

En segundo lugar, los árboles GM tolerantes al Roundup fueron diseñados para usarse en plantaciones donde el herbicida utilizado es Roundup. El uso de un

solo herbicida para eliminar las malezas aumenta la probabilidad de que las malezas desarrollen resistencia a ese herbicida.

Se necesitarían aún más herbicidas en caso de que los arboles GM resistentes a herbicidas se cruzaran con árboles relacionados fuera de la plantación, o si los arboles GM se expandieran como maleza fuera de las plantaciones.

- **Riesgos de contaminación genética**

El "cruzamiento exogámico"; término usado por los científicos para los árboles de las plantaciones que se cruzan con árboles del bosque es uno de los mayores riesgos asociados con los ensayos de campo y las plantaciones comerciales de árboles GM. En un artículo publicado en 2003 Malcolm Campbell y sus colegas del Departamento de Ciencias Vegetales de la Universidad de Oxford reconocieron este riesgo: "Puesto que la mayoría de los árboles de las plantaciones están emparentados con un gran número de árboles silvestres o ferales, se cruzan de forma exogámica y presentan un fin de genes de larga distancia a través de su polen y a veces de sus semillas, es probable que entre los activistas y el público surjan preocupaciones considerables acerca del uso a gran escala de los árboles de ingeniería genética".

La solución de los científicos forestales al cruzamiento exogámico es producir arboles GM que no florezcan. La posibilidad de monocultivos forestales estériles puede parecer buena desde la perspectiva corporativa, pero si los arboles fueran realmente estériles esto significaría miles de hectáreas de árboles sin flores, polen, nueces ni semillas. Ningún pájaro o insecto podría vivir en una plantación así y la biodiversidad de la plantación sería a un más baja que en los monocultivos forestales de hoy.

Es casi imposible probar que los arboles GM son realmente estériles y que así permanecerán a lo largo de su vida. Los arboles viven mucho tiempo y la única forma de saber si los arboles modificados genéticamente para ser estériles permanecerán estériles toda la vida es realizando repetidamente ensayos que duren los cientos de años que puede vivir el árbol.

Los científicos admiten que hay problemas con los intentos de obtener árboles estériles mediante ingeniería genética. Por ejemplo, Ron Seder botánico de la Universidad de Carolina del Norte, y Simcha Lev-Yadun, geneticista vegetal de la

Universidad de Haifa, Israel, escribieron en una carta a Nature Biotechnology: "Las estrategias más comunes de supresión del flujo de genes se basan en la supresión de los genes esenciales para el desarrollo de las estructuras reproductivas, especialmente el polen y las semillas. Estos enfoques se ven limitados de dos formas. El primer problema es que la supresión de la actividad de los genes puede no ser completa; el segundo es que los mismos transgenes pueden sufrir un silenciamiento génico que resulte en que la supresión se revierta".

El término "silenciamiento génico" refiere al hecho de que los genes pueden "prenderse" o "apagarse" en distintos momentos durante la vida del árbol como resultado de las situaciones de estrés como frío o calor extremos, sequía, tormenta, enfermedad o plagas.

Como explica Steinbrecher, hace mucho tiempo que los científicos dejaron de discutir si sería posible impedir que los genes de las plantas GM escape a la naturaleza. En su lugar discuten cual podría ser el impacto de la contaminación genética y muchos de ellos niegan que exista un problema.

- **Contaminación transgénica inevitable e ineludible**

Los árboles forestales son altos, de larga vida y producen abundante polen y semillas que pueden ser transportados bien lejos. Estos árboles también se reproducen asexualmente mediante clones que se dispersan a largas distancias de la planta madre promoviendo por lo tanto una mayor contaminación transgénica. De esta manera, la contaminación de árboles nativos por parte de árboles GM es inevitable e ineludible.

Los árboles GM con poca lignina aumentan la destrucción de bosques y formas de vida. Los árboles con poca lignina son más susceptibles, no solo a daños por tormentas, sino también a ataques de insectos, hongos y bacterias.

Aunque las plantaciones de árboles GM con poca lignina beneficiarán a la industria del papel, también destruirán las formas de vida locales, forzando a las comunidades a desplazarse hacia lugares donde tendrán que talar otros bosques para poder cultivar.

Las plantaciones forestales a menudo están seguidas por la destrucción de bosques nativos. En Sumatra, por ejemplo, extensas áreas de bosques fueron destruidas para alimentar las fábricas de pulpa y papel; las zonas desbrozadas fueron reemplazadas por plantaciones de acacia. El argumento de que plantar árboles GM de crecimiento más rápido es "cultivar más madera en menos tierra" es engañoso. El producir más fibra para la industria del papel no cambiará la demanda de maderas finas tropicales de alta calidad para la industria de la construcción. Además, la demanda de madera no es la única causa de la deforestación; la construcción de vías, las represas, los monocultivos (como la soya en Brasil o Argentina) o la ganadería, minería y extracción petrolera también contribuyen a la destrucción de los bosques nativos, y la plantación de árboles GM no hará nada para detener la destrucción.

Los árboles GM de crecimiento rápido consumirán más agua que las plantaciones de árboles industriales actuales, drenando aún más los pocos acuíferos que quedan e impactando en los bosques adyacentes.

- **Más cambio climático**

Valverde (2006), indica que Las plantaciones de árboles son mucho menos efectivas en secuestrar carbono que los ecosistemas forestales nativos. Un ecosistema nativo forestal es un sumidero de carbono efectivo. Se ha estimado que los bosques neotropicales de América Central y del Sur se muestran, por lo menos, una tonelada de carbono por hectárea al año gracias al aumento de biomasa por encima del suelo (es posible que se secuestre más carbono en el suelo).

Los árboles de crecimiento rápido y de poco contenido lignínico también se enraizarán más fácilmente, devolviendo dióxido de carbono a la atmósfera con mayor rapidez, exacerbando el calentamiento global en vez de aminorarlo.

Unos investigadores utilizaron un escáner multiespectral térmico infrarrojo de la NASA para averiguar el contenido energético de los bosques experimentales en Oregon en 1989. Encontraron que un área desbrozada tenía una temperatura superficial de 51,8°C, es decir, era más caliente que una cantera cercana, la cual registró 50,7°C. Una plantación de abetos con árboles maduros registró 29,9°C, comparado con los 29,4°C del bosque de abetos naturales; en contraste, la

temperatura más baja fue de 24,7°C y fue registrada en un bosque de 400 años de edad. El efecto de enfriamiento del ecosistema forestal natural no solo es importante para aliviar el calentamiento global; también es un indicador significativo de sustentabilidad.

- **Los árboles transgénicos insecticidas destruyen la biodiversidad**

No hay duda de que los árboles transgénicos insecticidas matarán a muchos insectos, tanto a especies deseadas como a especies no deseadas; es decir, antes de que las plagas desarrollen resistencia en unos seis o siete años, según una estimación de Liu Xiaofeng del Departamento de Agricultura de Henan, un científico que cuestiona el algodón transgénico plantado en China.

La mayor amenaza a la biodiversidad es la expansión de las características insecticidas hacia bosques naturales. Los experimentos de laboratorio han demostrado que las toxinas Bt producidas en los cultivos transgénicos pueden perjudicar a los predadores beneficiosos que se alimentan de insectos plaga, incluso cuando las plagas no sean afectadas por las toxinas (Dutton et al, 2002). Se encontró que una clase de toxinas Bt (Cry1A) afectaban a ratones, mariposas y otras especies benéficas. Otra clase (Cry3A) actúa contra los insectos del orden Coléoptera (escarabajos y gorgojos), que abarca a unas 28600 especies. Las toxinas Bt son conocidas por salir de las raíces y penetrar en el suelo impactando potencialmente a la biota. La reducción de las poblaciones de insectos impactará a su vez en aves y mamíferos que se alimentan de ellos.

- **Los desiertos verdes**

Los árboles GM han sido contruidos para ser tolerantes a herbicidas de amplio espectro que matan a cualquier otra planta. Si esto no fuera suficiente para crear lo perjudiciales que son, estas sustancias también afectan a toda clase de animales incluyendo a los seres humanos. Las plantaciones de árboles GM tolerantes a herbicidas realmente son desiertos verdes y el daño colateral a bosques y cultivos adyacentes debido a la aspersión de herbicidas es inevitable como también la contaminación del agua potable.

El glifosato es la causa más frecuente de quejas y envenenamientos en Gran Bretaña. Se han reportado trastornos de varias funciones del organismo después de su uso en niveles normales.

Además, duplicó el riesgo de aborto espontáneo tardío y los hijos de personas expuestas al glifosato tenían defectos neurológicos de comportamiento elevados. El Roundup (la marca comercial del glifosato producido por Monsanto) causó una disfunción de la división celular que podría estar vinculada con el cáncer humano. También causó el desarrollo tardío del esqueleto fetal en ratas de laboratorio. Inhibe la síntesis de esteroides y es genotóxico en mamíferos, peces y sapos. Es letal y altamente tóxico para gusanos y lombrices.

El herbicida glufosinato de amonio está relacionado con la toxicidad neurológica, respiratoria, gastrointestinal y hematológica y con defectos congénitos en los seres humanos. Es tóxico para las mariposas, un sin número de insectos beneficiosos, larvas de almejas, ostras y otros invertebrados acuáticos, así como a algunos peces de agua dulce como la trucha arco iris. También inhibe las bacterias y hongos benéficos presentes en el suelo, especialmente, aquellos que fijan el nitrógeno.

CAPITULO III

EXPERIENCIAS DE ESPECIES FORESTALES GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

3.1. Plantaciones forestales transgénicas en la actualidad.

Martínez *et al* (2010), indica que en algunos países de América Latina se están desarrollando proyectos de transformación genética de árboles para su comercialización.

En Chile, a través de un proyecto conjunto del sector privado en acuerdo con la Universidad, se está tratando de obtener pinos resistentes a la mariposa del brote. Investigadores brasileños han participado en el desarrollo de álamos y eucaliptos transgénicos en conjunto con Francia y USA. Por otro lado, en ese país, empresas del sector privado de la industria del papel están desarrollando eucaliptos con la cantidad de lignina modificada. En México se están ensayando nuevos genes involucrados en la modificación de la madera para incrementar el crecimiento en *Pawlonia sp.* En Argentina tanto el INTA como la UNLP han iniciado proyectos de modificación genética de clones de álamos para modificar la lignina, para tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos.

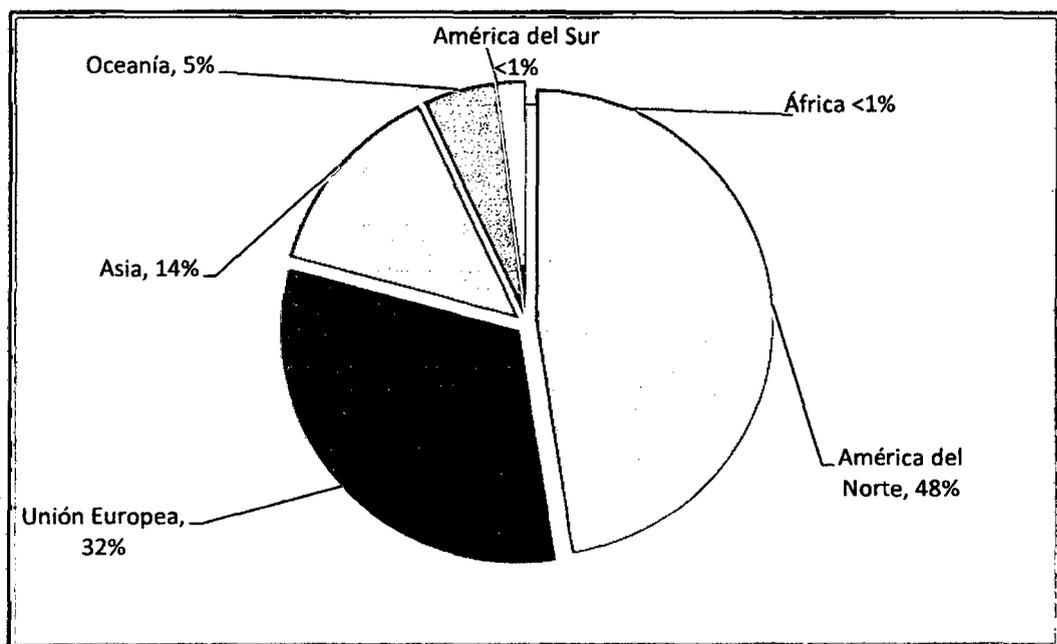
La mayoría de las especies arbóreas están todavía muy próximas de sus parientes silvestres y tienen altos niveles de variación genética para la mayoría de los rasgos de interés. De ahí que, para ser valiosos, los árboles genéticamente modificados (GM) deban ostentar rasgos únicos que no puedan producirse económicamente mediante programas de mejora genética convencional, y que puedan compensar los costos y el tiempo invertidos en poner a punto la tecnología.

En los últimos años ha habido una serie de informes de expresión exitosa transitoria de genes introducidos en varios sistemas de cultivo de eucaliptos. Sin embargo, comparados con las cosechas agronómicas, importantes desde un punto de vista económico, los éxitos se han limitado a las especies forestales por lo que se refiere a la producción de plantas obtenidas genéticamente y al aislamiento de genes funcionales y económicamente útiles, se ha emprendido un trabajo preliminar en este campo y la transformación de las hojas de eucalipto y cultivos de células utilizando procedimientos mediante *Agrobacterium*

FAO (2008), señala debido al hecho que el 95 % de los bosques mundiales son naturales o seminaturales, el uso de árboles genéticamente modificados tiene muchas posibilidades de continuar siendo un fenómeno relativamente limitado.

FAO (2004), manifiesta que se están desarrollando investigaciones con árboles transgénicos en todos los continentes (ver Figura N° 3) y por lo menos en 35 países. En 16 de estos países ya se realizan experimentos a campo, mientras que en los restantes la experimentación se restringe a los laboratorios o invernaderos. Hasta la fecha solamente China ha divulgado el establecimiento de plantaciones aprobadas para su comercialización de álamos genéticamente modificados, que ocupan algo menos de 500 has.

Figura N° 03: Participación de los continentes en actividades de Investigación en modificación genética de árboles forestales.

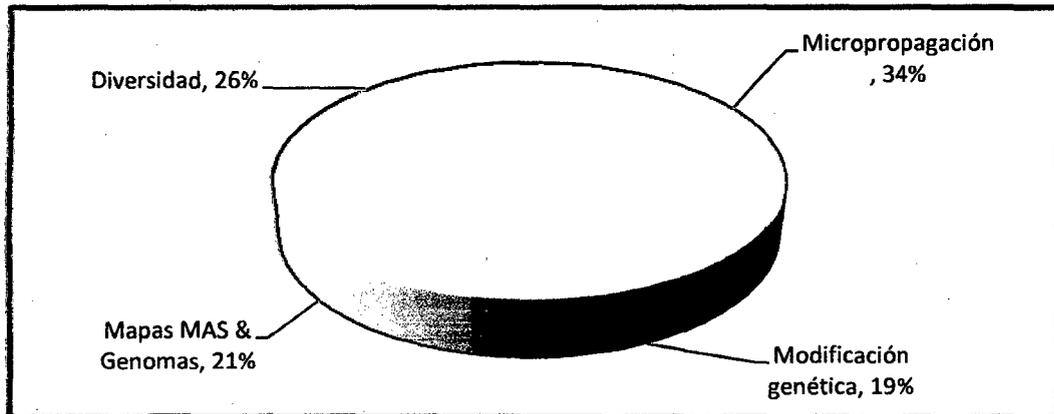


Fuente: Informe de FAO (2004).

La FAO (2004) publicó un documento titulado 'Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification' en el que define el término biotecnología, como "cualquier uso tecnológico que utilice sistemas biológicos, organismos vivos, o derivados de estos, haciendo o modificando productos o procesos para uso específico". "La biotecnología es más que la ingeniería genética", de hecho, la mayoría (81%) de las actividades de la biotecnología en silvicultura, durante los

últimos 10 años, no han tenido relación con modificación genética. (Ver Figura N°04).

Figura N°04. Usos principales de la biotecnología forestal.



Fuente: FAO 2004

Según la FAO, la manipulación genética en el sector forestal se adelanta en al menos 35 países, aunque en la mayoría de los casos se trata solo de experimentos de laboratorio, con algunas pruebas sobre el terreno. En el 2004, en el mundo se llevaban a cabo más de 210 ensayos sobre el terreno de árboles genéticamente modificados, en 16 países, los cuales aún continúan siendo ensayos sin liberación comercial. La mayoría de estas pruebas tienen lugar en Estados Unidos y se limitan esencialmente a los géneros *Populus*, *Pinus*, *Liquidambar* y *Eucalyptus*. De los 16 países, tan sólo China que lleva la delantera comparado con otros gracias a que su legislación en este campo es menos rigurosa que la de países como EE.UU, donde hay mayor resistencia y presión de las ONGs ambientalistas ha reportado resultados legales en materia de distribución comercial de árboles transgénicos, dado que la manipulación genética de éstos está entrando en su fase comercial. Por esta se ha visto en el mundo la necesidad de llevar a cabo estudios de evaluación de impacto ambiental con una metodología acordada a nivel internacional.

Filippini (2008), señala que los forestales tomaron diferentes medidas para "mejorar" esos monocultivos. El primer paso fue investigar cuáles eran los árboles más apropiados para cada país y para cada ambiente y seleccionar los que presentaran mejores cualidades para el propósito buscado: la producción de madera para la industria. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) tuvo un papel central a este respecto, en primer

lugar definiendo a estos monocultivos como "bosques" y fundamentando la necesidad de promover la plantación de tales "bosques" en los países del Sur. Pero el papel de la FAO no se limitó a eso, sino que promovió la investigación sobre especies que consideró aptas para la plantación en particular de eucaliptos y fue uno de los principales vehículos para convencer a los gobiernos sobre la conveniencia de promover este tipo de plantaciones en sus países.

Pero la investigación no se limita a álamos, sino a una gran cantidad de especies (sauces, olmos, abetos, nogales, etc.), entre las que como no podía ser de otra manera, se encuentran los favoritos de las empresas papeleras: eucaliptos y pinos. Desde que en 1988 se plantaron los primeros álamos GM en Bélgica ha habido varios cientos de ensayos de campo de árboles GM, la mayoría en EEUU. Hace dos años, la Administración Forestal Estatal de China aprobó el cultivo comercial de álamos GM. En China ya se han plantado bastante más de un millón de álamos CiM con resistencia a insectos.

3.1.1. Status mundial de los árboles GM

Maewan Ho y Cummins (2005), manifiesta que la mayor parte de la modificación genética de los árboles forestales ha sido realizada con la transferencia de DNA mediado por *Agrobacterium*; pero también se ha utilizado el bombardeo de partículas con DNA fijado o "transformación biolística". De las 205 aplicaciones permitidas a finales del 2003, el 73,5% se originó en EEUU, el 23% en otros países miembros de la OECD (en particular Bélgica, Canadá, Francia, Finlandia, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, España y Suecia) y el 3.5% en otras partes (Brasil, China, Chile, Sudáfrica y Uruguay).

Cuatro características se reportan para el 80% de las aplicaciones de permisos: tolerancia a herbicidas (32%), marcadores de genes (27%), resistencia a insectos (12%) y modificación de lignina (9%). De las especies de árboles involucradas, *Populus*, *Pinus*, *Liquidambar* (Árbol de goma dulce) y *Eucalyptus* representan el 85% de las aplicaciones.

A pesar de que el interés comercial era bajo durante los primeros diez años del desarrollo de árboles transgénicos, éste ha crecido paulatinamente desde finales de los años 90. A finales del 2003, el 45% de los permisos otorgados fueron para la industria y principalmente para álamos. Pero hasta el momento no ha habido un

empuje concertado para la comercialización de árboles GM excepto en China, donde se han plantado más de un millón de árboles transgénicos en iniciativas de "reforestación" a raíz de la aprobación de su comercialización otorgada por la Administración Estatal de Silvicultura de China en el 2002.

3.2. Plantaciones forestales transgénicas en el futuro

Maewan Ho y Cummins (2005), manifiestan que el proceso de mejoramiento es dinámico, ya que responde a cambios permanentes que aparecen en las plantaciones como la aparición de nuevas plagas, enfermedades, cambios climáticos y demandas por desarrollo de nuevos productos del sector forestal. Entre los beneficios obtenidos se pueden mencionar: la reducción de los costos al reducir el tiempo de corte de los árboles (debido al mayor crecimiento de los mismos); el mayor aprovechamiento industrial (debido a la mejor forma de los árboles) y el incremento de la productividad (debido a la mejor calidad de la madera obtenida). Pero, la biotecnología moderna avanza más allá. Los próximos pasos a dar en materia de árboles transgénicos, incluyen el mejoramiento o agregado de varias características:

- Resistencia a virus.
- Resistencia a insectos u hongos.
- Tolerancia a heladas o al frío.
- Tolerancia a sequías.
- Tolerancia a temperaturas extremas.
- Tolerancia a la salinidad.
- Mejoramiento de la calidad de fibra.
- Mayor capacidad de captura de CO₂.
- Menor contenido de lignina.
- Mayor producción de celulosa.
- Rápido crecimiento.
- Producción de compuestos de interés farmacológico.
- Detoxificación de sitios contaminados (fitorremediación).

3.3. Un desafío en beneficio del ambiente

Maewan Ho y Cummins (2005), señalan que el éxito de los programas de mejoramiento forestal durante los últimos 50 años indica que hay posibilidades de intensificar la productividad y los rendimientos de forma sostenible utilizando el

mejoramiento convencional de los árboles forestales. En este objetivo, también el uso de árboles genéticamente modificados podría resultar ventajoso en un futuro. Por ahora, la obtención de árboles GM para mejorar características de interés, como la tasa de crecimiento, la adaptabilidad, y la calidad del tronco y de la madera, no es una tarea sencilla. Esto sucede debido a que estas características dependen de una gama de genes y aún son escasos los conocimientos disponibles sobre el control molecular de estas características.

Sin embargo, la única manera de conservar los bosques nativos es acelerando el crecimiento de las especies cultivadas, para tener montes más productivos y eso se logrará incorporando a los programas de mejoramiento genético, las nuevas herramientas biotecnológicas. El desafío está en marcha.

3.4. Experiencias de plantaciones transgénicos a nivel mundial.

FAO (2008), manifiesta que la investigación y las aplicaciones de la biotecnología en el sector forestal avanzan rápidamente, sobre todo en los países desarrollados, incluyendo las técnicas de manipulación genética, según un nuevo estudio a nivel mundial sobre este campo realizado por la FAO.

El uso de la biotecnología forestal se concentra en un 70 % en países desarrollados, con Estados Unidos, Francia y Canadá como protagonistas. India y China son las dos naciones más activas dentro del grupo de países en desarrollo o con economías de transición.

Aunque la biotecnología forestal se extiende al menos a 140 especies de árboles, la mayor parte de esta actividad un 60 % se centra en tan solo seis géneros: Pinus, Eucalyptus, Picea, Populus, Quercus y Acacia; de las cerca de 2700 especies iniciativas en biotecnología registradas en el mundo en la última década, la modificación genética representa alrededor del 19 %.

En conjunto, la manipulación genética en el sector forestal se realiza en al menos 35 países, aunque se supone que en la mayoría de los casos se trata de experimentos de laboratorio, con tan solo algunas pruebas sobre el terreno, según la FAO.

En el mundo se llevan a cabo actualmente más de 210 ensayos sobre el terreno de árboles genéticamente modificados en un total de 16 países, aunque la mayoría de

estas pruebas tienen lugar en Estados Unidos y se limitan esencialmente a las especies *Populus*, *Pinus*, *Liquidambar* y *Eucalyptus*. Tan solo China ha señalado la distribución comercial de árboles transgénicos, cerca de 1,4 millones de plantas en una superficie de 300 - 500 hectáreas en 2002.

3.4.1. Manipulando árboles en Brasil y Chile

Carrere (2009), señala que en el caso de Brasil, la investigación se ha centrado en el eucalipto y ya se han autorizado ciertas limitaciones ensayos de campo con árboles genéticamente modificados de esa especie.

En este caso, el objetivo central es el de proporcionar más, más barata y mejor materia prima para la industria de la celulosa para exportación.

Sin embargo, muchas otras empresas están dando apoyo a esta investigación a través de dos instituciones:

- 1) El "Projeto Genolyptus", financiado por un consorcio de empresas de la celulosa y el papel que incluye a Aracruz Celulose, Celmar Indústrias de Celulose e Papel, BahiaSul Celulose, International Paper do Brasil, Jarcel Celulose, Celulose Nipo-Brasileira, Klabin/Riocell, Veracel Celulose, Lwarcel Celulose e Papel, Rigesa Celulose, Papel e Embalagens, Votorantim Celulose e Papel y Zanini Florestal, entre otros.
- 2) El Consejo de Informaciones sobre Biotecnología (CIB), entre cuyos asociados se incluyen, entre muchos otros Arborgen, BASF, Bayercropsciences, Cargill, Dow Agrosciences, DuPont, Monsanto, Nestlé, Syngenta Seeds.

El gobierno brasileiro ya aprobó una serie de ensayos de campo, que se han implementado principalmente en el Estado de Sao Paulo (São Simão, Mogi Guaçu, Itararé, Itatinga, Brotas, Angatuba, Santa Cruz das Palmeiras, Borebi, Altinópolis, Luiz Antônio, Avaí, Guararema, Taquarivaí, Paranapanema), en tanto que hay uno en Minas Gerais (Coimbra), y otro en Rio Grande do Sul (Eldorado).

En Chile, la investigación apunta a dar solución a dos problemas que afectan a las grandes empresas del sector forestal de ese país. A continuación se detallan:

Por un lado, manipular pinos para volverlos resistentes a un insecto que está atacando a las plantaciones (la polilla del brote). Y el otro, modificar genéticamente a eucaliptos para hacerlos más resistentes al frío y poder así entonces extender las

plantaciones, que están siendo activamente resistidas por los Mapuche, más hacia el sur del país y más arriba en la cordillera. A eso se suma la manipulación genética para la resistencia al cancro resinoso que afecta a los pinos y para lograr un crecimiento más rápido y un mayor contenido de celulosa en el caso de los eucaliptos.

Entre quienes llevan a cabo la investigación se encuentran GenFor (una joint venture entre la canadiense Silvagen, la norteamericana Interlink y la Fundación Chile) y el Consorcio Genómico Forestal, que opera en el Centro de Biotecnología de la Región del Bío Bío de la Universidad de Concepción. La investigación está siendo financiada por las principales empresas plantadoras (Forestal Arauco y Forestal Mininco), por el estatal Instituto Forestal INFOR y por las universidades de Concepción, Austral y de la Frontera.

3.4.2. Biotecnología Forestal en Colombia

Torres y Andrés (2008), manifiestan que la aplicación de la biotecnología en la reproducción y el mejoramiento de especies usadas para la producción forestal son relativamente recientes en Colombia.

Entre las acciones desarrolladas, en el 2004, a través de la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif) se estableció la Red Colombiana de Biotecnología Forestal Rebiofor, creada con la finalidad de recoger y divulgar información, sobre el tema emitida por diferentes instituciones privadas o académicas, entidades oficiales, empresas y particulares, entre ellas empresas como Pizano, Refocosta, Smurfit, Kanguroid ó entidades académicas como las universidades Javeriana, Distrital, y la Universidad Tecnológica de Pereira - UTP.

A través de la red ha sido posible conocer como por ejemplo la Universidad Tecnológica de Pereira trabaja en la caracterización molecular de aliso, nogal cafetero, guadua y ocobo, en zonas cafeteras y como de acuerdo con el 'Reporte sobre avances técnicos 2002' emitido por Conif en el 2003, también se ha desarrollado en Colombia la aplicación de técnicas de micropropagación utilizadas para la multiplicación de especies forestales recalcitrantes, con características de interés comercial.

En este mismo sentido, en la Unidad de Biotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana ha presentado avances y resultados destacados en la medida que ha logrado desarrollar herramientas biotecnológicas para la caracterización, conservación, manejo, y mejoramiento de especies forestales de interés ecológico y económico, a la vez que ha diseñado estrategias para la capacitación y transferencia de tecnología entre los sectores académicos y productivos del país comprometidos con el fortalecimiento del sector forestal (vi veristas, productores de semilla y biofábricas).

Paralelamente, dicha Unidad desarrolla actualmente estrategias para identificar microorganismos benéficos asociados con especies forestales, para realizar una reintroducción de estos a las plantas, favoreciendo así la producción de árboles sanos, capaces de tolerar mejor el transplante a condiciones de campo; asimismo, y durante los últimos diez años, ha estandarizado protocolos para la micropropagación de teca (*Tectonagrandis*), eucalipto (*Eucalyptus globulus tereticornis*), aliso (*Alnus acuminada*), podocarpus (*Decusocarpus rospigliosi*) y ocobo (*Tabebuia rosea*).

Paralelamente, la empresa Refocostades del 2006 dio marcha a la construcción de una planta piloto de producción de mini estacas de Teca. Igualmente en su proyecto de Villanueva inició dos proyectos de tecnificación de viveros para la propagación clonal de Eucalipto pellita.

Así y en la actualidad, se está dando buen impulso a la "silvicultura clonal", una ciencia en pleno desarrollo que ha dado excelentes resultados en campo, de hecho se han logrado resultados importantes en géneros como *Eucalyptus*, *Pinus*, *Tectona*, *Gmelina* y *Acacia*.

Es posible entonces, vislumbrar la importancia que ha tomando la tecnología en Colombia y de acuerdo con los resultados de la encuesta realizada, es posible afirmar también que hay consenso sobre la relevancia de esta tecnología para el sector forestal, no sólo en el mundo sino en el país, donde aunque hay algunos avances, falta recorrer camino para alcanzar un nivel aceptable de competitividad en el mercado global.

Igualmente, aunque existen preocupación es ambientales sobre la pertinencia de adelantar desarrollos biotecnológicos en el área forestal colombiana, el país está a

tiempo de desarrollar dicho sector a través de los productos de la biotecnología para evitar la pérdida de las ventajas comparativas que han sostenido a Colombia en una posición de favorabilidad frente a sus competidores.

Entre los principales argumentos sobre la importancia de aplicar biotecnología en el sector forestal, presentados en la encuesta, se destaca la necesidad de preservar ventajas competitivas frente a competidores directos tales como Chile y Brasil, que han logrado desarrollos significativos en el tema.

Entre las respuestas obtenidas de los especialistas encuestados que consideran que el país cuenta con ventajas para el desarrollo de la biotecnología aplicada en el campo forestal, cabe resaltar la reiterada mención de nuestras ventajas agroecológicas por la posición geográfica, biodiversidad, riqueza en recursos genéticos, existencia de especies valiosas comercialmente y disponibilidad de recursos humanos y de investigación reconocidos en el campo. También se hizo mención de lo importante de establecer alianzas entre el sector privado, los centros de investigación y las universidades.

Otro punto que reveló interés fue la preocupación de los encuestados por la necesaria consolidación de un sistema interconectado y articulado de actores socioeconómicos que gestionen el conocimiento biotecnológico como generador de alto valor agregado para el sector, traducido en más y mejores intercambios con el resto del mundo.

En definitiva, el tema de biotecnología forestal debe ser discutido como referencia para otros estudios y para la toma de decisiones al respecto tanto del sector privado, educativo e institucional que debe contemplar la planeación estratégica del sector forestal en Colombia, desde el trabajo mancomunado de dichos estamentos.

Manzur (2000), señala que un informe actual de la organización Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) denuncia que desde 1988 a noviembre de 1999, ha habido 116 pruebas de campo de árboles transgénicos. Los países involucrados en estas pruebas son 17, pero los principales son EEUU (69 pruebas de campo) y Canadá, con 61% del total. Señala el informe que la plantación comercial de árboles transgénicos puede ocurrir pronto en Chile, China e Indonesia.

Hay alrededor de 24 especies de árboles que han sido modificadas genéticamente. Estas son: manzano, plátano, pera, ciruela, durazno, castaño, olivo, cerezo, naranjo, papaya, nogal, olmo, pino, abedul, eucaliptos, álamo, teca y Acacia mangium. Entre las características insertadas tenemos: manzanas que no se ponen café al cortarlas ya que se silencia el gen de la polifenol oxidasa, álamos que crecen mas rápido al silenciar el gen de producción de lignina, y los árboles contienen 50% menos lignina y 15% menos celulosa. Arboles resistentes a pestes, herbicidas y enfermedades fungosas. Arboles tolerantes a salinidad, sequía y resistentes a heladas. Alamos que no florecen para impedir la fertilización cruzada y aumentar su tasa de crecimiento. En EEUU y Canadá, la mayoría de las liberaciones son para resistencia a insectos o enfermedades (53%) y tolerancia a herbicidas (17%).

CAPITULO IV

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN FRENTE A LOS PLANTACIONES TRANSGÉNICOS

4.1. Mantenimiento de bosques naturales

Van Frankenhuyzen y Beardmore (2004), señalan que los bosques nativos concentran más de la mitad de la biodiversidad terrestre del planeta, juegan un papel fundamental en la regulación climática, el mantenimiento de las fuentes y caudales de agua y la conservación de los suelos. Son hogar y sustento de comunidades indígenas y campesinas; y de ellos obtenemos bienes y servicios indispensables para nuestra supervivencia, como alimentos, maderas y medicinas.

Los árboles en los bosques naturales tienen una larga vida. Su sistema de raíces es extensivo e interactúa con numerosas especies en la biota del suelo, las cuales son cruciales para reciclar, almacenar y mantener los nutrientes en el ecosistema forestal. Por encima del suelo, los árboles proporcionan sombra, hogar y alimento a comunidades indígenas y a casi dos millones de especies de insectos, aves, mamíferos, otras plantas, epífitas, hongos y bacterias.

Todos los seres humanos dependen de los bosques de una u otra manera ya sea por agua limpia, hábitat, alimentos, plantas medicinales y como santuarios recreacionales y espirituales. La mayoría de ellos, especialmente los bosques tropicales, son esenciales para el ciclo del agua que lleva la lluvia hacia los cultivos; y para regular la temperatura de la tierra, evitando que algunos lugares sean muy calientes o muy fríos. Los bosques absorben dióxido de carbono y producen oxígeno; en ese sentido son los “pulmones” del planeta”.

El reemplazo de los bosques por plantaciones de árboles GM provocará un desastre ecológico para nuestro planeta, especialmente ahora que el calentamiento global se está acelerando dramáticamente. Los árboles GM están diseñados para plantaciones enormes de monocultivos, pero constituyen una amenaza a los ecosistemas forestales naturales biodiversos. Las denominaciones que ponen las comunidades locales a las plantaciones industriales son reveladoras. El eucalipto es el “árbol egoísta” porque sus plantaciones remueven nutrientes del suelo y consumen tanta agua que los campesinos no pueden cultivar arroz en los campos adyacentes.

Los indígenas mapuches de Chile se refieren a las plantaciones de pino como “soldados plantados” porque son verdes, están en fila y avanzan. En Brasil, las plantaciones de árboles son “desiertos verdes” y en Sudáfrica las llaman el “cáncer verde”. A lo largo y ancho del hemisferio sur las organizaciones y redes se están oponiendo activamente a las plantaciones industriales de árboles en sus tierras. Los árboles transgénicos intensificarán los problemas de las plantaciones industriales y la oposición de las comunidades indígenas.

Un reporte conjunto del Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (WRM en inglés) y Amigos de la Tierra Internacional (FOEI en inglés) señala que los científicos que dicen “mejorar” árboles mediante modificación genética están en realidad trabajando para “mejorar la rentabilidad de las empresas” que financian sus investigaciones. Además destaca:

Desde una perspectiva biológica no existe un mejoramiento.

¿Acaso un árbol con menos lignina es mejor o peor que uno normal?, claramente es peor, dada la pérdida resultante de sostén estructural, que lo hace susceptible a daños durante tormentas de vientos.

¿La resistencia a un herbicida es una “ventaja”, no lo es, pues permite la aspersion extensiva de herbicidas que afectan el suelo y, al mismo tiempo, destruyen la flora local y las formas de vida salvaje.

¿Es acaso un árbol sin flores ni frutos ni semillas útil para los seres vivos?, este árbol no es el alimento de miríadas de especies de insectos, aves y otras especies que dependen de él.

¿Constituye un árbol con propiedades insecticidas un “mejoramiento”?, es una amenaza muy peligrosa para muchas especies de insectos que son parte de cadenas alimentarias más grandes.

4.2. Mejoramiento de bosques naturales

Mendizábal (2007), indica que el mejoramiento genético forestal se define como la acción combinada de la genética y la silvicultura para incrementar la productividad y calidad del bosque.

El mejoramiento forestal es la aplicación de los principios genéticos al desarrollo de líneas de árboles que pudieran tener un mayor valor para los hombres. Es principalmente un proceso de domesticación que supone la selección y propagación de árboles que poseen

En las últimas décadas el enfoque de manejo silvícola ha experimentado cambios a nivel mundial, tendiendo a integrar objetivos múltiples, conciliando intereses de conservación y producción. Las modernas prácticas de manejo reconocen el papel global de los bosques en la mantención de los recursos hídricos, la conservación de los suelos, la estabilidad atmosférica, su papel en la conservación de la biodiversidad y su uso como valor estético y recreativo.

No obstante, para que los bosques cumplan a cabalidad sus múltiples funciones, es necesario recuperar su potencial genético, considerando el rescate, conservación y mejoramiento de las características deseables de cada especie.

4.2.1. Métodos de mejoramiento

El mejoramiento genético forestal entendido como la aplicación de los principios de la genética combinados con otras actividades del manejo del bosque, con miras a incrementar la calidad y productividad del recurso forestal tiene muchas formas de aplicarse, las cuales se conocen como técnicas o métodos de mejoramiento genético. Éstos varían mucho en complejidad y costos.

Pueden variar desde buenas prácticas silvícolas hasta los esfuerzos sofisticados del mejoramiento selectivo:

- Mejoramiento vía silvicultura del bosque.
- Mejoramiento a través de hibridación.
- Mejoramiento vía mutaciones (incluyendo poliploidía).
- Mejoramiento vía ingeniería genética.
- Mejoramiento vía selección y cruzamiento.

Zobel y Talbert (1988) citado por Plancarte (1991), mencionan que todo programa inicial sobre mejoramiento genético forestal depende y consta de lo siguiente:

- Determinación de las especies o fuentes geográficas dentro de una especie que deben utilizarse en una determinada área.
- Determinación de la cantidad, tipo y causas de la variabilidad dentro de la especie.
- Agrupamiento de las cualidades que se desean en individuos mejorados, para obtener árboles con combinaciones de las características deseadas.
- Producción a gran escala de los individuos mejorados con fines de reforestación.

- Desarrollo y mantenimiento de una población con una base genética, lo bastante amplia para satisfacer las necesidades de las generaciones avanzadas.

a. Mejoramiento genético vía selección y cruzamiento

Plancarte (1991), señala que la selección se define como la elección de individuos o poblaciones que presentan caracteres deseables, con el fin de mejorar o alterar el valor medio de la población o de las poblaciones

La selección individual o masal funciona mejor para las características que muestran una alta heredabilidad en sentido estricto. Este método es mucho más efectivo, y por tanto recomendado en plantaciones o rodales silvestres coetáneos de semilla no mejorada y donde se desconocen los pedigrís. El mejoramiento por selección individual comprende:

- La selección fenotípica de individuos superiores dentro de una raza o ecotipo bastante uniforme.
- El cruzamiento de estos árboles seleccionados.
- El ensayo de las progenies resultantes.
- El establecimiento de huertos semilleros.
- La eliminación de individuos de bajo valor genético.
- La selección y los cruzamientos repetidos en generaciones futuras.

Todo método de selección se rige por un mismo principio general: la elección de los individuos más convenientes para utilizarlos como progenitores en los programas de cruzamiento y producción.

Dado que las ganancias genéticas, en cuanto a vigor y forma que se pueden obtener mediante el mejoramiento por selección, ascienden de 3 a 10% por generación, y las diferencias entre procedencias con frecuencia llegan a ser de 25 a 30%, lo mejor es iniciar con el ecotipo o procedencia más adecuada.

b. Ensayos de procedencias

Mendizábal (2007), indica que una procedencia se define como la "fuente geográfica original o natural de un individuo, población o especie". La distribución natural de una especie de pino normalmente tiene varias procedencias. La selección de una buena procedencia, como fuente de semillas para un programa de

plantaciones, puede incrementar substancialmente los rendimientos y, por el contrario, una selección equivocada puede representar una gran pérdida económica.

Estos ensayos intentan definir la fuente de semillas más apropiada para un lugar determinado por medio de los patrones de variación de los componentes genéticos, ambientales y sus interacciones.

Si una especie cubre un área de distribución amplia, con condiciones variables, seguro que existirán diferencias entre los árboles como respuesta de la especie al adaptarse a determinados hábitats; así que individuos de una misma especie, vegetando en condiciones ambientales diferentes, pueden desarrollar distintos hábitos de adaptación a las mismas. A una población de árboles de una especie que se desarrolla en condiciones diferentes y presenta variaciones morfológicas, se le conoce como procedencias.

Un medio ambiente variable a lo largo del área de distribución de la especie, a largo plazo, da lugar a una especie genéticamente variable. Generalmente las especies con un intervalo amplio de distribución tienden a ser más variables que aquellas especies que se distribuyen en áreas restringidas, aunque pudieran contener un paquete genético muy variable.

Los ensayos de procedencias tienen cinco objetivos:

- Determinar la extensión y patrones de la variación genética en tantos caracteres como sea posible, a través de lotes de semilla colectados en el rango de distribución de la especie. El número y el tipo de los caracteres investigados dependerán de los recursos disponibles para los trabajos de campo y laboratorio, pudiendo incluirse el estudio de la variación en caracteres anatómicos, bioquímicos, morfológicos y fenológicos.
- Determinar el efecto de estos caracteres en diferentes condiciones climáticas dentro del rango de distribución de la especie y evaluar la importancia de las interacciones entre la procedencia y el medio ambiente.
- Comparar plantas procedentes de semilla colectada en rodales naturales con plantas derivadas de semilla recolectada en plantaciones, de lo cual se puede esperar obtener la constitución genética de la población.
- Jerarquizar y agrupar las procedencias dentro de cada localidad en orden de adaptabilidad y productividad. Los caracteres más importantes serán aquellos relacionados con la supervivencia y la resistencia a factores adversos

del medio ambiente y bióticos, crecimiento (altura, diámetro y volumen), forma y rectitud.

- El último objetivo puede señalarse en función de la cantidad de semilla disponible de cualquier procedencia; ya que si ésta es pequeña, bien puede obtenerse a través de los ensayos de campo material de buena calidad para la iniciación o continuación de un programa selectivo de mejoramiento de árboles.
- El establecimiento de los ensayos de procedencias se ha combinado con el estudio de la variación entre las progenies (familias de medios hermanos) representativas de la mayor variación de cada procedencia en particular, para obtener resultados a nivel interés intrapoblacional.

c. Ensayos de progenie

Mendizábal (2007), manifiesta que los ensayos de progenie son parte integral de la mayoría de los programas de mejoramiento genético, ya que proporcionan información que permite reevaluar o modificar las estrategias de mejora genética en algunas especies; por ejemplo las correlaciones juventud madurez, que han resultado ser relativamente grandes, sirven de base para utilizar procedimientos de selección precoz.

La progenie como la descendencia de un árbol particular, o el resultado de la combinación de una fuente parental masculina y una femenina. Las pruebas de progenie como la estimación del valor genético o constitución de individuos mediante la medición y observación del comportamiento, la apariencia u otras características de un grupo de su progenie.

De esta forma, los ensayos de progenie determinan en qué medida la superioridad del fenotipo se debe a la influencia del genotipo, del ambiente y de la interacción entre ambos

Entre los objetivos más comunes de los ensayos de progenie, dependiendo de la fase en la que se encuentre el programa de mejoramiento genético, están los siguientes:

- Clasificar a los padres del huerto semillero, de acuerdo con su aptitud combinatoria general.
- Estimar los componentes de la varianza genética y otros parámetros afines, por ejemplo, heredabilidad, ganancia genética, etcétera.
- Ampliar la base genética en las próximas generaciones de selección, es decir, suministrar material de genealogía conocida para selecciones futuras.

- Realizar aclareo genético de un huerto semillero, con base en el valor genético de los clones y familias.
- Desarrollar un huerto semillero sexual y obtener semilla mejorada certificada.

d. Huertos semilleros

Mendizábal (2007), señala que un huerto semillero es un área donde se establecen los fenotipos o genotipos superiores y se manejan intensivamente con el único propósito de obtener semilla. Por su origen, los huertos semilleros pueden ser sexuales o asexuales; los primeros se caracterizan por establecerse mediante la siembra de plántulas (obtenidas de semilla), seguida de una depuración que deja los mejores árboles de las mejores familias para producción de semilla; los segundos, llamados vegetativos o clonales, se establecen mediante propágulos (reproducción asexual) vegetativos, tales como injertos o estacas (

La mayoría de los huertos semilleros en el mundo se han establecido mediante propagación vegetativa, principalmente injertada; muy pocos se han establecido a través de progenies de árboles selectos (mediante semilla). Los huertos vegetativos se emplean en mayor proporción porque producen semilla en menor tiempo.

Los huertos semilleros son el medio más común por el cual se puede obtener semilla genéticamente mejorada en cantidades comerciales. Con ellos se asegura que la semilla tenga una calidad superior para abastecer los programas de plantación. Son pues, indispensables para que cualquier programa de mejoramiento pueda alcanzar resultados óptimos.

Todo programa de plantación extensivo que dependa del abastecimiento de semilla debe considerar el establecimiento de un huerto semillero como una necesidad primordial.

e. Incendios

Mendizábal (2007), menciona que el efecto invernadero, que como expresión otorga el aumento de temperatura a la atmósfera, donde se desarrollan las poblaciones de los seres vivos, causa, entre otras cosas, el incremento de la acumulación de biomasa seca en el suelo, lo que en un principio propicia la incorporación, a través de la materia orgánica, de nutrientes que enriquecen la capacidad de intercambio responsable de la nutrición, tanto de plantas como de otros seres vivos que viven de éstas. Sin embargo, con el aumento de la temperatura, dicho material con la función antes descrita también se convierte en

un combustible capaz de darle mayor intensidad y aceleración a los incendios que, como eventos naturales, participan en la modulación de la variación existente dentro de poblaciones de especies de un ecosistema, que de alguna manera reorientan a través de la adaptación las nuevas variantes que tendrán las poblaciones y especies del mismo ecosistema después del paso de tales eventos naturales o artificiales si éste fuera el caso, como ocurre la mayoría de las veces, modificando la diversidad genética de poblaciones y especies.

f. Silvicultura

El manejo de los recursos genéticos representa una parte agnada en el desarrollo del hombre, ya que a través del conocimiento que con la evolución experimental el ser humano ha obtenido fueron construidas las bases que originaron la agricultura, misma que, a través de sus éxitos, ha sido la base de la alimentación humana. Lo mismo ha ocurrido a través del tiempo con el manejo de características deseables para el caso de la ganadería. En el tema que nos ocupa, parece que en la mayoría de los casos, como en los orígenes del hombre, seguimos siendo nómadas, porque no hemos sido capaces como especie de lograr el aumento de frecuencias alélicas que garanticen la producción en cantidad y calidad desatisfactorias para el desarrollo de las sociedades humanas, ni siquiera para el caso de la conservación de la que tanto nos ocupamos de manera teórica y experimental, ya que a la silvicultura actual la sustentan en gran medida los procesos de ordenación de montes que distinguen los aprovechamientos forestales, y sólo en casos aislados se han cultivado algunas especies con resultados todavía por evaluar, en cuanto a la producción en cantidad y calidad de los satisfactores forestales.

Esta realidad, aunada a la explosión demográfica, manifiesta una tendencia hacia la reducción del número de especies y poblaciones de las mismas, dejando empobrecidas las posibles fuentes de materiales genéticos capaces de convertirse en bosques cultivados con crecimientos exitosos y un alto potencial para la captura de CO₂. Mención aparte merece la consideración de que no todos los individuos de una población, y mucho menos de una especie, tienen crecimientos exitosos en un sitio o zona, por lo que estudios como el realizado por Mendizábal (2007), son necesarios para cada especie con potencialidad de convertirse en capturadora y almacenadora de CO₂ y carbono.

En consecuencia, el cambio climático con aumentos de temperatura y aumentos en la frecuencia de heladas con regímenes de lluvia superiores a las medias provocaría una gran pérdida de la diversidad de coníferas, poniendo en riesgo la incipiente independencia que tiene nuestro país respecto a la obtención de productos derivados de los aprovechamientos de los bosques naturales, ya que México sólo extrae menos de 1% de la producción mundial de dichos productos.

4.3. Conservación y protección de reservas naturales

Mendez (2005), señala que la conservación es importante por muchas razones, pero al mantener su diversidad genética es posiblemente la razón más importante, porque ofrece infinidad de posibilidades al hombre y porque es imposible de reemplazar todos los recursos genéticos que tiene. La estimación de los efectos de la desaparición de los bosques tropicales varía desde las pérdidas de erosión y la decadencia de la productividad del suelo, hasta el aumento en el nivel del mar como consecuencia del derritamiento de las masas polares, causado por el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera.

En términos de conservación, las Áreas Protegidas Privadas son instrumentos creados para incorporar mayores superficies territoriales para la protección del Patrimonio Natural y Cultural. El rol de estas áreas se torna fundamental y necesario si consideramos que la gestión actual de muchas Áreas Protegidas de carácter público es inexistente, o no cuentan con planes de manejo, desarrollo o controles efectivos. En este sentido, las Áreas Protegidas Privadas deberían convertirse en mecanismos efectivos y sustentables que garanticen realmente la preservación del patrimonio de una región.

Una tarea que permitiría orientar las políticas de conservación, aún pendiente, es la zonificación para el uso del territorio a nivel regional. La necesidad de establecer áreas prioritarias para la conservación y la delimitación de corredores de flora y fauna, haría posible establecer el punto de partida para el desarrollo de una estrategia sistemática. En este sentido, es fundamental el trabajo conjunto de Gobierno, organismos técnicos, propietarios y organizaciones y comunidades locales.

Bajo un modelo de ordenamiento regional, la incorporación de propiedades o porciones de territorios a la conservación, o sometidas a un manejo sustentable,

permitiría desarrollar Corredores Biológicos, garantizando la conectividad entre los Parques, servirles de zonas de amortiguamiento y evitar incrementar el carácter insular de éstas Áreas Protegidas que, con el avance de la frontera agropecuaria, están quedando cada vez más aisladas y vulnerables.

Desde el punto de vista socio-económico las Áreas Protegidas Privadas pueden resultar alternativas de desarrollo sustentable para una región, sobre todo si consideramos que, en gran parte del territorio provincial donde persiste la biodiversidad, la población está por debajo de los índices de pobreza.

La planificación y gestión de un Área Protegida Privada, sujeta a una estrategia participativa con los pobladores de la finca y vecinos, permite instrumentar acciones de conservación efectivas, ya que los habitantes y/o propietarios del territorio pueden advertir los beneficios de la conservación de manera más directa y evidente CEPANAF, Para la conservación de las Áreas Naturales Protegidas, son necesarios programas de reforestación, producción de plantas y de restauración de suelos, además de supervisiones que coadyuven al buen funcionamiento de los parques y a la eficiencia en la prestación de servicios turísticos

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define a las Áreas Protegidas como "un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados".

La misma organización internacional propone los siguientes objetivos en el manejo de Áreas Protegidas:

- Investigación científica.
- Protección de zonas silvestres.
- Preservación de las especies y la diversidad genética.
- Mantenimiento de los servicios ambientales.
- Protección de las características naturales y culturales específicas.
- Turismo y recreación.
- Educación.
- Utilización sostenible de los recursos derivados de ecosistemas naturales.
- Mantenimiento de los atributos culturales y tradicionales.

Por que es importante cuidar las reservas naturales

Durban (2003), indica que son importantes para mantener funcionando la economía de las regiones, especialmente las vinculadas directamente a los recursos naturales como insumos o medios de producción. Son fuentes de desarrollo, son espacios económicamente muy activos.

Toda sociedad debería tener en cuenta en el ordenamiento de los distintos tipos de uso, de un determinado territorio, por lo cual es de vital importancia cuidarlas, por que dentro de ellas están la fuente de subsistencia que es el agua y la purificación del aire, que es necesario para vivir.

Que recursos nos ofrece una reserva natural

Durban (2003), manifiesta que las áreas naturales ofrecen una serie de servicios ambientales tales como: abastecimiento de agua para el consumo humano, agrícola y pecuario; aporte de oxígeno que contribuye a mejorar las condiciones de salud de los habitantes que viven cerca de estos lugares; paisajes naturales que pueden ser aprovechados para el desarrollo turístico, promoviendo el esparcimiento mediante el contacto directo con la naturaleza, bajo condiciones que permitan la conservación de los sistemas.

Conservación de los recursos naturales.

Durban (2003), señala que una estrategia importante para los programas de conservación y protección de las cuencas hidrográficas es centrarse en el aspecto organizativo, buscando involucrar a la comunidad y sus líderes en la gestión de la reforestación, producir y adquirir los insumos en la misma zona. Esto es un tema vital para la sostenibilidad de los proyectos de conservación y protección, ya que se proporciona capacitación, empleo e ingresos a la población directamente involucrada.

De la misma manera la delimitación de un área de la cuenca hidrográfica como zona protegida apoya la conservación de los caudales de agua así como las regulaciones y controles estrictos sobre su manejo integral ayudan a construir una cultura de conservación en la población y a evitar la contaminación del agua.

CONCLUSIONES

- El trabajo permitió identificar un consenso sobre la relevancia de la biotecnología para el sector forestal en el mundo, aunque existen algunos avances, aún falta bastante para lograr un nivel aceptable de competitividad en el mercado global.
- Los OGM pueden generar beneficios considerables, pero es conveniente que quede bien aclarada la inocuidad de estos para personas y animales y el ambiente.
- La transgénesis tendrá impacto a largo plazo sobre la competitividad de la industria forestal en nuestro país. Sin embargo, para su uso resulta imprescindible el establecimiento de normas, decretos y protocolos de bioseguridad que garanticen una mínima afectación negativa a los ecosistemas naturales, y de las especies nativas.
- La investigación y desarrollo de la tecnología GM proporcionará una gran cantidad de información sobre la acción y regulación genética, que podría ser de gran valor a largo plazo para los programas convencionales de mejora genética.
- Realizar la estructuración de programas académicos nuevos o existentes en función al desarrollo de competencias necesarias para la aplicación de la biotecnología en las fases de la cadena forestal, teniendo en cuenta el mejoramiento genético, biotecnología, biología molecular, bioinformática entre otras ya mencionadas.
- El sector educativo, como formador de competencias en los profesionales del sector, debe incorporar éstas nuevas áreas de conocimiento relacionadas con la biotecnología mediante actividades de intercambio académico y articulación universidad empresa Estado, traducido en: creación de nuevas estructuras curriculares en todos los niveles, pasantías nacionales e de proyectos productivos con alto componente de innovación, investigación y transferencia de conocimiento.
- La participación del gobierno en el desarrollo de la biotecnología parece necesaria para mantener cierto flujo de material y conocimientos en el dominio público. Sin ello, los costes de utilizar genes de propiedad privada podrían limitar seriamente un mayor interés y desarrollo de la tecnología GM en los árboles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alatorre *et al* (2008). Procedimiento de Evaluación de Inocuidad de Organismos Genéticamente Modificados destinados al uso o consumo humano, procesamiento de alimentos, biorremediación y salud pública. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Subdirección Ejecutiva de Efectos Poblacionales. México. 52p.

Acuña C. (2008). Biotecnología forestal. INTA-CONICET. ArgenBIO. Argentina. 4 p.

Armstrong R.E. (2002). From Petro to Agro: Seeds of a New Economy. *Defense Horizons* N° 20, p. 1-8.

Ballester A y Vieitez A. M. (2009). Ventajas e inconvenientes de la Transformación genética del castaño como Método de mejora genética. Instituto de investigaciones Agrobiológicas de Galicia, CSIC, Apartado 122, 15780 Santiago de Compostela, España. 16 p.

Bravo E. *et al*. (2007). African Centre for Biosafety & RALLT. "Rostros nuevos con viejas máscaras. Agrocombustibles: transición hacia una sociedad pospetrolera o reciclaje imperialista". Quito, Ecuador.

Burke W. S. (2001). Responding to new trees and to the issues at hand: the Institute of Forest Biotechnology. *Proc 1st Int'l Symp on Ecological and Societal Apects of Transgenic Plantations*, Oregon State University, 62-69.

Barrett *et al*. (1999). Impact and awareness of biotechnology in academic and commercial sectors. *Horticulture and Landscape*: 9- 19.

Carrere R. (2009). Las nuevas amenazas del avance de los monocultivos de árboles. Coordinador Internacional del Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales (WRM). Extraído de Teixeira Filho, Althen. *Lavouras de destruição: a (im)posição do consenso*, Pelotas, 16 p.

CBD (2000). Cartagena Protocol on Biosafety. Convention on Biological Diversity. Available. Disponible en <http://www.biodiv.org/biosafe/Protocol/Protocol.html>. Visitado el 30 de noviembre del 2013.

Durban (2003). Proyecto de conservación y protección de las reservas naturales. 14 p.

Dutton A, Klein H, Romeis J and Bigler F. (2002). "Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperia carnea*", en *Ecological Entomology*, 27, 441-7.

De Verno L.L., Park Y.S., Bonga J.M., Barrett J.D. (1999). Somaclonal variation in cryopreserved embryogenic clones of white spruce (*Picea glauca* (Moench)).

FAO. (2008). La biotecnología gana terreno en el sector forestal. Es esencial evaluar los riesgos de las modificaciones genéticas. Roma – Italia.

Filippini A. (2008). Movimiento mundial para los bosques. STOP GE Trees Campaign. Hemisferio sur. 4p

Francois, J y Catacora, G. (2008). Tecnología de Restricción de Uso Genético, agrocombustibles y árboles transgénicos: Contexto e impactos. Tierra viva. Cochabamba - Bolivia. 15 p.

FAO. (2007). Situación de los bosques del mundo, informe Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (En línea) Rome. Consultado el setiembre de 2013. disponible en. www.fao.org.

FAO. (2004). Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification. Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. Rome, Italy. 124 p.

FAO (2001). Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification, <http://www.fao.org>.

Gutiérrez y Correa M. (2007). Biotecnología, Biodiversidad y Bioeconomía. Enero, p. 26 – 27.

Gutiérrez y Correa M. (2005). Ciencias Biológicas, Bioquímica, Biología Molecular y Biotecnología en el Perú. En "La Investigación Científica y Tecnológica en el Perú", CONCYTEC, Volumen I (ISBN 9972-53-046-9), BCR-CONCYTEC. 264-343.

Guller *et al.* (2001). Enhanced tolerance of transgenic poplar plants overexpressing gamma-glutamylcysteine synthetase towards chloroacetanilide herbicides. *Journal of Experimental Botany*.

INTA (2003). Documento "Mejoramiento y Genética Forestal". Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Lang C. (2004). "Genetically Modified Trees. The ultimate threat to forests". World Rain Forest Movement & Friends of the Earth.

Martínez R. Azpiroz H.S. y Rojo G.E. (2010). Biotecnología Aplicada a los Recursos Forestales. Cuerpo Académico Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma Indígena de México. Serie forestal. Impreso y hecho en México. Serie Forestal. 304 p.

Mentaberry A. (2010). Conceptos y Técnicas de Biotecnología. Departamento de Fisiología, Biología Celular y Molecular. FCEN-UBA. 67 p.

Mendizábal H. L. C. (2007). Almacenamiento de carbono en plantaciones de origen genético conocido en Veracruz, México, tesis de Doctorado en Recursos Genéticos Forestales, Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana, Xalapa. Veracruz, México, 110 pp

Mendez D. (2005). Las Áreas Protegidas Privadas: Una Estrategia Para El Desarrollo Sustentable. Argentina. 6 p

Maewan Ho y Cummins (2005). Árboles Transgénicos - La Última Amenaza. Revista Ciencia en Sociedad (SiS) y asesora científica de la Red del Tercer Mundo.

Manzur M.I. (2000). Biotecnología en el sector forestal de CHILE. Biodiversidad. Santiago – Chile. 4 p.

Nuez F. y Carrillo A. (2000). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. Madrid España. 579 p.

Plancarte B. A. (1991). "Métodos de mejoramiento genético", en B. A. Plancarte y M. R. T Salazar (comps.). Curso corto sobre "Mejoramiento genético y plantaciones forestales" (memoria), COCODER-DDF/Centro de Genética Forestal, A. C., México, pp. 1-5.

Ribeiro S. (2008). La amenaza de los árboles transgénicos. Movimiento mundial de bosques. 2 p.

Rodríguez N. (2006). Biotecnología. 13 p

Rivera B.R., I.P. Torres, J.A. Garzon y L.E. Herrera. (1998). Introducción a la biología molecular e ingeniería genética de plantas. SARH-INIFAPCINVESTAP. 222 p

Sánchez N., Grau, M., Manzanera J.M., Bueno M.A. (2000). RAPD markers for the identification of *Populus* species and *P. tremula* clones. En: Proceedings of Application

of Biotechnology to Forest Genetics. Biofor. Espinel S., Ritter E. (Ed.). Vitoria - Gasteiz, Spain. pp. 125-128.

Smith C. y J.E. Wood. (1998). *Biología molecular y biotecnología*. Addison Welsley Longman. España. 247. p.

Torres F y Andrés G. (2008). *Biotecnología. Aplicada en Especies Forestales*. Documento basado en el trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración de Empresas MBA, Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia, 28 p.

Toribio M y Celestino C. (2000). *El uso de la biotecnología en la Conservación de Recursos Genéticos Forestales*. Instituto Madrileño de investigación Agraria y alimentaria (IMIA) Finca.

Valverde D. (2006). *Territorios Libres De Transgénicos. Alerta transgénica. La agricultura orgánica no admite transgénicos*. 32 p.

Van Frankenhuyzen K y Beardmore T. (2004). *Current status and environmental impact of transgenic forest trees*.

ANEXO

SIGLAS

CDB Convenio sobre la Diversidad Biológica

COP Conferencia de las Partes

DPI Derechos de propiedad intelectual

EIA Evaluación de impacto ambiental

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FMAM Fondo para el Medio Ambiente Mundial

ICCP Comité Intergubernamental para el Protocolo de Cartagena

OGM Organismo genéticamente modificado

OIG Organización intergubernamental

OMC Organización Internacional del Comercio

OMS Organización Mundial de la Salud

OVM Organismo vivo modificado

PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

UICN Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos

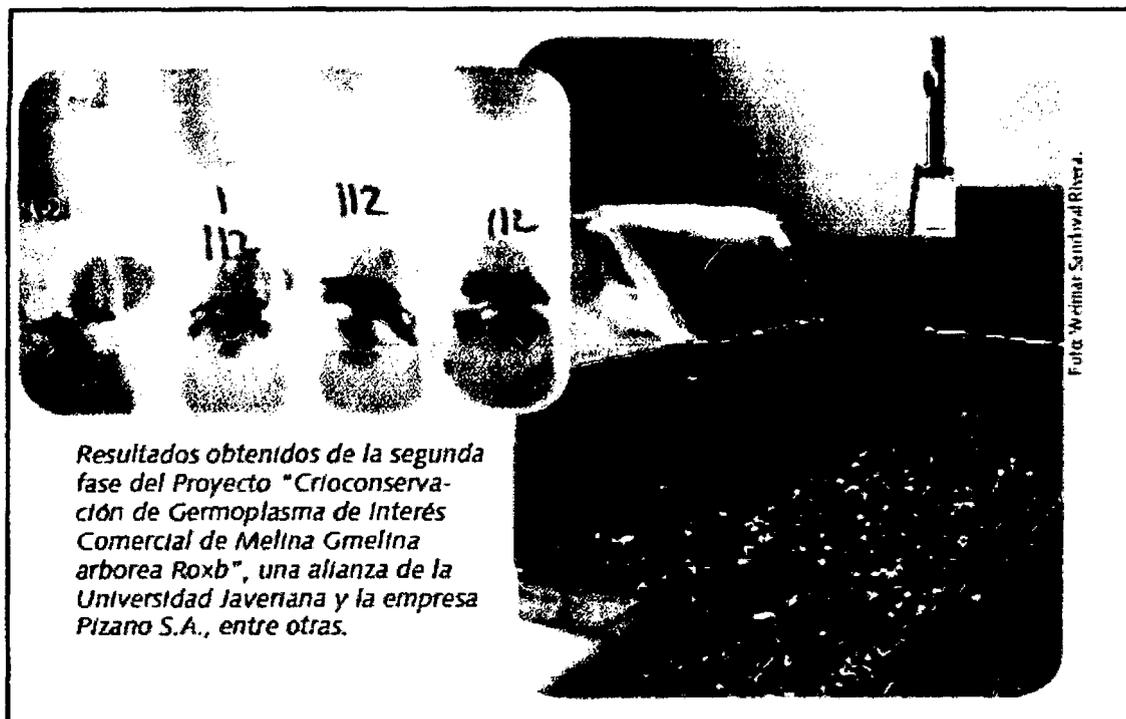
Naturales (Unión Mundial para la Naturaleza)

WAICENT Centro Mundial de Información Agrícola de la FAO

WWF Fondo Mundial para la Naturaleza

Album de fotos

Foto 01: Crioconservación de germoplasma de interés comercial de la Melina arbórea Roxb



Fuente: www.cotizalia.com

Foto 02 y 03: Plantación clonal de E. urograndis de 52 m³/ha/año establecida en Eucatex SP (Brasil).



Fuente: Ronaldo Silveira. RR Agroflorestas Ltda

Foto 03: Sistema de riego en área de minijardines clonales hidropónicos de clones de E. Urograndis.



Foto: Inés S. Baquero

Foto 04: Revisión del enraizamiento en tubetes plásticos de clones de E. urograndis

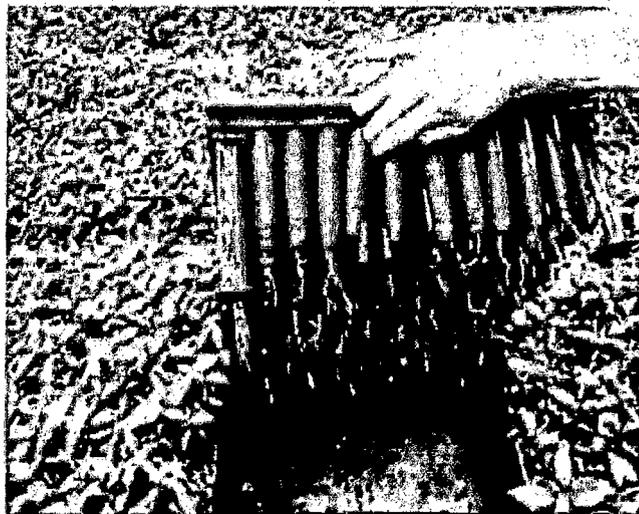


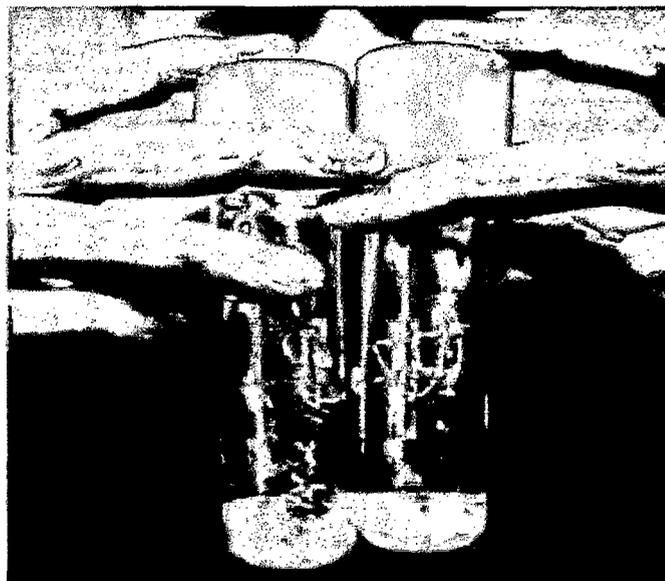
Foto: Inés S. Baquero

Foto 05: Prácticas de cultivos en laboratorio.



Fuente: <http://laboratoribiotecnologia.blogspot.es>

Foto 06: Prácticas de cultivos en laboratorio



Fuente: www.cotizalia.com