

# Los Árboles y el Sexo.

■ Víctor M. Nieto\*, Roberto Ipinza\*\*, Martha Salas\*  
Ingenieros Forestales

*El sexo constituye una de las prácticas más importantes en el desarrollo de los seres vivos y en los árboles, no es la excepción. Sus variantes constituyen lo que se conoce como biología reproductiva y sin su conocimiento no es posible el mejoramiento genético, una tecnología que ha tenido un impacto positivo representado en millones de dólares sobre la productividad forestal, agrícola y ganadera.*



Foto: Vivero Rancho Grande. Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A.

“¿Luego, los árboles hacen sexo?”, fue la primera pregunta de mi hijo de 13 años al leer el título de este artículo y le respondí: Sí.

Efectivamente, el sexo está presente en la mayoría de los niveles de organización biológica, incluidas las plantas, en cuyo caso pueden combinar de forma constante su información genética y dar lugar a descendientes con genes distintos y por ende, con posibilidades distintas de adaptarse a las variaciones del entorno; de allí la estrecha relación –para sorpresa de muchos– entre el mejoramiento genético forestal (MGF) y el sexo.

Este cuestionamiento me llevó a reflexionar no sólo sobre el sexo como conducta natural, sino sobre la misión que tienen los silvicultores de lograr que la reproducción de los árboles sea eficiente para obtener plantaciones deseables desde el punto de vista productivo, mantener la diversidad genética y promover el desarrollo comercial de las especies.

En efecto, la selección genética mediante el cruzamiento para la generación de descendencia tiene, en términos generales, aplicación cuando el ganadero escoge sus mejores animales para la cría o cuando alguien busca la mascota ideal para sus hijos y cruza razas, tratando de obtener un animal de mejor porte y con mayor resistencia a las enfermedades.

Igual sucede en términos de árboles y reforestación comercial, caso en el que es necesario buscar los mejores –la mejor semilla– como padres para lograr plantaciones óptimas. En

la naturaleza existen árboles de buen porte y árboles no deseables que bien pueden producir descendencias muy productivas o, simplemente, un “bonito jardín de ramas”. La aplicación de los principios de selección relacionados con la genética y con las leyes de la naturaleza, en este sentido, marcarán la diferencia.

El sexo, en términos productivos, debe ser visto de manera simple pero práctica, a fin de obtener ganancias logrando árboles de características deseables y manteniendo el valor de éstos en las plantaciones forestales comerciales que se deriven; pero entendiendo también que la productividad no dependen sólo del papel que juega el sexo, sino que es el resultado de la combinación de dos sistemas: el componente genético (selección y hereda-

bilidad) y el componente ambiental<sup>(1)</sup> considerando dónde y cómo crecerá el árbol; aquello que los especialistas llaman “la silvicultura”.

### Algo de Historia sobre el Mejoramiento Genético Forestal

La aplicación de los principios genéticos al mejoramiento de árboles forestales se desarrolló inicialmente en Japón, durante el siglo XVII y fueron retomados recientemente en el mundo. Un mayor interés por el MGF aplicado surgió a principios de la década de los años 50 en países como Dinamarca, Francia, Australia, Canadá, Gran Bretaña, Nueva Zelanda y particularmente en EEUU, don-

de se lograron importantes avances gracias a la solidez y continuidad de los programas establecidos<sup>(2)</sup>.



Foto: Cortesía Víctor Nieto / Conif.

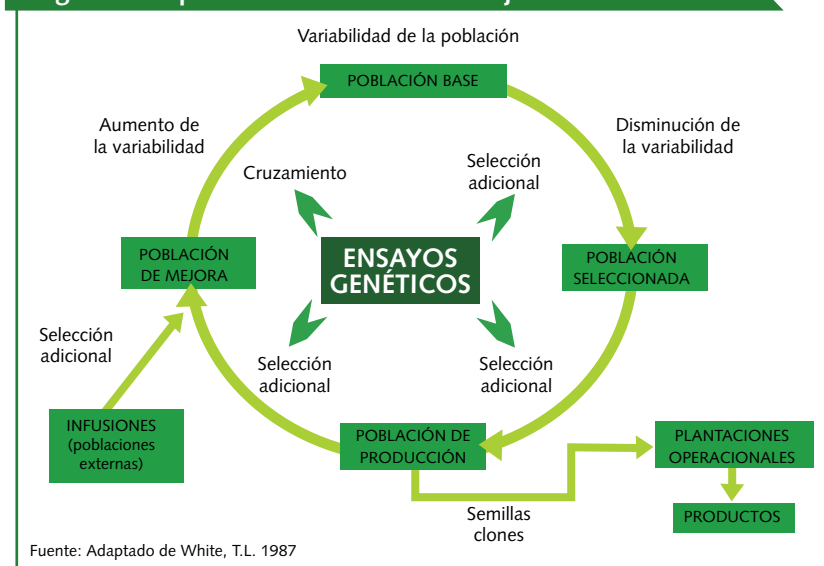
*Injertación apical en Eucalyptus globulus. La estrecha unión entre púa y patrón, da origen a árboles genéticamente idénticos (clones) al árbol donante de la púa.*

Específicamente, la introducción de especies exóticas en América Latina, pinos y eucaliptos principalmente, dada por la adaptación favorable de estos árboles a sus climas, motivó el desarrollo de plantaciones forestales comerciales a gran escala en países como Chile hacia 1970. De hecho, esta tendencia provocó el incremento en área plantada de *Pinus radiata* en ese país, cuyo programa de mejoramiento genético se inició rápidamente cinco años después, y gracias a la cual hoy, existen más de dos millones de ha en plantaciones forestales dedicadas a la producción de pulpa, papel, cartón y astillas, de las cuales 1.46 millones de ha<sup>(3)</sup> se han establecido con dicha especie.

Por la misma línea, vale nombrar los avances en la materia con otras especies como eucaliptos, principalmente en Brasil donde, luego de trabajar con rigor la silvicultura familiar (el cultivo de árboles a partir de semilla de padre y/o madre conocida) hoy se ha dado el paso hacia la silvicultura clonal (el cultivo de árboles a partir de la multiplicación vegetativa de clones probados), usando procedimientos biotecnológicos de punta tales como la organogénesis o cultivo de tejidos, cultivos de estacas o de estaquillas y la embriogénesis somática o cultivo de embriones.

En Colombia, se introducen los principios del MGF y se desarrollan los primeros programas de mejoramiento genético para varias especies de pinos y eucaliptos en la década de los 70, a partir del interés de la empresa privada por considerar este aspecto genético –de la mano con la silvicultura– parte fundamental del desarrollo forestal<sup>(4)</sup>. Adicionalmente, otras instituciones como el INDERENA lideraron ensayos de introducción de especies y procedencias en los años 80, con los cuales se logró el establecimiento de algunas fuentes semilleras y la conservación de recursos genéticos para el inicio

Diagrama Simplificado de un Ciclo de Mejoramiento Genético



de estos programas de mejoramiento genético (PMG) en el país<sup>(5)</sup>.

Actualmente, el apoyo del Estado a la investigación forestal y a los programas de mejoramiento genético en Colombia es escaso; existen algunos aportes como el porcentaje del valor asignado anualmente por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para el CIF - Certificado de Incentivo Forestal a la investigación en Semillas de Especies Forestales; sin embargo, esta asignación disminuyó de 300 millones en el 2006 a 200 millones en el 2007, año en el cual el monto total asignado al CIF correspondió a 20.000 millones de pesos, de los cuales el 1 por ciento se destinó al mencionado programa.

Otras iniciativas las adelantan instituciones como la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), desde 1995, liderando el Programa de Investigación en Semillas de Especies Forestales con diversos fondos, a la vez que ejecuta los aportes provenientes de la vigencia CIF 2006 en acciones como el inventario, clasificación y evaluación de las áreas productoras de semilla existentes en el país y las proyecciones de reforesta-

ción de los núcleos y cadenas forestales, apoya la ejecución de proyectos de mejoramiento genético en conjunto con la empresa privada para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus pellita* y proyectos de propagación vegetativa para *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*.

## ¿Cómo funciona el Mejoramiento Genético Forestal?

El mejorador genético, en términos prácticos, se encarga de reconocer la variabilidad que puede tener un árbol en una plantación, la aísla en un área específica por medio de ensayos de progenie y, con base en selecciones recurrentes, reúne esta variabilidad en un árbol con todas las características productivas deseables para, finalmente, multiplicarlo (por semillas o métodos vegetativos) en las plantaciones forestales comerciales<sup>(6)</sup>. En este sentido el MGF puede entenderse como el avance continuo de un ciclo cuyo inicio lo constituye una población de árboles con la máxima variabilidad genética<sup>(7)</sup> y cuyo

principal resultado serán semillas de origen y calidad conocidos.

Así, la selección continua de árboles mejorados se dirige hacia dos propósitos fundamentales: poner a disposición semilla o propágulos vegetativos para plantaciones operativas y consolidar la nueva población base; mientras la producción comercial de semilla mejorada se basa en la determinación de las procedencias más útiles para una región determinada, la introducción de semilla de esos orígenes para propósitos comerciales y de mejoramiento (población base), la habilitación rápida fuentes semilleras (población de producción), la selección continua de familias e individuos superiores (población de mejora) y la eventual propagación de los cruces de los mismos en ensayos experimentales busca convertir esta información en una nueva población base para, en un nuevo ciclo de mejoramiento, repetir el ciclo en el tiempo.

Vale señalar que todo PMG se alimenta continuamente del análisis estadístico para poder determinar las diferencias a nivel de crecimiento en altura, diámetro y demás caracteres de mejoramiento entre los orígenes e individuos que conforman la población. La determinación de la magnitud de la variación entre las procedencias es clave para definir la mejor estrategia de mejoramiento y a su vez, las oportunidades de obtener ganancias adicionales a las logradas por usar el mejor origen son mayores, si los mejores individuos son seleccionados para realizar cruces controlados.

Así, la implementación de las técnicas de propagación vegetativa de los árboles avalados estadísticamente, permite obtener plantaciones homogéneas y adaptadas favorablemente a condiciones de sitio específicas.

**“El sexo es el único mecanismo que puede incrementar las ganancias en forma continua y permanente, es decir, es el único mecanismo que origina ciclos de mejora”.**

Gracias al establecimiento y evaluación de los ensayos de interacción genotipo-ambiente, y de otro tipo de ensayos de evaluación, es posible implementar con seguridad estrategias de propagación cuando hay certeza sobre cuáles serán los mejores individuos representantes de las mejores familias o de las mejores procedencias.

Sin embargo, en términos prácticos, para entrar en la cultura de los clones se requiere total precisión en los procesos productivos y un trabajo de selección genética exhaustiva realizada previamente; por tanto, esto solo será financieramente viable para empresas reforestadoras consolidadas y con proyecciones importantes de plantación.



*Las yemas deben ser cosechadas, identificadas y transportadas a bajas temperaturas para la injertación.*

La evaluación de todo ensayo genético debe realizarse anualmente, mínimo hasta completar el turno o edad de cosecha de la especie, lo que indica que un programa de este tipo no puede concebirse para plazos cortos y que, además, debe considerarse el objetivo de la producción para orientar la selección y adaptación, razón por la cual no puede esperarse una ganancia genética considerable de la noche a la mañana<sup>(8)</sup>.

De igual manera, se debe considerar que el MGF implica realizar una inversión importante en aspectos como: recurso humano calificado para el diseño de las pruebas genéticas, una colección de semillas que reúna una muestra representativa de procedencias, personal capacitado para implementar ensayos en terreno y, en fases más avanzadas, el dominio de técnicas especiales como los protocolos de cruzamientos controlados, entre otras actividades, lo que significa que un programa de reforestación a pequeña escala no admitiría, en términos de rentabilidad, una inversión de este tipo.



*Injertos de Eucalyptus globulus en crecimiento. Al igual que otras especies de eucaliptos, alrededor del 50 por ciento de estos injertos logran sobrevivir.*

Fotos: Cortesía Victor Nieto / Confif.

## Colombia: Avances en Mejoramiento Genético

A manera de información se presenta un resumen de los principales logros y disponibilidades de material mejorado, a nivel forestal, para algunas especies en el país. Estos resultados son consecuencia del esfuerzo de diferentes entidades y especialistas que, luego de años de trabajo, han alcanzado un resultado comercial y de calidad con algún grado de diferenciación sobre la semilla de poblaciones silvestres.

- **Roble** (*Tabebuia rosea*)

Dados los buenos comportamientos del roble en la región Caribe colombiana, las ventajas comparativas que tiene la zona para el establecimiento de plantaciones con potencial exportador, la proyección de mercados madereros –y además, la amplia distribución en la Costa Atlántica y en la zona Andina –, su buen mercado de semilla nacional e internacional y las posibilidades de desarrollo a nivel genético y comercial maderable, se iniciaron los trabajos en MGF con esta especie.

Con el apoyo de diferentes actores forestales regionales fue posible obtener una colección inicial de árboles selectos entre todos los existentes en la región, a partir de los cuales se realizó un proceso de acopio de material (semillas y estacas vegetativas) y tras cuyo proceso, en 1998, se estableció un huerto semillero clonal en San Antero (Córdoba), del cual, hoy en día, se cosecha un volumen estimado de 70 kg/año; cantidad suficiente para plantar 800 ha.

Igualmente, y con el objeto de valorar la calidad genética de los árboles del huerto, se plantaron cinco ensayos de evaluación (ensayos de progenie) localizados en lugares representativos de las regiones donde se desarrollarán los cultivos industriales.

- **Nogal** (*Cordia alliodora*)

Es una especie de gran importancia para la región Andina, tradicionalmente asociada con los cultivos de café y que crece principalmente en los departamentos del viejo Caldas y en zonas aledañas cafeteras.

Con esta especie se iniciaron los programas de selección en el año 1999, por parte de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, en los que se ubicaron árboles candidatos, posteriormente avalados y reseleccionados, para llegar a un rango de 40 a 60 árboles que cumplieran las condiciones deseadas. En el año 2001 y después de suscribirse un acuerdo de cooperación entre CONIF, CENICAFÉ y Smurfit Cartón de Colombia, se lograron sustanciales resultados como la generación de injertos viables y la plantación de material suficiente para establecer dos huertos semilleros clonales de la especie, uno dentro de los predios de la Granja Experimental “Paraguaycito”, en Buenavista, Quindío, y otro, en la Finca “La Celia” en predios de Smurfit Cartón de Colombia.

Hoy en día, entre las actividades actuales, CENICAFÉ tiene proyectado aumentar el número de plantas en ambos huertos y evaluar el estado de una réplica adicional establecida en predios de la CRC (Popayán). Igualmente, en Chinchiná se está adecuando un nuevo predio de 3,5 ha, donde se establecerán los 35 mejores clones de *C. alliodora* con dos características fundamentales: alta productividad y resistencia o tolerancia al fitoplasma, enfermedad que está poniendo en riesgo las plantaciones de la especie existentes en el país.

- **Teca** (*Tectona grandis*)

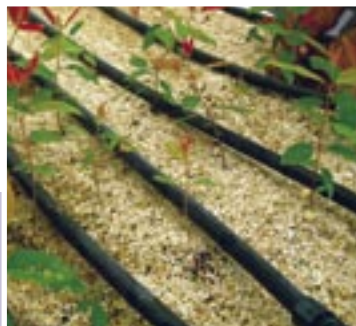
Actualmente, la teca se destaca por ser una especie de alta demanda para ser plantada en el país, pues las características de su madera y sus proyecciones de mercado, han despertado el interés de los reforestadores e inversionistas.

Históricamente, el desarrollo silvicultural de la especie en Colombia ha dependido del interés de la empresa privada. Particularmente, compañías como Reforestadora de la Costa, Ganados y Maderas y Reforestadora Caribe han implementado programas

Fotos: Vivero Rancho Grande. Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A.



Planta madre de *Eucalyptus grandis*. De esta planta se cosechan estacas, que una vez enraizadas, serán copias idénticas de su progenitora.



Bajo condiciones de cultivo hidropónico, las minijardines clonales proveen estacas de cientos de plantas madre para su clonación.

Foto: Vivero Rancho Grande, Smurfit Kappa Cartón de Colombia S.A.



*Clones de Eucalyptus grandis. Las plántulas deben ser identificadas con su origen para la conformación de los ensayos genéticos.*

de selección estableciendo razas locales por la reselección de los árboles progenitores. En este sentido, CONIF ha apoyado la realización de recorridos de reselección de árboles a partir de los cuales se implementaron tareas para la cosecha de semilla y la producción de plantas injertadas. Estos injertos sirvieron para diseñar y plantar el primer huerto semillero clonal de esta especie en Colombia (2003), ubicado en el predio 'La Tranquilidad', propiedad de Reforestadora de La Costa y que posee 625 árboles aproximadamente.

Actualmente, como resultado del respaldo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –a través de los programas de innovación y desarrollo tecnológico por cadenas productivas– Refocosta y CONIF han iniciado el desarrollo de la infraestructura necesaria para adelantar procesos de producción de plantas, a través de la silvicultura clonal, lo cual permitirá a mediano plazo, ofrecer plantas suficientes y de mayor calidad para satisfacer la demanda.

## • Eucaliptos

Los desarrollos en mejora genética de eucaliptos en Colombia han estado, principalmente, en cabeza de la empresa privada. De hecho, son inne-

gables los alcances en investigación y desarrollo del grupo Smurfit Kappa Cartón de Colombia con *Eucalyptus grandis*, cuyo PMG ya se encuentra en ensayos clonales de la población élite de tercera generación, lo que ha permitido desarrollar técnicas de producción de semillas mediante cruces controlados entre clones selectos y la implementación de minijardines clonales hidropónicos para su propagación masiva. Esta compañía cuenta hoy con 39 ha en huertos semilleros de la especie que producen 89 kg de semilla al año, lo que significa 8.180 mil plantas aproximadamente.

De otro lado, vale la pena mencionar los logros de la empresa Refocosta, en Villanueva (Casanare), en materia de selección de especies, caracterización y multiplicación clonal demostrando la potencialidad del *Eucalyptus pellita* en el desarrollo de la Orinoquia colombiana y los alcances de la Reforestadora San Sebastián con *Eucalyptus*

**... El significado de la genética forestal no es solamente lograr la máxima ganancia en los procesos de investigación, es más importante entender la genética del bosque, identificar cómo los ecosistemas boscosos operan y ser proveedor de recursos genéticos. (Namkoog 1989, tomado de Tropical Forest Genetics, Finkeldey, 2007).**

*tereticornis* en selección y desarrollo de esta especie.

## • Ceiba y Gmelina

La ceiba (*Pachira quinata*) y la melina (*Gmelina arborea*) son dos especies de gran proyección en la Costa Atlántica que presentan un desarrollo genético y de selección que permite ofrecer, hoy día, semilla con garantía de origen a la inversión. En este sentido se destaca el trabajo adelantado por la empresa Monterrey Forestal que tiene, para ambas especies, lugares de provisión de semilla respaldados en procesos rigurosos de valoración y selección, incluso llegando a identificar clones con potencialidad de adaptación en condiciones secas o limitaciones hídricas para el Magdalena bajo seco.

Actualmente Monterrey Forestal, en conjunto con CONIF, adelantan los protocolos de implementación y desarrollo de la infraestructura para la multiplicación clonal de melina como fuente de abastecimiento de plantas con destino a la reforestación comercial. Para el caso de la ceiba se encuentran establecidos cuatro huertos semilleros por esta compañía, ubicados en Zambrano (Bolívar) y que pueden producir 50 kg de semilla al año. Para el caso de *Gmelina arborea*, la compañía cuenta con dos huertos semilleros de producción conjunta anual cercana a los 2.200 kg/año.

## • Pinos

Para estas especies, los programas han sido liderados también por la empresa privada, en encabeza de Cartón de Colombia, que se ha centrado en el *Pinus kesiya*, *Pinus maximinoii*, *Pinus tecunumanii* y *Pinus patula*, de las cuales se tienen ensayos de procedencias y progenies y de huertos semilleros. En cuanto a la producción de estas fuentes semilleras, la compañía cuenta con 29 ha en huertos semilleros de *Pinus tecunumanii* que producen 5.5 kg de semilla al año; 25



Plantaciones comerciales con *Tectona grandis* (Teca).

ha en *Pinus maximinoii* que producen 1 kg de semilla anual –del cual se derivan 20.000 plantas aproximadamente– y un huerto de tres ha de *Pinus kesiya*.

## Proyección del MGF en Colombia

Las experiencias mencionadas son la base para afirmar que los PMG implementados en el país son aún incipientes. La mayoría de las especies se encuentran en la fase de consolidación de la población, y selección y producción de las primeras generaciones, esto se debe a que muchos de los trabajos en este campo se han iniciado recientemente o no han sido continuos en las tareas. Exceptuando los notorios avances obtenidos por Smurfit Kappa Cartón de Colombia con *Eucalyptus grandis*, o lo alcanzado por Monterrey Forestal con *Gmelina arborea*, aún resta mucho por hacer para conservar y mejorar nuestras especies.

Es necesario concientizar a los actores forestales nacionales a cerca de la

importancia de invertir en PMG, dado que constituyen la única forma de poner a disposición un material reproductivo idóneo, desde el punto de vista genético, que se traduce en el aumento de la competitividad del sector.

Gracias a la aplicación de los PMG puede lograrse, entre otros beneficios, mayor productividad por hectárea plantada, mejor calidad del producto, adaptación a áreas marginales de plantación y reducción sustancial de los turnos de aprovechamiento y de los costos de establecimiento; por ello,

debe darse mayor importancia a este tema, viéndolo como una herramienta operacional de uso cada vez más frecuente que, en conjunto con buenas prácticas silviculturales optimizaran los resultados de inversión y desarrollo forestal que necesita el país.

Las proyecciones de retorno económico a la inversión, el carácter dinámico de la mejora genética y del manejo y conservación de los recursos y la obligación de considerar la susceptibilidad a la pérdida de la variabilidad del acervo genético por la presión de uso a la cual están sometidas las poblaciones naturales, nos debe llevar a prever la necesidad de esquemas financieros permanentes para garantizar la estabilidad en el tiempo de este tipo de programas. 📄

### Citas

1) Como lo define ZOBEL et al. (1988), uno de los principales gestores de esta ciencia en el ámbito mundial, el mejoramiento genético forestal corresponde al vínculo entre la silvicultura y el origen del árbol.

2) Conferencias sobre mejoramiento genético de cultivos agrícolas dadas en Texas por Ake Gustafsson del Colegio Forestal de Estocolmo

y la publicación de varios artículos sobre las conferencias del especialista, desencadenaron el desarrollo de valiosos programas de mejoramiento genético forestal para pinos, bien organizados y financiados en el sureste de los Estados Unidos en 1958. (Adaptado de ZOBEL et al., 1988).

3) (Tomado de INFOR, 2003).

4) Para ello, se acudió a la asesoría de genetistas de la Escuela de Carolina de Norte, (Dr. W.Ladrach y Dr. B. Zobel) en los proyectos de reforestación comercial de Smurfit Cartón de Colombia.

5) Ejemplos puntuales de esta labor fueron el establecimiento de ensayos de procedencias de *Cariniana pyriformis* (abarco), *Cordia alliodora* (Roble), *Gmelina arborea* (melina) y *Pinus patula* (pino), de huertos semilleros de *Cupressus lusitánica* y *Pinus patula* en Antioquia y el establecimiento de un huerto semillero de *Eucalyptus globulus* en el interior del país.

6) Adaptado de ZOBEL et al., 1988.

7) Los sistemas reproductivos en los árboles implican cientos de formas posibles de generar descendencia, según las características de los progenitores, y la resistencia determinada por la composición genética que pueden manifestar. Todo este universo de posibilidades se conoce como variabilidad genética de las especies y la manifestación de características deseables en una plantación se puede lograr mediante la aplicación de los principios de selección que finalmente redundarán en la obtención de mayores rendimientos por ha plantada.

8) Vale resaltar que una de las principales ventajas del mejoramiento genético radica en que una vez se obtiene el cambio (ganancia genética) este puede mantenerse por varias generaciones, lo que resulta muy ventajoso a nivel económico, aun cuando el costo inicial de obtención de árboles deseados pueda ser considerable.

### Referencias.

- Ipinza, R. y Nieto, V. 1988. *Mejoramiento Genético Forestal*. Santafé de Bogotá, agosto de 1998. Serie Técnica No.42. 162 p.
- WHITE T. L. A. *conceptual framework for tree improvement programs*. *New Forest* 4:325-342. 1987.
- ZOBEL y TALBERT. *Mejoramiento Genético de Árboles Forestales*. Editorial Limusa.1988.

### Fuentes:

- \* Ingenieros Forestales de la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – CONIF
- \*\* Dr. en Montes, Exdirector del INFOR-Chile-, Asesor del Programa de Mejora Genética Forestal – CONIF.