

Biotecnología

Aplicada en Especies Forestales (1)

■ Francisco Torres Romero*
Guillermo Andrés Buitrago**

La biotecnología es considerada uno de los campos tecnológicos estratégicos de mayor potencial para Colombia. En el campo de las especies forestales son múltiples las aplicaciones y beneficios que ofrece, sin embargo es necesario emprender algunas acciones para fomentar su desarrollo.

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.

Paralelamente, 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.

De acuerdo con el ejemplo anterior, en Brasil específicamente, las universidades han trabajado en llave con la industria creando cooperativas de mejoramiento genético para optimizar las técnicas de silvicultura y cosecha. El uso de material genéticamente mejorado, la plantación de material clonal y la fertilización han traído como consecuencia aumentos importantes en la productividad forestal, de hecho, entre 1987 y 2004, la producción industrial forestal de este país se



Foto: <http://farm1.static.flickr.com>



Foto: <http://laboratoriobiotecnologia.blogspot.es>

duplicó, mientras que la base forestal quedó casi constante con 5 millones de hectáreas.

Por ello, es necesario impulsar el conocimiento en áreas estratégicas de gran potencial para el desarrollo competitivo del país como: biodiversidad y recursos genéticos; biotecnología e innovación agroalimentaria y agroindustrial, enfermedades infecciosas en áreas tropicales, así como en materiales avanzados y nanotecnología ⁽²⁾.

Por todo lo anterior, el tema ha cobrado gran importancia y ha generado opiniones diversas. Así lo demostró una encuesta realizada, entre noviembre de 2007 y enero de 2008, a 24 expertos sobre el futuro del sector en las próximas dos décadas, aplicada para determinar tendencias y analizar la biotecnología en la cadena forestal en Colombia y sobre la cual, el 91 por ciento de los encuestados, consideró que el país cuenta con ventajas para desarrollar técnicas biotecnológicas, mientras que sólo el 9 por ciento opinó lo contrario.

La Biotecnología en el Campo Forestal

El panel de la Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) que reúne expertos en recursos genéticos del bosque, ha trabajado para determinar el estado,

las tendencias globales, información estadística y los patrones de la biotecnología en investigación y usos en árboles forestales alrededor del mundo.

Precisamente, sobre el tema, la FAO 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 1).

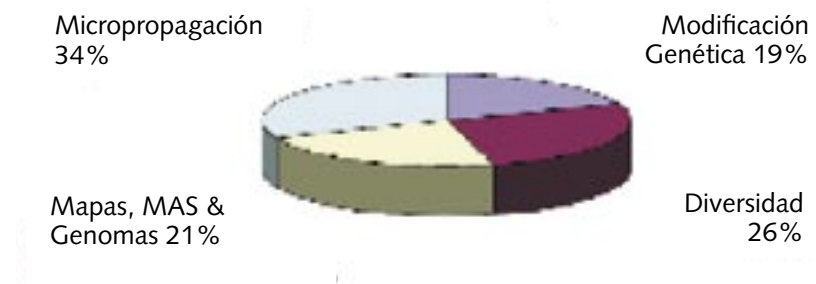
En los países desarrollados, la investigación y las aplicaciones de la biotecnología en el sector forestal avanzan rápidamente y en especial, las técnicas de manipulación genética. De hecho, el uso de la biotecnología forestal se concentra, en un 70 por ciento, en países desarrollados siendo los pioneros Estados Unidos, Francia y Canadá. Vale señalar que el estudio y el uso de esta tecnología ha sido utilizada en por lo menos 140 géneros, pero la gran mayoría (62%) se centra únicamente en seis: (*Pinus*, *Eucalyptus*, *Picea*, *Populus*, *Quercus* y *Acacia*).



Foto: www.cotizalia.com

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*.

Figura 1. Usos principales de la biotecnología forestal.



Fuente: FAO 2004

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 ⁽³⁾, 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 del impacto ambiental con una metodología acordada a nivel internacional.

Usos de la Biotecnología en el Sector Forestal

La biotecnología moderna que se utiliza actualmente en el sector forestal puede clasificarse en tres grandes categorías:

• Tecnología de Multiplicación Vegetativa

Tiene como objetivos 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 y la tolerancia a her-

bicidas, metales, a la sal y a las bajas temperaturas. La micro propagación (propagación clonal por cultivo in vitro), una de las tecnologías de esta categoría, cuenta con diversas técnicas para aplicarla a un cierto número de especies forestales.

Esta técnica proporciona numerosas ventajas, entre las que se cuentan que: evita el riesgo de que proliferen agentes patógenos, permite el estudio de diversos procesos fisiológicos y obtener gran cantidad de individuos en espacios reducidos, permite la obtención de individuos uniformes y facilita el transporte del material.

Es importante entender entonces que, teniendo en cuenta los alcances de la tecnología de multiplicación vegetativa, si la propagación de árboles soportado en procesos de mejoramiento genético se hiciera a partir de semillas, no sería posible saber cómo serían los árboles hasta su estado adulto, ya que éstos tienen ciclos de vida de varios años y sería necesario esperar largo tiempo para conocer los resultados del mejoramiento.

Caso contrario ocurre al aplicar tecnología de multiplicación vegetativa, pues es posible 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.

• Biotecnologías Basadas en Marcadores Moleculares

Los marcadores moleculares son fragmentos de ADN que pueden corresponder o no a una secuencia de un rasgo genético, que se expresa (gen), y que pueden usarse en la biotecnología forestal con dos fines: identificación genética de árboles y localizar genes que determinen características cuantitativas.

Sobre el primer fin, 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.

En el segundo ítem, 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 ⁽⁴⁾ deseados, sin necesidad de esperar hasta que el árbol sea adulto.

• Modificación Genética de Especies Forestales (Árboles Transgénicos)

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.



Foto: Ronaldo Silveira. RR Agroflorestas Ltda

Plantación clonal de *E. urograndis* de 52 m³/ha/año establecida en Eucatex SP (Brasil).

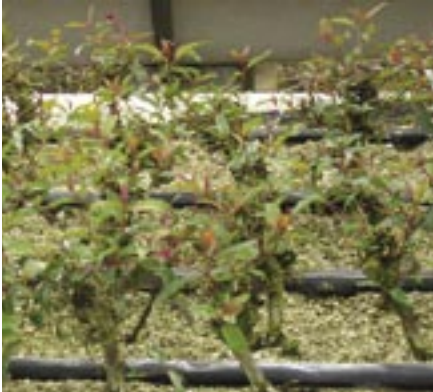


Foto: Inés S. Baquero.

Sistema de riego en área de mini-jardines clonales hidropónicos de clones de *E. Urograndis*.

- 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 ⁽⁵⁾.
- Modificación de la floración: Se desarrollaron árboles transgénicos estériles para prevenir la posible dispersión del polen.

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 ⁽⁶⁾.

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).

Por ahora, 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.

Sin embargo, la única manera de conservar los bosques nativos es acelerando el crecimiento de las especies cultivadas para obtener áreas más productivas, y esto se logrará incorporando a los programas de mejoramiento genético, las nuevas herramientas biotecnológicas. El desafío está en marcha ⁽⁷⁾.

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.

De cara a los resultados y argumentaciones tanto a favor como en contra, es posible determinar que a largo plazo, la transgénesis tendría impacto sobre la competitividad de la industria forestal nacional, sin embargo, resulta imprescindible el establecimiento de normas y protocolos de bioseguridad que garanticen una mínima afectación de los ecosistemas naturales y de las especies nativas, patrimonio clave en la identificación y generación de nuevas oportunidades para el sector. (Ver cuadro, Resultados de Encuesta).

De igual forma, las opiniones en contra no reflejan precisamente que se trate de un campo de acción innecesario, sino que manifiestan preocupación por el desarrollo de una infraestructura de conocimiento sólida y de tecnología que sirva como base para desarrollos realmente determinantes en la materia y que a la vez garanticen una estructura de sostenimiento no perjudicial para el desarrollo integral de la nación.



Foto: Inés S. Baquero.

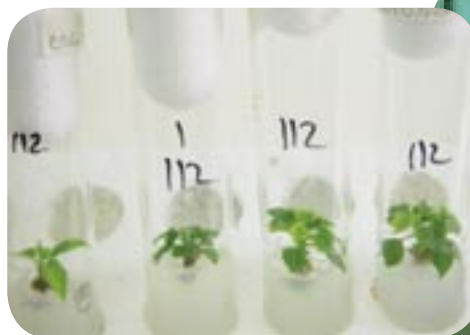
Revisión del enraizamiento en tubetes plásticos de clones de *E. urograndis*.

En una perspectiva hipotética de uso de transgénicos se identificó, en la encuesta, como área principal de aplicación la generación de árboles con resistencia a insectos y hongos, seguido de árboles tolerantes a sequía y, en tercer lugar, árboles tolerantes a la acidez.

Biología Forestal en Colombia

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.



Resultados obtenidos de la segunda fase del Proyecto "Crioconservación de Germoplasma de Interés Comercial de Melina Gmelina arborea Roxb", una alianza de la Universidad Javeriana y la empresa Pizano S.A., entre otras.



Foto: Weimar Sandoval Rivera.

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 (viveristas, 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 (*Tectona grandis*), eucalipto (*Eucaliptus globulus* y *tereticornis*), aliso (*Alnus acuminata*), Podocarpus (*Decusocarpus rospigliosi*) y ocobo (*Tabebuia rosea*).

También se destaca los trabajos que Smurfitkappa Cartón de Colombia inició hace más de siete años, incorporando los beneficios de la silvicultura clonal a escala comercial en sus plantaciones y aprovechando tecnología de punta –desarrollada en Brasil– en sus viveros; los de Pizano Monterrey Forestal que empezó en el 2005 su programa en hidroponía en viveros en *Gmelina arborea* y, los del Grupo Kanguroid en sus viveros 3F, con sus proyectos de tecnificación de enraizamiento adventicio de *Acacia mangium*, bajo el marco del proyecto de las Biofábricas.



Foto: Inés S. Baquero.

Área de minijardines clonales hidropónicos de cuatro clones de *E. urograndis*.

Paralelamente, la empresa Refocosta desde el 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 *Eucalypto pellita*.

Así y en la actualidad, se está dando buen impulso a la "silvicultura clonal" ⁽⁸⁾, 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 preocupaciones 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.


La encuesta también trató el tema del sector educativo como principal formador de competencias, y la necesidad que incorpore nuevas áreas

Resultados Encuesta Biotecnología Forestal (B.F)

TEMA	RESULTADOS
Productos y Procesos a Desarrollar.	Resultados sobresalientes en su orden para: identificación clonal, clones, bancos de germoplasma y mejoramiento de especies introducidas, para el aumento de la productividad, de especies nativas y para resistir plagas y enfermedades.
Mejoramiento Genético.	Consenso en la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento genético para aumentar la competitividad de la industria forestal en los próximos 20 años. Listado de especies considerables para mejoramiento genético, en su orden: Teca, <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Acacia Mangium</i> , Caoba, Nogal cafetero, Abarco, Pino tecunumanii, Caucho, <i>Eucalyptus Globulus</i> , Melina, y Ceiba Tolua.
Productos con Potencial de Negocio.	Se destacan los segmentos de biocombustibles, madera libre de nudos, semillas seleccionadas y mejoradas, maderas duras de pequeñas dimensiones, fibra para papel de mejor calidad y semilla de especies endémicas.
Acciones a Empezar por las entidades públicas.	Obtuvieron el mayor puntaje: definición de políticas de investigación a largo plazo; aumento de fondos para programas de postgrado; Establecimiento de una estrategia nacional para el desarrollo de la B.F. y Establecimiento de convenios para capacitación e investigación.
Acciones a Empezar por la Contraparte Privada.	1. Articulación para participar en convocatorias de entes nacionales e internacionales. 2. Definición de políticas y prioridades del sector, a largo plazo. 3. Destinación de fondos para promover investigación. 4. Asociación con Instituciones para adelantar investigación. 5. Coordinación con su contraparte pública y las universidades. 6. Asociación en torno a programas de mejoramiento genético.
Actividades a Desarrollar en entre el Sector Público y Privado para el Fomento de la B.F.	1. Definición de políticas de desarrollo y prioridades del sector a largo plazo. 2. Formación de Recurso Humano. 3. Creación de un fondo público-privado para el desarrollo de la ciencia. 4. Creación de mecanismos de incentivo. 5. Fortalecimiento de la cooperativa de mejoramiento genético. 6. Realización de actividades de investigación y desarrollo.
Medidas Regulatorias para el desarrollo de la Biotecnología Forestal.	1. Creación de incentivos tributarios. 2. Acreditar laboratorios. 3. Establecer un marco regulatorio para la producción, adquisición y uso de OGM. 4. Definición de normas para el uso de la B.F con base en un marco ético. 5. Establecimiento de normas que protejan la ciencia. 6. Establecimiento de normas que apoyen la sustentabilidad forestal. 7. Establecimiento de una evaluación permanente del impacto ambiental de las acciones biotecnológicas.
Formación para la Biotecnología Forestal. Áreas de conocimiento consideradas necesarias para los niveles de educación superior.	1. <i>Formación técnica</i> : Mejoramiento genético; Biotecnología; Biología Molecular; Captura de Material Plus (Seleccionado); Cultivo de Tejidos; Clasificación de plantas en vivero; Técnicas de Laboratorio. 2. <i>Formación profesional</i> : Mejoramiento genético; Biología molecular; Biotecnología; Genética y biotecnología aplicada; Cultivo de tejidos; Fisiología vegetal; Bioestadística; Bioinformática. 3. <i>Formación en programas de postgrado</i> : Mejoramiento genético; Economía y administración de empresas; Genética molecular; Biotecnología; Ingeniería genética; Bioinformática.

de conocimiento relacionadas con la biotecnología a través de diversas actividades de intercambio académico y articulación universidad-empresa-Estado, esto, para promover pasantías nacionales e internacionales, intercambios y desarrollo de proyectos productivos, entre otros, con alto componente de innovación, investigación y transferencia de conocimiento.

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. La idea debe ser generar planes de negocio que orienten los recursos hacia el desarrollo de proyectos claves y el diseño de programas académicos nuevos o existentes incluyendo áreas como mejoramiento genético, biotecnología, biología molecular, bioinformática, entre otras importantes materias.

Vale señalar que la agenda de investigación de la cadena forestal identificada en el Proyecto transición de la agricultura 2007 para la cadena forestal del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, coincide con varios puntos de demandas tecnológicas necesarias para el sector forestal con el tema abordado en el documento. 



Fuentes

- * **Francisco Torres**, Ingeniero Forestal, Magíster en Administración de Empresas, Gerente de Producción Semicol Ltda. ftorres@semicol.com.co
- ** **Guillermo Buitrago**, Ingeniero de Sistemas, Magíster en Administración de Empresas, Consultor Visión Empresarial, Universidad de la Sabana. guruclef82@gmail.com

Bibliografía

- ACIF. Asociación Colombiana de Ingenieros Forestales VIII Congreso Forestal Nacional, Bogotá noviembre de 2005
- Colciencias 2005, Informe de Gestión Febrero 2000- Enero 2005 Programa Nacional de Biotecnología, Secretaría Técnica Myriam de Peña, Ph. D. Bogotá, Enero 31 de 2005
- Conif, 2003. COMFORE. Reporte sobre avances técnicos 2002. Primera Reunión Técnica. Cooperativa Colombiana de Mejoramiento Genético Forestal. Bogotá D.C. 14 de febrero. 14 p.
- Cristancho P. Edwin. Herramientas Para La Competitividad a partir del Uso de la Biotecnología. Economía y Desarrollo Universidad Autónoma de Colombia, Volumen 3 Numero 2, Septiembre de 2004.
- DNP Departamento Nacional de Planeación, Presidencia de la República de Colombia, Visión Colombia II Centenario: 2019
- FAO. 2001. Glosario de la biotecnología para el alimento y la agricultura: una edición revisada y aumentada del glosario de la biotecnología y de la ingeniería genética. Investigación de FAO y No. de papel de tecnología. 9. Roma.
- FAO 2004, Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification, <http://www.fao.org>
- FAO 2007. Situación de los bosques del mundo 2007, informe Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Rome, 2007. www.fao.org
- INTA, Documento "Mejoramiento y Genética Forestal". Agosto 2003. Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias-Tecnos. Cadena Productiva Forestal, Tableros Aglomerados y Contrachapados

– Muebles y Productos de Madera, Proyecto Transición de la Agricultura 2007.

- Schuler, Ingrid, Orozco Luis Antonio. Manejo y gestión de la biotecnología agrícola apropiada para pequeños productores Estudios de Caso Colombia - REDBIO/FAO Bogotá Colombia, Diciembre de 2005. Actualizado marzo de 2006

Citas

- 1) Documento basado en el trabajo de grado para optar al título de Magíster en Administración de Empresas MBA, Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia, Mayo de 2008.
- 2) Departamento Nacional de Planeación. Visión Colombia II Centenario: 2019, Bogotá, Colombia 2005.
- 3) Un transgénico es un Organismo Modificado Genéticamente, OMG, vivo que ha sido creado artificialmente manipulando sus genes. Las técnicas de ingeniería genética consisten en aislar segmentos del ADN (el material genético) de un ser vivo (virus, bacteria, vegetal, animal e incluso humano) para introducirlos en el material hereditario de otro.
- 4) Alelo: es la localización espacial de un gen en un cromosoma. Al ser la mayoría de los mamíferos diploides se poseen dos alelos de cada gen. Cada par de alelos se ubica en igual lugar. El concepto de alelo se entiende a partir de la palabra alelomorfo (en formas alelas) es decir, algo que se presenta de diversas formas.
- 5) INTA, 'Mejoramiento y Genética Forestal'. Agosto 2003. Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Argentina.
- 6) FAO 2004, Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification.
- 7) INTA, 'Mejoramiento y Genética Forestal'. Agosto 2003. Equipo Forestal, Estación Experimental INTA Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Argentina.
- 8) Silvicultura clonal: se define como el uso de clones probados y validados en campo con las siguientes ventajas: obtener los mejores clones y usarlos en forma operativa, se pueden seleccionar clones específicos para cada tipo de suelo o clima.