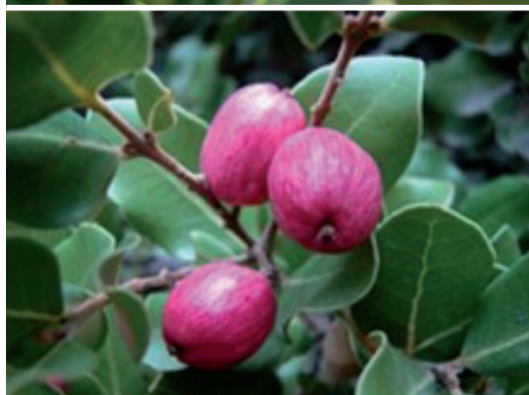


CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Principios y Prácticas



**Instituto Forestal
2015**



CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Principios y Prácticas

Editores

**Braulio Gutiérrez C.
Roberto Ipinza C.
Santiago Barros A.**

Instituto Forestal
2015



INFOR

Instituto Forestal
Sucre 2397, Ñuñoa, Santiago
Chile
Tel. 56 22 366 7115
ISBN N° 978-956-318-108-1
www.infor.cl

Se autoriza la reproducción parcial de la presente publicación siempre y cuando se incluya la cita correspondiente:

Gutiérrez, Braulio; Ipinza, Roberto y Barros, Santiago (Eds.), 2015. Conservación de Recursos Genéticos Forestales, Principios y Prácticas. Instituto Forestal, Chile. 320 p.

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	5
PRÓLOGO	7
INTRODUCCIÓN	
EL PAPEL DE LA CONSERVACIÓN GENÉTICA. Roberto Ipinza C.	11
I. ANTECEDENTES	
Capítulo 1. LOS ACTORES DE LA CONSERVACIÓN EN CHILE. Julio Torres C.	19
Capítulo 2. RECURSOS GENÉTICOS Y RECURSOS BIOLÓGICOS: DEFINICIONES Y DIFERENCIACIÓN. Braulio Gutiérrez C.	41
Capítulo 3. LAS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS: UN IMPORTANTE RECURSO GENÉTICO FORESTAL. Santiago Barros A.	47
II. TEORÍA GENÉTICA Y DE CONSERVACIÓN	
Capítulo 4. LA GENÉTICA CUANTITATIVA Y LA CONSERVACIÓN GENÉTICA. Roberto Ipinza C.	77
Capítulo 5. CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO GENÉTICO: LA PARADOJA DE LA LLAVE Y LA CERRADURA, UN ENFOQUE DIDÁCTICO. Roberto Ipinza C.	91
Capítulo 6. PLASTICIDAD FENOTÍPICA SIGNIFICADO Y MÉTODO DE CÁLCULO. Roberto Ipinza C.	105
III. MONITOREO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES	
Capítulo 7. CERTIFICACIÓN FORESTAL FSC Y BIODIVERSIDAD DE LOS RGF, ESTADO ACTUAL Y PROYECCIONES. Victor Vargas R.	121
Capítulo 8. CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS <i>EX SITU</i> EN CHILE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. Roberto Ipinza C.; Carlos Magni D.; Braulio Gutiérrez C.; Julio Torres C.; María Paz Molina B.; Carlos Bahamondez V. y Ricardo Alía M.	135

Capítulo 9. INCENDIOS FORESTALES Y SU IMPACTO SOBRE LOS RECURSOS GENÉTICOS. Julio Torres C. y Miguel Castillo S.	165
--	-----

IV. PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES.

Capítulo 10. CONSIDERACIONES PARA EL MUESTREO Y COLECTA DE GERMOPLASMA EN LA CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i> DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES. Braulio Gutiérrez C.	179
---	-----

Capítulo 11. ALMACENAMIENTO DE COLECCIONES DE GERMOPLASMA <i>EX SITU</i> . Braulio Gutiérrez C.; Carlos Magni D. y Paulina Gutiérrez B.	197
---	-----

Capítulo 12. ESTABLECIMIENTO Y ORDENACIÓN DE RODALES DE CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i> EN CHILE. María Paz Molina B. y Roberto Ipinza C.	215
---	-----

Capítulo 13. CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i> EN EL JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL DE VIÑA DEL MAR, CHILE. Patricio Novoa Q. y Braulio Gutiérrez C.	235
--	-----

V. ESTUDIOS DE CASOS

Capítulo 14. INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN EN ESPECIES NATIVAS: EL CASO DEL PEUMO (<i>Cryptocarya alba</i>). Patricio Chung G.	249
--	-----

Capítulo 15. CONSIDERACIONES DE GENÉTICA MOLECULAR PARA LA CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i> Y EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LENGUA (<i>Nothofagus pumilio</i>). Roberto Ipinza C.	269
--	-----

Capítulo 16. EVALUACIÓN GENÉTICA A LOS 8 Y 11 AÑOS DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE LENGUA (<i>Nothofagus pumilio</i>) EN LA RESERVA NACIONAL COYHAIQUE, REGIÓN DE AYSÉN. Roberto Ipinza C. y Braulio Gutiérrez C.	277
--	-----

Capítulo 17. EVALUACIÓN GENÉTICA A LOS 9 Y 14 AÑOS DE UN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ (<i>Nothofagus alpina</i>) EN ARQUILHUE, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE. Roberto Ipinza C.; Braulio Gutiérrez C. y María Paz Molina B.	297
--	-----

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar esta nueva obra sobre conservación de recursos genéticos forestales, se nos hace evidente que esta no se hubiese logrado sin la participación de numerosas personas que han contribuido de distinta forma a su obtención. De entre ellas, en esta ocasión queremos hacer un especial reconocimiento a los técnicos forestales de la Unidad de Conservación y Mejoramiento Genético de INFOR Srs. Andrés Bello Durán y Roger Carrasco Galleguillos, ya retirados de la actividad profesional en este instituto, y a los continuadores de su labor, Srs. Mauricio Navarrete Torres y Hernán Soto Guevara. Sin ellos el Instituto Forestal no hubiese tenido el acervo de ensayos que ha sido determinante para el desarrollo forestal del país y tampoco le hubiese sido posible convertirse, junto a otras instituciones privadas, en uno de los guardianes de los recursos genéticos forestales nativos. Han sido iniciativas puestas en práctica por los profesionales señalados, las que mediante muestreos de la distribución biogeográfica de especies emblemáticas han hecho posible salvaguardar in vivo la capacidad adaptativa de estas especies para el país.

Sobre conservación de recursos forestales se pueden escribir artículos y libros, pero nada sustituye a la anónima labor de quienes en terreno dedican su mejor esfuerzo al establecimiento y mantención de los ensayos genéticos y de las unidades experimentales que sustentan la investigación posterior. A ellos, que más que plantar ensayos han materializado una significativa contribución a la conservación del acervo genético forestal y a la ciencia forestal nacional, nuestra gratitud y reconocimiento.

Los Editores
Concepción, Abril 2015

PROLOGO

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) es un tratado internacional jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: La conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible. Chile ratificó el Convenio sobre la Diversidad Biológica el 9 de septiembre de 1994, mediante Decreto Supremo N° 1.963 del Ministerio de Relaciones Exteriores, el que fue publicado en el Diario Oficial con fecha 6 de mayo de 1995. El Convenio reconoce explícitamente que la conservación de la diversidad biológica es una meta común de la humanidad y la base fundamental del proceso de desarrollo, además es el primer acuerdo global que abarca todos los niveles de la diversidad biológica; recursos genéticos, especies y ecosistemas.

El órgano rector del CDB es la Conferencia de las Partes (COP). Esta autoridad suprema de todos los Gobiernos, o Partes, que han ratificado el tratado se reúne cada dos años para examinar el progreso, fijar prioridades y adoptar planes de trabajo. En 2010, las Partes en el CDB adoptaron el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011- 2020, un marco de acción para que todos los países e interesados salvaguarden la diversidad biológica y los beneficios que esta proporciona a la sociedad.

Como una forma de apoyar este mecanismo y dar a conocer los avances en el ámbito de los Recursos Genéticos Forestales (RGF), el Grupo de Conservación y Mejoramiento Genético del Instituto Forestal se ha propuesto editar una serie de publicaciones técnicas para dar a conocer las bases genéticas de los Recursos Genéticos Forestales y compilar desarrollos específicos que han tenido los RGF en Chile. Esta segunda contribución, después del Catastro 2012¹, reúne a numerosos científicos del ámbito Universitario, Organismos Públicos y ONG, que muestran sus contribuciones.

De esta forma, el Instituto Forestal está retomando su papel articulador y coordinador de los esfuerzos de muchas instituciones en pro del desarrollo de los Recursos Genéticos Forestales de Chile y espera que en las próximas publicaciones en la materia este esfuerzo continúe acrecentándose, dado que el conocimiento y cuidado de los Recursos Genéticos Forestales es fundamental para el desarrollo sustentable del país.



Fernando Rosselot Téllez
Director Ejecutivo
Instituto Forestal

¹ **Ipinza, R., Barros, S., Gutiérrez, B., Magni, C. y Torres, J. (Eds.), 2012.** Recursos Genéticos Forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. 271 p.

INTRODUCCIÓN

EL PAPEL DE LA CONSERVACIÓN GENÉTICA

Roberto Ipinza Carmona¹

La diversidad genética proporciona la base fundamental para la evolución de las especies arbóreas forestales. Esta diversidad ha permitido que los bosques y los árboles se adapten a condiciones cambiantes y adversas durante miles de años y ha traído como resultado una variedad única e insustituible de recursos genéticos de los árboles forestales. No obstante, la gran mayoría de la diversidad genética forestal permanece desconocida, especialmente en los bosques tropicales. Las estimaciones del número de especies arbóreas varían de 80.000 a 100.000. Sin embargo, menos de 500 se han estudiado con alguna profundidad en cuanto a su potencial presente y futuro. Hasta hace poco, los estudios de los recursos genéticos de los árboles forestales se han concentrado en domesticar aquellos considerados de mayor utilidad para la producción de madera, fibra y combustible a partir de sistemas de plantaciones y agroforestería.

Como resultado de las presiones sobre los terrenos forestales y de los efectos de la utilización insostenible de los recursos forestales, el gran potencial genético de estos se encuentra en riesgo de perderse para siempre, antes de poder ser identificado y utilizado. La pérdida y degradación de los bosques siguen siendo importantes preocupaciones en el ámbito mundial, a pesar de los enormes esfuerzos realizados para llegar a la ordenación forestal sostenible. También hay una creciente sensibilización sobre los valores esenciales que la diversidad genética forestal proporciona por sí misma como medio para afrontar los desafíos mundiales, particularmente el cambio climático.

La terminología de conservación genética utilizada en este capítulo corresponde a la sugerida por Johnson *et al.* (2001).

LA CONSERVACIÓN GENÉTICA

La sustentabilidad de un determinado ecosistema depende del mantenimiento de un flujo de genes diversos y sanos de los organismos que lo constituyen. Como las especies arbóreas forestales dominantes, son frecuentemente “las especies clave” para mantener la biodiversidad de los bosques, la conservación y mantenimiento de su diversidad genética son aspectos de gran importancia tanto para los ambientalistas como para los gestores forestales. Asimismo, es necesario conservar el acervo genético de especies silvestres para su domesticación en las plantaciones de modo de contar con grupos de genes para selección que serán una ayuda en la búsqueda de variedades resistentes a los patógenos, plagas y contaminantes ambientales y que presentarán altas tasas de crecimiento y buenas cualidades maderables. Por ejemplo, la alta diversidad dentro y entre las especies de eucalipto ha sido de gran ayuda para el establecimiento de plantaciones muy productivas en Chile, Brasil, Portugal, Sudáfrica y España, entre otros países.

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

Las lecciones que pueden aprenderse de la experiencia agrícola están dadas por las identidades genéticas de casi todas las especies de cultivos modernos domesticados que actualmente son muy diferentes de los progenitores silvestres. En realidad, en muchos casos, esas especies ancestrales ya no existen, situación que restringe el mejoramiento genético que pueda realizarse. La importancia de mantener una base genética amplia y viable es un principio aceptado tanto por los científicos forestales como por los gestores, administradores y políticos. Sin embargo, el verdadero reto es poner el principio en práctica, con éxito, a fin de contar con un equilibrio apropiado entre la conservación y la producción sostenible.

La Conservación *Ex Situ* e *In Situ*

La conservación *ex situ* es la conservación por fuera del hábitat natural de una especie y puede desempeñar un papel importante en la protección contra la pérdida de la biodiversidad. Los jardines botánicos, arboretos, huertos y bancos de semillas, bancos de clones, jardines comunitarios, rodales de conservación, ensayos de procedencia, ensayos de progenie y últimamente las librerías de ADN, son todos ejemplos de la conservación genética *ex situ*. Incluso algunas plantaciones forestales comerciales, especialmente aquellas establecidas con plantas derivadas de una base genética relativamente amplia, representan un tipo de conservación *ex situ*, que es de especial importancia para especies con reducidas poblaciones naturales o en peligro de extinción. Los mejoradores vegetales reconocen que tales prácticas *ex situ* son un respaldo conveniente para la investigación.

La conservación *in situ*, que es la conservación de una especie y de su diversidad genética dentro de las reservas naturales, es necesaria para la conservación exitosa, a largo plazo, del acervo genético de las especies arbóreas silvestres.

Es importante notar que solo las áreas de conservación natural de tamaño adecuado y con distribución y manejo apropiados brindan los elementos necesarios de competencia intra e inter específica y la selección natural que constituye el motor del proceso evolutivo y que a su vez engendra a la diversidad. Además, las áreas de conservación *in situ* sirven tanto como punto de referencia como de fuente de materiales para el diseño e implementación de proyectos de reintroducción y restauración ecológica.

En este sentido las estrategias de conservación *in situ* y *ex situ* deben ser complementarias. Una estrategia o ambas pueden ser necesarias para la conservación de una especie o población específica.

Combinación de la Conservación y el Mejoramiento

El mejoramiento genético y la conservación deben ser complementarios (Burdon, 1995). La conservación *in situ*, si es planeada de forma apropiada, puede contribuir significativamente en un programa de mejoramiento forestal *ex situ* al brindar una fuente sustentable de material genético, mientras que el programa de mejoramiento forestal puede proporcionar la motivación y los recursos para una exitosa conservación *in situ*. Si se desea que un sistema de reservas de

conservación represente adecuadamente la diversidad genética de un ecosistema, es crítico contar con información sobre frecuencia genética y tamaño de la población. El diseño apropiado y el mantenimiento de plantaciones *ex situ* son necesarios para lograr una máxima recombinación genética mientras que se reduce a un mínimo la contaminación externa. Una forma efectiva de conservar la diversidad genética y reducir al mínimo la pérdida de alelos de baja frecuencia (genes) para características particulares, consiste en mantener poblaciones genéticas separadas sobre la base de características específicas de interés, tales como la estrategia de poblaciones múltiples (Ipinza, 2012).

Las actividades del mejoramiento y conservación genética son costosas por lo que se precisa fomentar enfoques colaborativos para reducir los costos, ahorrar tiempo y aumentar al máximo la eficacia. Los resultados de varios programas existentes son presentados en el presente libro, tanto en un nivel de amenaza a los recursos genéticos forestales de varias especies como en un nivel promisorio de éxito en la mitigación de estas amenazas. Además, los resultados muestran que, cuando se planean y realizan apropiadamente, los programas combinados de conservación genética y mejoramiento pueden tener una relación costo-beneficio favorable y pueden servir para mejorar la percepción del público sobre las plantaciones forestales. Debido a los altos costos de tales programas, a las limitaciones impuestas por los sistemas de tenencia de tierras y a la situación económica de muchos de los productores potenciales de material genético, es apropiado y necesario contar con algún nivel de apoyo gubernamental local y nacional (e internacional), para las actividades de conservación. Esto es especialmente válido para las especies forestales y sistemas que no utilizan actualmente las industrias forestales, que sin embargo son de gran valor para las comunidades locales y para el país, ámbito en el cual el sistema *circa situ*, que se discutirá más adelante, debería jugar un papel más relevante en Chile.

Existen varias herramientas biotecnológicas y moleculares que pueden ser muy útiles para el mejoramiento genético forestal y para entender la filogenia y la ecología de las poblaciones y especies. Las técnicas moleculares son muy útiles en las estrategias de conservación al aclarar la diversidad genética, la estructura de la población, el flujo de genes y los sistemas de reproducción con una precisión razonable, tal como ha sido aplicado por Vergara (2011) en *Nothofagus alpina*, *N. obliqua* y *N. glauca*. Es indudable que la aplicación de tales tecnologías precisa de un mayor fortalecimiento, tanto en capacitación como en infraestructura en el país.

Existe coincidencia respecto que el Estado debe apoyar iniciativas organizadas a través de la Red de Recursos Genéticos Forestales para el establecimiento de áreas de conservación tanto *in situ* como *ex situ* para las especies nativas y endémicas, y para aquellas en peligro de extinción, al igual que para las especies que son críticas en las plantaciones forestales comerciales sostenibles (Gutiérrez e Ipinza, 2012).

Conservación *Circa Situ*

En la conservación genética, los bosques se consideran como un ecosistema, una entidad biofísica, y también como “un sistema de carácter social” que comprende las interacciones entre todos los niveles de la sociedad y el paisaje forestal. Lo anterior subraya la importancia de

comprometer a las comunidades locales, a los agricultores y a las pequeñas empresas (pymes) en la producción y conservación de los materiales genéticos. Además de mantener el material genético en predios locales, las comunidades podrían cultivar árboles en pequeñas parcelas para complementar y ampliar los recursos, en lo que hoy se conoce como conservación *circa situ*.

Muchos agricultores están interesados en la plantación de árboles forestales, motivados además por los incentivos que proporciona el Estado, pero aunque muchas veces conocen el valor de las especies endémicas y nativas con frecuencia carecen de los conocimientos y de las herramientas técnicas para el desarrollo de estas especies. Por lo tanto, es esencial para el desarrollo de las comunidades rurales aumentar la conciencia sobre la importancia de utilizar material vegetal de alta calidad genética, brindar acceso a estos materiales y proporcionar una adecuada asistencia técnica. En Chile este hecho ha sido la principal falencia de todos los programas de forestación y reforestación gubernamentales destinados a la agricultura familiar campesina y a la pyme forestal. Un programa basado en conservación *circa situ* permitirá mejorar el éxito de los esfuerzos de conservación genética, particularmente para las especies de mayor valor.

En parte importante del país, en especial la zona norte y central, la deforestación de bosques esclerófilo ha alcanzado un punto en el cual virtualmente no quedan bosques para incluir en las áreas protegidas (Magni *et al.*, 2012 a y b). Existen pequeños reductos forestales en la precordillera y en quebradas, que son el último bastión de las especies de bosques esclerófilos, de modo que su protección es vital para permitir el flujo de genes entre los miembros de sus poblaciones y para que actúen como corredores para la fauna.

En tales situaciones los conservacionistas se ven obligados a aceptar que las personas y la agricultura son elementos integrales y dominantes del ecosistema, y reconocer que satisfacer sus necesidades es la primera preocupación es la única manera de lograr la conservación en estas áreas.

Algunos de los sistemas agroforestales tradicionales utilizados por los pequeños agricultores en la zona árida y semiárida realmente contribuyen a la conservación y satisfacen las propias necesidades de los campesinos. Estos pueden llegar a cuidar los árboles regenerados naturalmente de quillay, peumo, espino, entre otros. La importancia que ha tenido el espino para el pequeño agricultor y la capacidad de regeneración natural de la especie son las razones principales por las que han sobrevivido poblaciones importantes de ella en la zona semiárida.

Las organizaciones de extensión, como la CONAF e INDAP, pueden ayudar a acopiar poblaciones naturales deterioradas y fragmentadas de especies nativas y endémicas, incrementando su promoción en programas de desarrollo agroforestal. Estos en muchos casos proporcionan buenas alternativas a las especies exóticas que promueven los profesionales de extensión, incluso cuando las especies nativas muestran tasas de crecimiento inferiores a las exóticas, esta situación se compensa con otras ventajas de las nativas, como su mayor familiaridad, semilla más fácil de conseguir y reducida necesidad de apoyo externo.

Sin embargo, en algunos casos las exóticas pueden satisfacer aún mejor las necesidades de las personas locales que las especies nativas. En consecuencia, podría haber conflictos de intereses entre lo que es mejor para el pequeño propietario y lo que es mejor para la conservación genética. El uso de exóticas puede afectar negativamente a las especies nativas, reemplazándolas en los sistemas agroforestales.

Al nivel de poblaciones nativas y endémicas, la posibilidad de hibridación entre material de procedencias adaptadas y locales con otras introducidas es mucho más grande en Chile, ya que no existen aún una reglamentación oficial al respecto. Esto conlleva al riesgo de una pérdida de la pureza y una contaminación de las procedencias. Esto reduciría las posibilidades de identificar procedencias específicas adecuadas para usos finales y condiciones de sitio particulares. La importancia de esta diversidad ha sido ampliamente demostrada en ensayos de procedencia en el mundo entero (Eriksson *et al.*, 2006). La introducción de procedencias exóticas puede resultar, ya sea de decisiones conscientes basadas en su comportamiento superior, o simplemente por no tomar en cuenta la procedencia al abastecerse de semillas.

En la realidad no sería práctico (incluso, si fuese moralmente aceptable) intentar evitar los impactos negativos sobre las especies y poblaciones nativas, ocultando las ventajas de las exóticas y promoviendo en su lugar las especies nativas y procedencias locales. La selección de las especies utilizadas en los programas de forestación generalmente está más en manos de operadores y extensionistas que en las de los conservacionistas, de modo que las necesidades de la gente local tienen mayor posibilidad de ganar la batalla. No habría modo además de impedir la transferencia informal de semillas entre los pequeños propietarios.

Los PFNM (Productos Forestales No Madereros) tienen un papel importante que desempeñar en la conservación *circa situ*, así como también en las áreas protegidas. Estos productos pueden ayudar a estimular la conservación de pequeños reductos de especies endémicas y nativas forestales, que juegan un papel vital en áreas dominadas por la agricultura como corredores para la fauna, y para el intercambio de genes.

Las semillas de árboles tienen también potencial como PFNM, ya que se puede organizar a pobladores locales para que las recolecten para los programas de forestación y reforestación, retribuyéndoles por este servicio.

Estas colectas proporcionan ingresos a los pobladores locales y por ende un incentivo para proteger los árboles que producen las semillas, pero es difícil asegurar que las semillas sean obtenidas desde árboles de buena calidad y con suficiente separación física para evitar el riesgo de endogamia. Una alternativa sería pagar un incentivo a los dueños de los árboles por el derecho de recoger semillas de sus árboles, sin embargo esto haría más difícil y costosa la situación para los bancos de semillas, pero aun así podría justificarse dados los beneficios potenciales y el valor de reventa que ellos podrían esperar de tales semillas.

CONCLUSIONES

La clave del éxito dependerá del desarrollo de programas que armonicen la conservación y la utilización sostenible (Molina *et al.*, 2012) de la diversidad biológica y de los recursos genéticos forestales dentro de un mosaico de opciones de uso de las tierras y que, al mismo tiempo, incluyan un elemento importante de ordenación genética activa.

La sostenibilidad de las acciones a lo largo del tiempo se basará en esfuerzos auténticos para atender las necesidades y aspiraciones de todas las partes interesadas y requerirá una estrecha y continua colaboración, diálogo y participación de los interesados en la planificación y ejecución de los programas correspondientes, incluyendo al Gobierno y a las instituciones nacionales, académicas y de investigación, los propietarios privados, la industria y las organizaciones nacionales no gubernamentales, en definitiva a la red forestal. Es fundamental poner en marcha mecanismos que garanticen la debida consideración de las necesidades y aspiraciones de las comunidades locales.

REFERENCIAS

- Burdon, R. D., 1995.** Future directions in tree breeding: Some questions of what we should seek, and how to manage the genetic resource. In: Proceedings of 25th Meeting, Canadian Tree Improvement Association, Part 2. CTIA / WFGA Conference "Evolution and Tree Breeding: Advances in Quantitative and Molecular Genetics for Population Improvement", J. Lavereau (ed). Victoria, BC, 28 Aug – 1 Sept 1995. Pp: 24-39.
- Eriksson, G.; Ekberg, I. y Clapham, D., 2006.** An Introduction to Forest Genetics Second Edition. 186 p.
- Gutiérrez, B. e Ipinza, R., 2012.** Orientaciones para la conservación y uso sustentable de los recursos genéticos forestales. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds). 2012. Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago. Capítulo 7. Pp: 167-186.
- Ipinza, R., 2012.** Los Recursos Genéticos Forestales en el Contexto de la Utilización Ecoeficiente en Chile. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds). 2012. Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago. Capítulo 1. Pp: 17-32.
- Johnson, R.; St. Clair, J. and Lipow, S., 2001.** Genetic Conservation in applied tree breeding programs. Proceedings: International Conference on *Ex situ* and *In situ* Conservation of Commercial Tropical Trees. Pp: 215-30.
- Magni, C. R. Abarca, B. y Torres, J., 2012a.** Caracterización de recursos genéticos forestales en Chile. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds). 2012. Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago. Capítulo 4. Pp: 91-112.
- Magni, C. R. Abarca, B. y Poch, P., 2012b.** Presencia de recursos genéticos forestales en áreas protegidas de Chile: Conservación *in situ*. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds). 2012. Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago. Capítulo 5. Pp: 113-148.
- Molina, M, Ortiz, O. y Barros, S., 2012.** Utilización de los Recursos Genéticos Forestales en Chile. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds). 2012. Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago. Capítulo 3. Pp: 53-88.
- Vergara, R., 2011.** Neutral and adaptive genetic structure of the South American species of *Nothofagus* subgenus *Lophozonia*. Natural history, conservation, and tree improvement implications. A dissertation presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. University of Florida. 169 p.

I. ANTECEDENTES

Capítulo 1

HISTORIA Y ACTORES DE LA CONSERVACIÓN FORESTAL EN CHILE

Julio Torres Cuadros¹

INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos forestales en Chile tiene una larga historia y un conjunto variado de actores que han realizado un aporte para lograr los indicadores que el país ostenta en la actualidad.

Pese a que la mayoría de la población identifica las últimas décadas como las más activas en el desarrollo de una preocupación ambiental de carácter global, ya desde el siglo XIX se pueden reconocer esfuerzos sistemáticos del Estado por reducir el impacto sobre los recursos forestales proveniente de actividades productivas, principalmente la minería y la agricultura.

En este sentido, los grandes hitos en la historia de la conservación de los recursos forestales en Chile están dados por la promulgación de leyes y reglamentos y el establecimiento de una institucionalidad de protección, ambos se pueden ubicar a principios del siglo XX.

HISTORIA DE LA CONSERVACIÓN FORESTAL EN CHILE

Desarrollo de Legislación para la Conservación (1871-1931)

Fue a mediados del siglo XIX cuando las quemadas de bosques se intensificaron de un modo inquietante para aquellos chilenos con intereses conservacionistas. A partir del comercio de trigo con Perú, con California y con Australia, se estimuló la producción y la ocupación de nuevas tierras para el cultivo, muchas de ellas cubiertas con bosques. Con la incorporación de las regiones de La Araucanía y Los Lagos a la estructura económica nacional, la ampliación de la frontera agrícola, mediante el fuego y la destrucción de bosques, adquirió el carácter de un problema nacional (Camus, 2006).

En este ambiente se iniciaron las discusiones sobre el proyecto de ley de Corta de Bosques, que intentaba prohibir la intervención de árboles situados en las márgenes de las vertientes con el objetivo de conservarlas, y reglamentar la habilitación de nuevos terrenos mediante fuego. Después de una extensa discusión, finalmente se aprobó el proyecto sobre corta de bosques el año 1872. Posteriormente se promulgó el reglamento, en mayo de 1873 (Camus, 2006).

¹ Ingeniero Forestal, Magister en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Académico, Área de Genética Forestal, Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. jttoresc@uchile.cl

Pese a que esta primera ley logró detener la corta de bosques producto de la actividad minera, no permitió disminuir la eliminación de bosques del sur de Chile mediante el fuego. Los incendios, como instrumento de habilitación de suelo para la agricultura, continuaron siendo uno de los peores enemigos de los bosques chilenos.

Junto con la ley de Corta de Bosques, en el plano de la conservación de bosques mediante áreas silvestres, el año 1879 se promulgó el decreto sobre Reserva de Bosques Fiscales. Este fue el antecedente legal para la formación de las reservas fiscales de bosques establecidas a partir del año 1907 con la Reserva Forestal Malleco (Camus, 2006).

Luego de estas primeras iniciativas legales, hubo que esperar varias décadas para contar con una nueva legislación que regulara el aprovechamiento y protección de los bosques. El año 1931 se promulga el Decreto Ley N° 4.363, más conocido como Ley de Bosques, que no es otra cosa que el texto refundido del Decreto Ley N° 656 de 1925 y del Decreto Ley N° 265 de 1931 (Casals, 1999).

En lo general, la Ley de Bosques dispuso una serie de normas para proteger los bosques y los suelos forestales, reglamentando la corta de árboles, la creación de reservas y parques nacionales y la prohibición del uso del fuego para eliminación de bosques (Camus, 2006).

Desarrollo de Institucionalidad para la Conservación (1871-1931)

Paralelo a la formación de un cuerpo legislativo que regulara las intervenciones de los bosques, se desarrolló un incipiente esfuerzo del Estado por dotar de una institucionalidad a la actividad forestal. En estos esfuerzos destacan los trabajos de Federico Albert, considerado precisamente el principal gestor de la naciente institucionalidad forestal en Chile, tanto en sus objetivos de aprovechamiento económico como de conservación.

La importancia que empezaron a cobrar los trabajos desarrollados por Federico Albert a principios del siglo XX, llevaron a que la sección de Ensayos Zoológicos y Botánicos, dependiente del Ministerio de Industria y Obras públicas, pasara a denominarse el año 1906 como Sección de Aguas y Bosques. Nombre que ya refleja claramente la voluntad de avanzar decididamente hacia la creación de una administración forestal (Casals, 1999).

En 1912 fue reorganizada la antigua Sección de Aguas y Bosques y transformada en Inspección General de Bosques, Pesca y Caza. Fue esta misma Inspección, dirigida por Albert, la que presentó el primer borrador de proyecto de ley de bosques, que daría lugar varios años más tarde a la Ley de Bosques del año 1931.

La institucionalidad forestal durante las primeras décadas del siglo XX se caracterizó por sufrir una serie de cambios de dependencia, pasando desde el Ministerio de Industria y Obras Públicas al Ministerio de Agricultura, Industria y Colonización. Posteriormente pasó por el Ministerio de Fomento, por el Ministerio de Propiedad Austral, para terminar en el Ministerio de Tierras, Bienes Nacionales y Colonización (Camus, 2006).

No fue hasta el año 1960 que se le entregó al Ministerio de Agricultura la responsabilidad sobre la protección de todos los recursos naturales renovables y la aplicación de la Ley de Bosques. Estos temas quedaron entonces radicados en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). En forma complementaria se estableció el año 1970 la COREF, con el objetivo de participar activamente en la repoblación forestal y el manejo de las masas boscosas, aportando asistencia técnica y financiera. En 1972 COREF comenzó a denominarse CONAF, la que terminó constituyéndose en el servicio forestal del país, hasta la fecha.

PRINCIPALES ACTORES Y ESTRATEGIAS DE LA CONSERVACIÓN *IN SITU*: ÁREAS SILVESTRES PROTEGIDAS

Una de las modalidades más usadas a nivel mundial para proteger la biodiversidad ha sido la conservación *in situ*. De acuerdo con el Artículo 2º del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, por conservación *in situ*, se entiende la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales, y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas (Sierralta *et al.*, 2011).

A su vez, la principal estrategia de conservación *in situ* la constituye el establecimiento de áreas protegidas, las que permiten preservar y conservar la diversidad biológica y los recursos naturales representativos y únicos de un territorio. Estas áreas de protección cumplen un rol fundamental, ya que junto con desempeñar funciones ambientales indispensables para la vida son parte activa e importante de los diferentes sectores de la economía, generando ingresos y empleos para las comunidades locales y el país (Figueroa, 2010).

Como ya se mencionó, la importancia de la conservación *in situ* del patrimonio natural del país fue identificada tempranamente por Federico Albert. Es así como el año 1907 se estableció la primera reserva forestal. Sin embargo, pese a la reconocida importancia que tiene el establecimiento de áreas silvestres protegidas como herramienta de conservación, históricamente han carecido de un sustento jurídico que les permita gestionar de manera eficiente esta importante responsabilidad.

Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE)

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) es la estructura administrativa que actualmente gestiona la red de áreas silvestres protegidas públicas en Chile. Fue establecida mediante la Ley 18.362 de 1984 del Ministerio de Agricultura. No obstante, dicho cuerpo legal no ha entrado en vigencia debido a que se encuentra supeditado a la existencia de la institucionalidad forestal, propuesta ese mismo año a través de la Ley 18.348, que aún se encuentra pendiente. Por ello, las áreas protegidas terrestres chilenas siguen sustentándose legalmente en la Ley de Bosques de 1931, en la Convención de Washington de 1967 (D.S. N°531 del Ministerio de Relaciones Exteriores) y en el D.L. N°1.939 de 1977 sobre adquisición, administración y disposición de bienes del Estado (Sierralta *et al.*, 2011).

El antecesor del SNASPE data del año 1964, fecha en que se creó, dentro del Ministerio de Agricultura, la Administración de Parques Nacionales y Reservas Forestales (APARFO), que contaba con cerca de tres millones de hectáreas terrestres bajo protección. En 1967, junto con la creación del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), se trasladó a este nuevo organismo, entre otras tareas, las de la APARFO (CIFAG, 2013).

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), dependiente del Ministerio de Agricultura, administra actualmente el SNASPE, que corresponde a una porción significativa de los ambientes silvestres terrestres o acuáticos que el Estado protege y maneja para lograr su conservación. Este sistema está formado por tres categorías de manejo: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales. La Ley N°19.300 de Bases del Medio Ambiente de 1994, aunque menciona la existencia del SNASPE, no lo reglamenta. De este modo, el sistema solo existe como organización administrativa desarrollada por CONAF (Sierralta *et al.*, 2011).

La más reciente propuesta de modificación en la administración de las áreas silvestres protegidas del Estado, la constituye el proyecto de ley presentado al Congreso el año 2011, que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas. Este servicio tendrá la responsabilidad de crear y administrar un Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas, que vendría a reemplazar al actual SNASPE.

- Situación Actual de las Áreas Silvestres Protegidas Terrestres

Aproximadamente el 20% del territorio nacional continental e insular está protegido mediante unidades pertenecientes al SNASPE. Los Parques y Reservas Nacionales suman el 96% del total de superficie terrestre protegida y representan un 12,3% y 7% de la superficie total del país, respectivamente. Por su parte, los santuarios de la naturaleza terrestre corresponden a un 3% de la superficie total protegida (Cuadro N°1). De este modo, el SNASPE sigue siendo la piedra angular de la protección *in situ* de la biodiversidad en Chile (Sierralta *et al.*, 2011).

Cuadro N° 1
SUPERFICIE POR TIPO DE UNIDAD DE PROTECCIÓN

Tipo de unidad	Unidades (N°)	Superficie (ha)
Parque Nacional	35	9.333.664
Reserva Nacional	49	5.282.425
Monumento natural	16	38.194
Santuario de la Naturaleza (*)	42	471.820
Total	142	15.126.103

(*) Los Santuarios de la Naturaleza no pertenecen al SNASPE, están regulados por la Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales
(Fuente: Sierralta *et al.*, 2011)

- Evolución Histórica del Número y Superficie de Áreas Protegidas Públicas

De acuerdo a Sierralta *et al.* (2011) la evolución histórica de la afectación de áreas silvestres protegidas distingue la década de los ochenta como uno de los períodos en que se estableció un número significativo de unidades y superficies de áreas protegidas, incorporando el 35,6% de la superficie total actual, siendo la categoría Parque Nacional la más relevante.

Otra década trascendente, en cuanto a la incorporación de superficie destinada a áreas protegidas es la de los sesenta, en la cual se incorporaron 4.297.333 ha, las cuales corresponden al 28,3% de la superficie actual de áreas protegidas existentes en el país. Las regiones, que presentaron el mayor número de hectáreas incorporadas en esa época fueron la región de Tarapacá y la región de Magallanes y la Antártica Chilena, con 167.436 ha y 3.977.419 ha, respectivamente. Es importante destacar que solo se incorporaron Parques y Reservas Nacionales. En esa década, en el año 1967, el gobierno de Chile ratificó como Ley de la República la Convención de Washington de 1940, la cual establece la Protección de la Flora, Fauna y de las Bellezas Escénicas Naturales de los Países de América.

En el Cuadro N° 2 se observa que a partir de la década del noventa la creación de áreas protegidas aumentó en cuanto al número de unidades decretadas, situación que coincide con la ratificación en el año 1995 del Convenio sobre Diversidad Biológica.

Cuadro N° 2
EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA AFECTACIÓN DE ÁREAS PROTEGIDAS

Año	Unidades (N°)	Superficie (ha)
1900-1909	1	16.532
1910-1919	2	94.237
1920-1929	1	250.415
1930-1939	7	1.141.023
1940-1949	4	237.358
1950-1959	3	1.721.535
1960-1969	12	4.297.333
1970-1979	17	502.688
1980-1989	38	5.407.946
1990-1999	26	691.260
2000-2009	19	630.576
2010	2	118.276
Total	132	15.109.179

(*) Se consideran solo los Santuarios de la Naturaleza terrestres (32)

(Fuente: Sierralta *et al.*, 2011)

Un cambio importante respecto de los criterios para la creación de áreas silvestres protegidas ocurrió en la década de los ochenta, cuando se adoptó como criterio principal el de incluir ecosistemas no protegidos y concentraciones de especies de flora y fauna amenazadas y poco representadas en las áreas protegidas creadas con anterioridad a 1980 (Ormazábal, 2013, comunicación personal²).

El criterio principal de protección de nuevas áreas fue el aporte que las áreas potenciales podían hacer para mejorar la representatividad ecológica del SNASPE respecto de la diversidad ecológica del país.

Este cambio de objetivo marcó una gran diferencia con los criterios de protección de belleza escénica o paisajística (presencia de bosques con árboles de gran tamaño y potencial turístico con presencia de lagos, ríos, cascadas, termas y volcanes) que habían primado en el pasado.

Para implementar el nuevo enfoque, CONAF contrató el año 1982 a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile para efectuar un estudio de clasificación de la diversidad ecológica terrestre de Chile. Se trató de un estudio especial, tendiente a analizar las clasificaciones existentes y proponer una nueva clasificación, entregando planos a escala detallada por cada región administrativa.

El resultado del estudio fue el informe Sistema Básico de Clasificación de la Vegetación Nativa Chilena. Características y Clasificación, el que fue entregado a CONAF en 1983, por Rodolfo Gajardo. Este informe fue usado como referencia oficial para evaluar la representatividad ecológica de las áreas existentes y las propuestas de nuevas áreas a proteger entre 1983 y 2006, vale decir durante 23 años.

Posteriormente, en agosto de 1994, Gajardo publicó una versión condensada y actualizada de dicho estudio. El libro se llamó La Vegetación Natural de Chile: Clasificación y Distribución Geográfica. Este libro constituyó una referencia para todos los profesionales de los recursos vegetacionales en Chile y fue utilizado también como documento de consulta oficial por CONAMA, entre 1990 y 2006, año en que se publicó una nueva propuesta de clasificación, elaborada por Federico Luebert y Patricio Plischoff, titulada Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile (CIFAG, 2013).

Áreas Silvestres Protegidas Privadas

La Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente establece en su artículo 35 que el Estado fomentará e incentivará la creación de áreas silvestres protegidas de propiedad privada. Señala además que un reglamento establecerá los requisitos, plazos y limitaciones de aplicación general que se deberán cumplir para que estas áreas privadas puedan gozar de las franquicias, ejercer los derechos y dar cumplimiento a las obligaciones y cargas que la ley les impone.

Pese a que el reglamento no ha sido publicado, el proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas silvestres Protegidas, actualmente en tramitación en el Congreso, incluye un articulado que regula a las áreas protegidas privadas.

² Cesar Ormazábal. Gerente de Áreas Silvestres Protegidas de la Corporación Nacional Forestal (1979-1989).

- Evolución Histórica del Número y Superficie de Áreas Silvestres Protegidas Privadas

A pesar de que siempre se ha reconocido la importancia del trabajo conjunto del Estado y los privados para lograr la protección de la biodiversidad, recién hace unos años las iniciativas privadas de conservación han cobrado verdadera relevancia. Esto explica que, pese a su importancia, aún se carezca de un marco regulatorio para estas iniciativas de protección (TERRAM, 2005).

En línea con la creciente preocupación ambiental de las últimas décadas, han surgido iniciativas de parte de diversas instituciones, organizaciones no gubernamentales o simples ciudadanos organizados, que han permitido incrementar considerablemente la superficie protegida en Chile.

Los últimos años de la década de ochenta constituyen el inicio de esta nueva etapa, en que las actividades de protección toman nuevo vigor (Terram, 2005). Las primeras iniciativas corresponden al Parque Oncol (1989), el Santuario El Cañil (1990) y el Parque Pumalín (1991).

En el año 1997, en un primer catastro realizado por el Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA), se identificaron 99 áreas protegidas privadas. Estos proyectos de conservación totalizaban 1.010.413 ha (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3
RESUMEN DE INICIATIVAS PRIVADAS DE CONSERVACIÓN

TIPO DE INICIATIVA	UNIDADES (N°)
A.1. Creación de Parques y Reservas Privadas.	15
A.2. Comunidades de Conservación.	10
A.3. Proyectos Ecoturísticos.	8
A.4. Donación y Comodato de Tierras al SNASPE.	3
A.5. Administración Privada de Áreas de Conservación Fiscales	3
A. TOTAL CONSERVACIÓN DE TIERRAS	39
B.1. Protección de Bosques, Cuencas, Humedales y Zonas Costeras.	20
B.2. Protección de Especies.	6
B.3. Restauración de Ecosistemas.	4
B. TOTAL CONSERVACIÓN DE ESPECIES Y ECOSISTEMAS	30
C.1. Jardines Botánicos, Bancos de Semillas y Viverización de Flora Nativa.	15
C.2. Centros de Rehabilitación y Reproducción de Fauna Silvestre.	4
C. TOTAL CONSERVACIÓN EX SITU	19
D.1. Financiamiento de Programas de Conservación de Especies y Ecosistemas.	6
D.2. Financiamiento de la Gestión de Unidades del SNASPE.	2
D.3. Donación de Equipos e Infraestructura a Unidades del SNASPE.	3
D. TOTAL DONACIÓN DE RECURSOS FINANCIEROS Y MATERIALES	11
TOTAL	99

(Fuente: CODEFF, 1999)

En otro estudio, realizado por Oltremari y Martínez (2000), se identificaron 83 áreas protegidas privadas, que cubrirían una superficie aproximada de 450 mil hectáreas. La mayor concentración de áreas protegidas se encontraría en la X Región con 28 iniciativas que representan el 34% del total de proyectos.

Calcagni *et al.* (2011) señala que las áreas protegidas privadas comprenden una superficie de 1.500.000 hectáreas, de la cual el 50% corresponde a grandes superficies, superiores a las 50.000 hectáreas. Pese a lo anterior, según estos autores el mayor número de iniciativas privadas de conservación se concentran bajo las 100 ha.

Las cifras más actualizadas respecto a la situación de las áreas protegidas privadas corresponden al Catastro de Iniciativas de Conservación Privada (ICP) en Chile, realizado el año 2013 y publicado en el marco del lanzamiento del X Congreso Latinoamericano de Reservas Privadas y de Pueblos Originarios, que se realizó en Valdivia entre los días 19 al 23 de agosto.

El catastro fue solicitado por el Proyecto GEF SNAP y ejecutado por Fundación Senda Darwin en colaboración con ASI Conserva Chile A.G, quienes tuvieron como objetivo lograr una caracterización sistemática de las iniciativas privadas vigentes en el país.

El catastro permitió identificar 308 iniciativas de conservación privada, las cuales cubren una superficie total estimada de aproximadamente 1,65 millones de hectáreas, en casi la totalidad de las regiones de Chile (con la sola excepción de la región de Tarapacá). La mayor concentración de iniciativas identificadas en cuanto a número y superficie se da en las regiones de Los Lagos (86 iniciativas, con una superficie de 480 mil hectáreas), de Los Ríos (72 iniciativas, con una superficie de 190 mil hectáreas), y Magallanes (8 iniciativas, con una superficie de 360 mil hectáreas) (MMA, 2013a).

Otras Iniciativas de Conservación

Si bien el SNASPE reúne las principales iniciativas públicas de conservación *in situ* de la biodiversidad en Chile, existen otras iniciativas públicas de protección. Precisamente se ha identificado como una de las debilidades del sistema de protección territorial ambiental del país, la amplia dispersión de iniciativas de protección vinculadas a igual dispersión de atribuciones y responsabilidades institucionales. Uno de los objetivos del proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas es uniformar las políticas públicas orientadas a la protección ambiental del territorio.

La Política Nacional de Áreas Protegidas (2005) reconoce la posibilidad de desarrollo de tres subsistemas de Áreas Protegidas en Chile:

- **Público.** En el ámbito terrestre (administrado por la Corporación Nacional Forestal, CONAF) y marino (administrado por el Servicio Nacional de Pesca),
- **Público-Privado.** En el ámbito terrestre (el Ministerio de Bienes Nacionales delega y supervisa administración de terceros) y marino (Subsecretaría de

Marina y Ministerio de Medio Ambiente delegan y supervisan administración a terceros)

- **Privado.** Tanto en propiedad como en gestión.

De acuerdo con Rovira *et al.* (2008) los principales sistemas y marcos regulatorios vigentes para las áreas protegidas, reconocidas actualmente como áreas con protección oficial por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, son:

- **Inmuebles Fiscales.** Destinados por el Ministerio de Bienes Nacionales para fines de conservación ambiental, protección del patrimonio y/o planificación, gestión y manejo sustentable de sus recursos (D.L. 1939/77, artículos 1°, 19° y 56°).
- **Áreas de Preservación Ecológica.** Contenidas en los Instrumentos de Planificación Territorial (áreas de protección de recursos de valor natural o patrimonio cultural y similares) (D.F.L. 458/75 Ley General de Urbanismo y Construcciones y D.S. 47/92 Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones y sus modificaciones).
- **Zonas Húmedas de Importancia Internacional.** Especialmente como hábitat de especies acuáticas (sitios RAMSAR) (D.S. 771/81 Ministerio de Relaciones Exteriores).
- **Santuarios de la Naturaleza, Monumentos Históricos, Zonas Típicas o Pintorescas.** Reconocidas en la Ley de Monumentos Nacionales, bajo la tutela del Consejo de Monumentos Nacionales, dependientes del Ministerio de Educación.

Existen otras áreas sobre las cuales aún no hay claridad de si constituyen o no formas de protección oficial. Algunas de las más importantes son:

- **Distritos de Conservación de Suelos, Bosques y Aguas.** El SAG fiscalizaría aplicando la Ley 18.378/84, siempre y cuando entrara en vigencia. El Ministerio de Agricultura sería el ente encargado de declarar el área. No está claro quién administraría ese tipo de áreas.
- **Áreas de Prohibición de Caza.** El SAG fiscaliza la Ley de Caza 19.473/97; el Ministerio de Agricultura declara el área según el artículo 4° de la misma Ley. No está claro quién administra esas áreas.
- **Reservas de la Biosfera.** El Gobierno solicita la incorporación de determinados espacios a la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de UNESCO (de acuerdo a Estrategia de Sevilla y Marco Estatutario de la

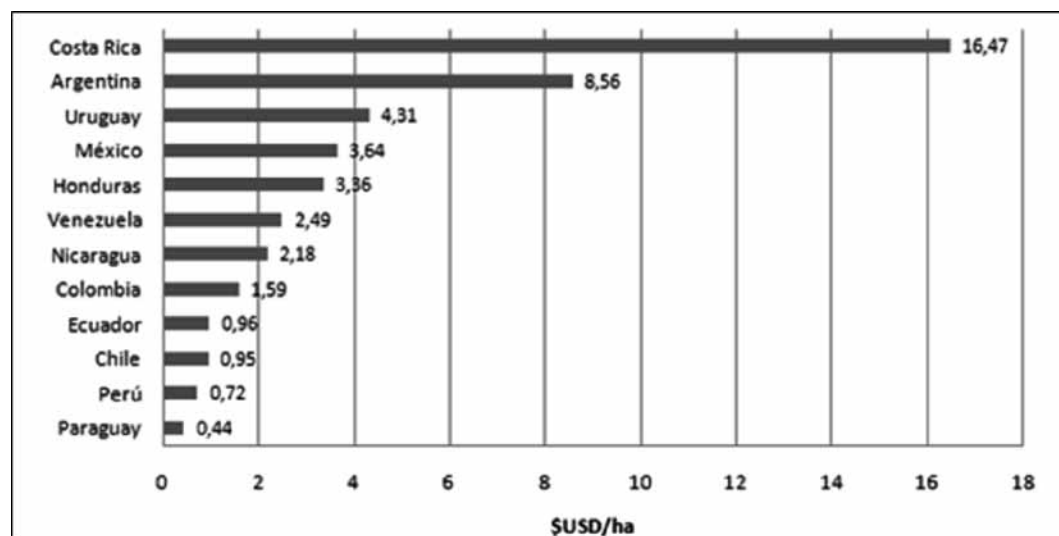
Conferencia General de la UNESCO del año 1995). Todas las existentes en Chile, salvo dos recién creadas (Cabo de Hornos y Bosques Templados), comprenden territorios bajo la administración de CONAF.

POLÍTICAS PÚBLICAS Y CONSERVACIÓN *IN SITU*

La ausencia de un marco jurídico claro que regule las áreas silvestres protegidas en Chile ha dificultado históricamente su gestión y el cumplimiento de sus objetivos de conservación. Si bien se reconoce la temprana preocupación por contar con un sistema de reservas forestales en Chile (principios del siglo XX), esa preocupación no ha avanzado lo suficiente para contar con un sistema de protección consolidado, con certeza jurídica y financiamiento acordes a la importancia que la conservación del patrimonio ambiental y genético del país requiere.

En términos de financiamiento, la baja inversión tiene dos impactos negativos. Por una parte la deficiencia presupuestaria afecta la gestión al interior de las áreas silvestres protegidas. De las 100 unidades pertenecientes al SNASPE, en 26 no hay guardaparques y de las 74 unidades con presencia de guardaparques, solo 22 cuentan con más de cinco; en 14 unidades hay sólo uno, lo que no puede calificarse como presencia permanente. El total de guardaparques en el país es de 432, lo que se traduce en que hay un guardaparque por cada 33.000 hectáreas (Torres, 2013).

El presupuesto para la gestión de las áreas silvestres protegidas al año 2013 es de \$11.289 millones, con un crecimiento de 6.9% respecto de 2012 (DIPRES, 2012), sin embargo esto significa una inversión algo menor a dos dólares por hectárea para todo el sistema. Para el año 2007 ascendía a 0,95 dólares por hectárea, siendo uno de los más bajos respecto a los países de la región.



(Fuente: Sierralta *et al.*, 2011)

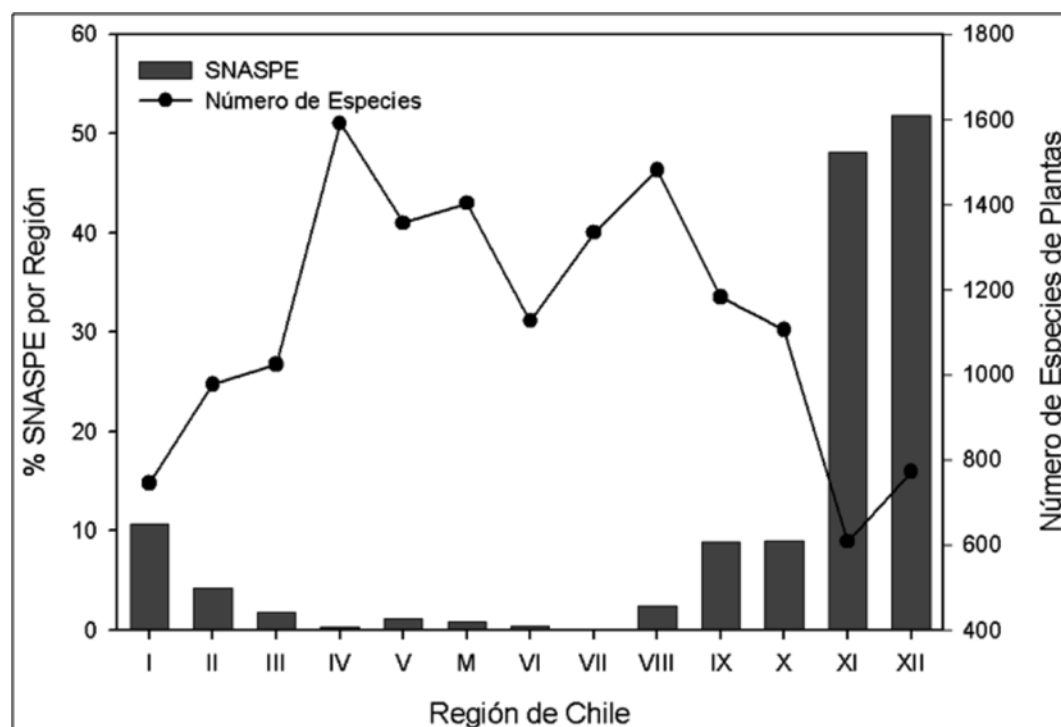
Figura N° 1
ASIGNACIÓN FINANCIERA POR UNIDAD DE SUPERFICIE PROTEGIDA
SEGÚN PAÍS PARA EL AÑO 2007

La falta de financiamiento no solo afecta la gestión de las áreas silvestres protegidas públicas existentes, sino que también dificulta lograr los objetivos de conservación planteados por la autoridad. En este sentido, la Estrategia Nacional de Biodiversidad (2003), estableció como plazo el año 2010 para poder contar con al menos un 10% de protección de todos los ecosistemas presentes en el país, meta que no se alcanzó y que difícilmente se alcanzará en el corto plazo.

De acuerdo a Sierralta *et al.* (2011) Chile cuenta con 127 tipos de ecosistemas terrestres. De estos en la actualidad solo 44 cumplen con el requisito del 10% de protección en relación al territorio nacional. Por lo tanto, 83 ecosistemas están sub-representados. Si se suman las áreas protegidas privadas, los ecosistemas sub-representados disminuyen a 77. Varios de estos ecosistemas pertenecen a la zona central de Chile, una zona sensible (*hotspot*) desde el punto de vista de la biodiversidad mundial.

TERRAM (2005) agrega otras deficiencias de la estrategia de conservación *in situ* a través del SNASPE:

- En ocho regiones administrativas del país las áreas protegidas representan menos del 3% de su territorio, lo que de acuerdo con expertos se considera insuficiente.
- El índice de conectividad entre las áreas es muy bajo, lo que pone en riesgo su viabilidad en el largo plazo como instrumento de conservación del patrimonio ambiental.
- Mientras el 78% de la población nacional se concentra entre las regiones de Valparaíso y Bío Bío, solo el 1,43% de la superficie total del SNASPE se encuentra en dichas regiones, representando apenas el 1,31% de la superficie total de las regiones en cuestión. Esta escasa disponibilidad social de áreas para fines de educación y recreación implica una alta presión de uso sobre las pocas áreas ya existentes en esas regiones. El caso de la región Metropolitana es límite; 39% de la población dispone del 0,13% de la superficie total del SNASPE. Las posibilidades para la población chilena de visitar sus parques son bajas, y supone medios económicos trasladarse de una región a otra para llegar a lugares que generalmente no son de fácil acceso. Hay objetivos de equidad social en el acceso a las áreas silvestres protegidas que no se están cumpliendo, menoscabando las posibilidades de mejor calidad de vida para el conjunto de la población.



(Fuente: Sandoval, 2012)

Figura N° 2
CONTRASTE ENTRE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS
PERTENECIENTES AL SNASPE Y LA DIVERSIDAD MEDIDA EN NÚMERO DE ESPECIES

SITUACIÓN JURÍDICA ACTUAL DE LA CONSERVACIÓN *IN SITU* EN CHILE

Ya se mencionó que en 1984 la Ley N° 18.362 creó el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), aunque hasta ahora no está vigente. Ello hace que el sistema más importante de conservación *in situ* de la biodiversidad en Chile se encuentre hasta hoy en situación de debilidad legal.

A pesar de esta debilidad jurídica, los objetivos del SNASPE se encuentran ratificados en la Ley Bases Generales del Medio Ambiente N° 19.300 (1994), otorgando el principal respaldo legal a la existencia del programa junto con la Convención de Washington, ratificada por el Estado de Chile el año 1967.

A esta falta de sustento jurídico se suma la complejidad administrativa legal que conlleva el que las distintas categorías de manejo se encuentren reguladas por normas diferentes.

Por ejemplo, los Parques Nacionales están regulados por cuatro normas de diversa fuerza jurídica y alcance: la Ley de SNASPE (no vigente), la Ley de Bosques, la Convención de Washington y el D.L. N° 1.939 de 1977. Las Reservas Nacionales y los Monumentos Naturales se encuentran regulados por la Ley del SNASPE y la Convención de Washington (Durán, 2006 *cit. por* Figueroa, 2010).

En el caso del Reglamento para Áreas Silvestres Protegidas Privadas (ASPP) mencionado en la Ley 19.300, su tramitación se trabó en su toma de razón en la Contraloría General de la República porque no podía montarse el sistema de declaraciones de ASPP sin la existencia legal de la CONAF como persona de derecho público (Durán, 2006 *cit. por* Figueroa, 2010).

Adicionalmente, existen otros cuerpos legales que amenazan el cumplimiento de los objetivos de conservación de las áreas silvestres protegidas y contradicen las leyes que las resguardan. Es el caso del Código Minero (Ley 18.248 de 1983), que en su artículo 17 faculta la exploración y explotación minera dentro de las áreas silvestres protegidas. Cuando estas son declaradas de interés histórico o científico, se requiere autorización previa del Intendente o del Presidente de la República para efectuar la explotación minera.

Esto va en clara oposición al mandato de la Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas de América (Convención de Washington, 1940) que en Chile tiene categoría de Ley de la República.

La Convención expresa que las riquezas naturales presentes en un parque nacional, quedan vedadas a todo tipo de explotación con fines comerciales. Agrega que los monumentos naturales y reservas de regiones vírgenes son inviolables, excepto para investigaciones científicas debidamente autorizadas o para inspecciones gubernamentales (Durán, 2006 *cit. por* Figueroa, 2010).

Más recientemente, la tramitación del proyecto de ley de concesiones eléctricas, que busca destrabar los proyectos de concesiones y servidumbres para proyectos eléctricos, descartó establecer restricciones a la intervención de las áreas silvestres protegidas. Lo que ya había sido consagrado en la letra p) del artículo 10 de La Ley de Bases del medio Ambiente, la que permite intervenciones en dichas áreas, previa presentación de un Estudio de Impacto Ambiental.

En suma, puede concluirse que la legislación chilena sobre áreas protegidas se encuentra dispersa, es ambigua y contradictoria.

Particularmente, las indefiniciones jurídicas respecto de la base legal del SNASPE y del Reglamento de áreas protegidas privadas dificultan y retrasan el desarrollo de un sistema integrado público privado de áreas protegidas en el país. Por lo tanto, no asegura la adecuada protección del patrimonio natural del país (Durán, 2006 *cit. por* Figueroa, 2010).

PRINCIPALES ACTORES Y ESTRATEGIAS DE LA CONSERVACIÓN *EX SITU*

La conservación *ex situ* es definida por el Convenio Internacional para la Conservación y el Uso Sostenible de la Diversidad Biológica (CBD) como la conservación de componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales.

El objetivo primario de la conservación *ex situ* es apoyar a la conservación de un taxón amenazado,

de su diversidad genética y de su hábitat. Para el caso específico de las plantas, el objetivo es conservar la diversidad de especies y, además, su variabilidad genética.

Las formas de materializar este tipo de conservación son principalmente los bancos de semillas, los jardines botánicos y las colecciones de germoplasma bajo cultivo; además, existen otras técnicas como el cultivo *in vitro* y la criopreservación (Teillier, 2011).

En Chile, las actividades de conservación *ex situ* para las plantas se realizan principalmente en los jardines botánicos y en los centros de conservación de semillas.

El Estado de Chile al ser signatario del Compromiso Internacional de Recursos Genéticos de la FAO de 1983 y del Convenio de la Biodiversidad de 1992, se ha comprometido a conservar, proteger, regular el acceso y a usar sustentablemente estos recursos.

Un recurso genético conservado, investigado y bien documentado disminuye los tiempos y aumenta las probabilidades de uso y desarrollo productivo (Salazar *et al.*, 2006).

Jardines Botánicos

Los jardines botánicos nacieron como lugares de exposición y cultivo de especies de plantas. Más tarde, en Europa, jugaron un papel clave en la aclimatación de las especies que se iban descubriendo en el Nuevo Mundo, y adquirieron un rol importante desde el punto de vista económico.

A partir del siglo XXI cumplen un papel muy importante en el campo de la conservación de las especies (Tellier, 2011).

Los jardines botánicos son colecciones de plantas vivas, que difieren de los jardines convencionales y otros parques porque están destinados a generar conocimiento sobre las plantas con el fin de apoyar su conservación y utilización en la agricultura, la horticultura y la floricultura.

Cuadro N° 4
LISTADO DE JARDINES BOTÁNICOS EN CHILE

Institución	Ubicación	Región	Categoría Organización	Año Creación	Superficie (ha)
Jardín Botánico del Desierto- Universidad de Magallanes	Antofagasta	Antofagasta	Público	2003	0,46
Jardín Botánico Chagual	Santiago	Metropolitana	Corporación	2010	33,90
Jardín Botánico Mapulemu	Santiago	Metropolitana	Público	1983	5,00
Arboretum Antumapu. Universidad de Chile	Santiago	Metropolitana	Público	1969	0,10
Fundación Jardín Botánico Nacional	Viña del Mar	Valparaíso	Fundación	1952	404,50
Jardín Particular Franz Baehr	Algarrobo	Valparaíso	Particular	1984	4,00
Jardín de Cactus La Punta	San Francisco de Mostazal	O'Higgins	Particular	1994	1,00
Jardín Botánico Universidad de Talca	Talca	Maule	Público	2005	14,00
Arboretum Universidad Austral	Valdivia	Los Ríos	Público	1971	64,00
Arboretum Frutillar. Universidad de Chile	Frutillar	Los Lagos	Público	1960	33,00
Jardín Botánico Carl Skottberg. Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes.	Punta Arenas	Magallanes	Público	1971	0,50

(Fuente: Salazar *et al.*, 2006)

Bancos de Germoplasma

En el área de los recursos genéticos, un banco de germoplasma o banco de semillas es un lugar destinado a la conservación de la diversidad genética de uno o varios cultivos y sus especies silvestres relacionadas.

En muchos casos, no se conservan semillas sino otros propágulos, tales como tubérculos o raíces debido a que el cultivo en cuestión se multiplica solo asexualmente.

La conservación de las semillas se realiza a bajas temperaturas, de modo de mantener por muchos años una adecuada viabilidad de las mismas. Físicamente, los bancos de germoplasma consisten en grandes depósitos de sobres de semillas conservados a bajas temperaturas.

Del total de las accesiones vegetales mantenidas en condiciones *ex situ* en Chile, el 82% se conserva como semillas (Salazar *et al.*, 2006)

Empresas Forestales y Rodales de Conservación *Ex Situ*

A partir de la implementación de los programas de mejoramiento genético forestal (PMGF) de las empresas forestales en Chile a comienzos de la década del setenta, con la conformación de la

Cooperativa de Mejoramiento Genético (CMG), se estableció un extenso sistema de conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales bajo la modalidad de ensayos genéticos y bancos clonales.

A esta modalidad deben agregarse las áreas productoras de semilla (APS) en los casos de programas de mejoramiento genético de especies nativas, los que han sido mayoritariamente financiados por el Estado y ejecutados por universidades o institutos de investigación, como es el caso del Instituto Forestal (INFOR).

Por el tamaño de operación de las principales empresas forestales del país, estas iniciativas son las de mayor escala a nivel de material genético de conservación (procedencias, familias y clones). Sin embargo, están limitadas a las especies de uso comercial de dichas empresas: *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* (Torres y Magni, 2012). Además, es una conservación de tipo indirecta, ya que es parte de un programa operativo de carácter privado de mejora genética de cultivos productivos. Esto quiere decir que está sometido a las decisiones estratégicas comerciales de sus dueños y no responde a una estrategia global de conservación de recursos genéticos forestales de tipo nacional.

Dado que el desarrollo forestal chileno se sustenta en el cultivo de especies exóticas de rápido crecimiento, todo el desarrollo genético de dichas especies carece de utilidad desde el punto de vista de la conservación de recursos genéticos forestales nativos. Esto difiere de las estrategias de aprovechamiento comercial forestal de otros países, que basan su desarrollo en bosques nativos, por lo que sus avances en materia de aprovechamiento sustentable de los recursos forestales tienen a su vez incidencia en el estado de conservación de sus propios recursos.

En Chile, se produce una separación visible entre el aprovechamiento comercial de cultivos forestales exóticos y el aprovechamiento (marginal) de recursos forestales nativos. La ausencia de una industria basada en recursos nativos ha hecho que la investigación relativa al valor actual o potencial de las especies que lo conforman sea insuficiente. El escaso conocimiento que se posee de estas especies es sobre los grados de amenaza a nivel nacional que sufren, faltando mucho aún por conocer sobre aspectos de su diversidad genética, potenciales productivos, entre otros aspectos de ecología y manejo.

Pese a lo anterior, el desarrollo científico tecnológico alcanzado por las empresas a través de los programas de mejoramiento genético de especies forestales comerciales, ha permitido aprovechar dichos avances en la investigación aplicada a especies nativas.

Los avances en producción, propagación y viverización de plantas pueden ser aprovechados para la multiplicación de especies nativas con problemas de conservación, como efectivamente lo han hecho las empresas en el caso de especies como queule (*Gomortega keule*) y ruil (*Nothofagus alessandri*), entre otras.

En términos numéricos, los rodales de conservación (ensayos genéticos, huertos de cruce y bancos clonales) de las empresas forestales son el esfuerzo más extensivo de conservación *ex situ*, en términos de superficie instalada y de accesiones (Familias y clones).

En el sector público, el Instituto Forestal también ha materializado iniciativas de conservación *ex situ* mediante ensayos genéticos de especies nativas y exóticas. Un detalle de estas iniciativas puede ser revisado en Torres y Magni (2012).

POLÍTICAS PÚBLICAS Y CONSERVACIÓN *EX SITU*

Pese a que los esfuerzos de conservación *ex situ* tienen varias décadas de existencia en el país (principalmente bajo la figura de jardines botánicos), la política respecto de esta modalidad de conservación es extremadamente escasa en Chile.

Una posible razón para la escasa representación de los recursos genéticos forestales nativos en unidades de conservación *ex situ* puede estar dada por el énfasis que históricamente se le ha dedicado en el país a la conservación *in situ* mediante el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas.

El escaso presupuesto público para estos efectos que administra el servicio nacional forestal (CONAF) se destina a esta línea de acción, descartando un presupuesto adicional para establecer iniciativas de conservación *ex situ*.

En este sentido, no parece prioritario para las autoridades públicas complementar la estrategia de conservación *in situ* con acciones de colecta de material genético en áreas protegidas y establecer unidades de conservación fuera de dichas áreas, ya sea para resguardo de la biodiversidad a largo plazo o bien para programas de recuperación de especies amenazadas.

La excepción la constituye la iniciativa del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), respecto a recursos genéticos con énfasis mayoritariamente alimentario.

Sin perjuicio de lo anterior, en los últimos años, a partir de la irrupción en la agenda ambiental del cambio climático y sus impactos futuros sobre el uso y conservación de los recursos naturales, se ha instalado la conservación *ex situ* como una de las acciones a fortalecer dentro de los planes de adaptación en el ámbito de los bosques.

Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Silvoagropecuario

En octubre de 2013 se presentó el Plan de Adaptación al Cambio Climático para el Sector Silvoagropecuario, documento elaborado por el Ministerio de Agricultura en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012.

La propuesta de plan y las acciones necesarias para su puesta en práctica fueron definidas en consonancia con las líneas estratégicas de acción del Ministerio de Agricultura:

- Mejorar la competitividad de la agricultura.
- Fomento a la investigación e innovación.

- Promover la sustentabilidad económica, social y ambiental.
- Transparencia y acceso a mercados.
- Modernizar el Ministerio de Agricultura y sus servicios.

Es así, como en el marco de la estrategia denominada Fomento a la Investigación e Innovación de la agenda del Ministerio de Agricultura, se considera que una de las medidas a implementar, identificada como la medida N° 17, es la Conservación Genética *Ex Situ* de Recursos Forestales para la Adaptación al Cambio Climático (Cuadro N° 5).

Esta medida, que se encuentra bajo la responsabilidad del Instituto Forestal (INFOR), se sustenta en la evidencia de que la diversidad genética aporta la base fundamental para la evolución de las especies arbóreas y para sus adaptaciones a los cambios. Por ello, la conservación de los recursos genéticos forestales es vital, ya que éstos son un recurso único e insustituible para el futuro.

El Instituto Forestal ha establecido una estrategia de conservación y mejoramiento genético en base al establecimiento de poblaciones de mejoramiento tanto nativas como exóticas, en que se identifica la progenie y procedencia, en distintos sitios.

Este sistema de conservación *ex situ*, permite monitorear el cambio climático y salvaguardar el potencial de adaptación de las poblaciones.

Cuadro N° 5
MEDIDA N° 17: CONSERVACIÓN GENÉTICA *EX SITU* DE RECURSOS FORESTALES
PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Objetivo	Proponer metodologías de evaluación y selección de genotipos forestales que aseguren la conservación y mejoramiento de las especies ante escenarios climáticos.
Lineamiento Ministerial	2.- Fomento a la Investigación e Innovación
Descripción de la Acción	La diversidad genética aporta la base fundamental para la evolución de las especies arbóreas y para sus adaptaciones a los cambios. Por ello, la conservación de los recursos genéticos forestales es vital, ya que éstos son un recurso único e insustituible para el futuro. La diversidad genética intra-específica desempeña un papel fundamental en la aptitud de las poblaciones para responder a los cambios climáticos. Ciertas poblaciones individuales pueden ser la fuente de adaptaciones específicas como la resistencia a enfermedades o insectos, la tolerancia a ciertas condiciones del suelo u otros atributos que pueden ser de valor actual y futuro en los programas de mejora genética de árboles forestales. El Instituto Forestal ha establecido una estrategia de conservación y mejoramiento genético en base al establecimiento de poblaciones de mejoramiento tanto nativas como exóticas, en que se identifica la progenie y procedencia, en distintos sitios. Este sistema de conservación <i>ex situ</i>, permite monitorear el cambio climático, y salvaguardar el potencial de adaptación de las poblaciones. En este contexto la selección es transformada en una fuerza primaria para adaptarse al cambio climático. La adaptación de los bosques ante el estrés ambiental, en el caso que el cambio climático sea desfavorable para el desarrollo de una especie, depende en forma directa de la variabilidad genética, la que puede ser medida en forma indirecta mediante dos estrategias no excluyentes: 1.- La plasticidad fenotípica (esto es, la capacidad que un determinado genotipo posee para expresar distintos fenotipos bajo diferentes condiciones ambientales) y 2.- La capacidad de adaptación de la especie (esto es, su capacidad para diferenciarse en distintos genotipos, procedencias, eco-tipos-, adecuados a las condiciones ambientales locales). El enfoque metodológico que se usará en una primera etapa es la predicción de la plasticidad fenotípica para distintos caracteres de interés mediante la tecnología BLUP (Best Linear Unbiased Predictor). La evaluación se basará en datos provistos y recolectados a través del Programa de Mejoramiento Genético y Biotecnología que cuenta con el apoyo del Ministerio de Agricultura. La base geográfica de comparación corresponde a las regiones de procedencias. También será necesario incorporar nuevos ensayos en diferentes condiciones climáticas y aumentar la batería de variables evaluadas en cada uno de ellos. Particularmente será de interés incluir variables de tipo ambiental y de respuesta fisiológica del material genético ensayado. En una segunda etapa se avanzará en dos líneas de investigación, aprovechando las capacidades de conformar redes del Instituto Forestal: - a.- Diversidad genética y adaptativa. Estudios de variación genética de las principales especies forestales mediante marcadores genéticos. - b.- Genómica de especies forestales. Estudio de la base molecular de la respuesta adaptativa de las especies forestales a su entorno condicionado por el cambio climático. La fortaleza de este modelo radica en que es posible monitorear a través de mediciones sucesivas como van comportándose las distintas poblaciones <i>ex situ</i>, ante el cambio climático y luego avanzar hacia un análisis molecular y genómico.
Cobertura	Región del Maule a Región de Los Ríos
Metas (cuantitativas)	Un reporte bianual
Presupuesto Asociado	En estudio
Plazos	Permanente
Instituciones Responsables	INFOR

(Fuente: MMA, 2013b)

Plan de Adaptación al Cambio Climático para Biodiversidad

En forma complementaria al trabajo del Ministerio de Agricultura, la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente está elaborando el Plan de Adaptación al Cambio Climático para la Biodiversidad, que actualmente se encuentra en etapa de consulta pública.

Según el informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), solicitado por la secretaría de la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB), las actividades para la adaptación al cambio climático pueden fomentar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad y reducir el impacto sobre la biodiversidad, tanto de los cambios climáticos como de los fenómenos climáticos extremos.

En este escenario, se recomienda concentrar los esfuerzos en incrementar la capacidad de recuperación (resiliencia) de la biodiversidad ante el futuro cambio climático, para lo cual se proponen como estrategias generales de adaptación la cría en cautiverio de los animales, la conservación *ex situ* de las plantas y los programas de traslado que se pueden utilizar para aumentar o restablecer algunas especies amenazadas o sensibles.

Para concretar estas recomendaciones, el plan de adaptación al cambio climático para la biodiversidad establece cuatro objetivos específicos, y en el cuarto de ellos; Implementación de Medidas de Adaptación al Cambio Climático a Nivel de Ecosistemas y Especies, en Ambientes tanto Terrestres como Marinos, Costeros, de Aguas Continentales e Islas Oceánicas, tanto en Espacios Rurales como Urbanos y Periurbanos, se establecen dos medidas en la línea de acción estratégica; Promoción, creación y fortalecimiento de Bancos de Germoplasma, Jardines Botánicos, Conservatorios Botánicos, Centros de Reproducción de Fauna Silvestre (en fichas de acción N° 33 y 34, Cuadros N° 6 y N° 7).

Cuadro N° 6

FICHA DE ACCIÓN N° 33 DEL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA BIODIVERSIDAD

Título de la Medida	Conservatorio Botánico Archipiélago de Juan Fernández
Objetivo Específico	4
Línea Estratégica	4/6: Promoción, creación y fortalecimiento de bancos de germoplasma, jardines botánicos, conservatorios botánicos, centros de reproducción de fauna silvestre.
Objetivo de la Medida	Conservación del patrimonio genético vegetal nativo endémico del archipiélago de Juan Fernández y restauración de hábitats.
Cobertura	Archipiélago de Juan Fernández.
Plazos	2014-2015 (en adelante)
Resultados	Conservación <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> de las plantas endémicas con mayor grado de amenaza. Restauración de hábitats con las especies de plantas endémicas. Fortalecer el conocimiento y la educación ambiental respecto de la biodiversidad vegetal del archipiélago.
Posibles Fuentes de Financiamiento	Público (Ministerios, Municipios, Fondos regionales), empresa privada y fondos internacionales.
Instituciones Responsables	Ministerio de Medio Ambiente, Municipio de Juan Fernández, Conservatorio de Brest.
Socios Colaboradores	CONAF, SAG, INIA, Instituciones académicas especializadas e instituciones públicas.

(Fuente: MMA, 2013b)

Cuadro N° 7

FICHA DE ACCIÓN N° 34 DEL PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA BIODIVERSIDAD

Título de la Medida	Conservación <i>ex situ</i> de flora como resguardo frente al cambio climático
Objetivo Específico	4
Línea Estratégica	4/6: Promoción, creación y fortalecimiento de bancos de germoplasma, jardines botánicos, conservatorios botánicos, centros de reproducción de fauna silvestre.
Objetivo de la Medida	Mantener material genético, incluido propágulos, semillas y plantas, como una medida de resguardo frente al cambio climático, en caso de ser necesario efectuar programas de reintroducción de especies. Desarrollar experiencia en esta materia en los investigadores y servicios públicos. Desarrollo de técnicas de conservación. Difundir protocolos para obtención de muestras.
Cobertura	Nacional
Plazos	Continuo
Resultados	Contar con material genético resguardado de las especies de flora amenazada en los bancos de germoplasma. Desarrollar un protocolo para intercambio de material entre investigadores, jardines botánicos y bancos de germoplasma. Diseño de un programa de reintroducción de especies priorizadas.
Posibles Fuentes de Financiamiento	Por definir.
Instituciones Responsables	En un inicio el Ministerio de Medio Ambiente, que buscará la participación de otras instituciones (INIA, MINAGRI).
Socios Colaboradores	Ministerio de Medio Ambiente, Jardines Botánicos.

(Fuente: MMA, 2013b)

Si bien a partir de su inclusión en los planes de adaptación al cambio climático en los sectores silvoagropecuario y biodiversidad, se observa una creciente importancia de la estrategia de conservación *ex situ*, pero falta determinar si esta inclusión significará un real impulso para su implementación a gran escala.

La negativa experiencia respecto a la Estrategia Nacional de Biodiversidad y sus incumplidas metas de lograr un 10% de cobertura de protección *in situ* para todos los ecosistemas existentes, no permiten ser muy optimistas respecto a los planes de adaptación mencionados.

REFERENCIAS

Calcagni, R.; García, D.; Villarroel, P. y Yunis, K., 2011. Tendencias en la conservación y avances en Chile. Revista Ambiente y Desarrollo. Vol. XXV, N° 1, 2011.

Camus, P., 2006. Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile. 1541-2005. Centro de Investigaciones Diego Barros Arana. Ediciones Lom. 383 pp.

Casals, V., 1999. La política forestal en Chile. Una perspectiva histórica. En: Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 45 (16), Universidad de Barcelona, 1999.

CIFAG, 2013. Los Aportes de la Ingeniería Forestal al Desarrollo del País. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile. 199 pp.

CODEFF, 1999. Las áreas silvestres protegidas privadas en Chile. Una herramienta para la conservación. Comité Pro Defensa de la Flora y Fauna. 1999. 96 pp.

DIPRES, 2012. Ley de presupuestos del Sector público 2012. En línea: <http://www.dipres.gob.cl/594/w3-multipropertyvalues-2129-21327.html>. (Consultado el 27 de diciembre de 2013).

Figueroa, E., 2010. Valoración Económica detallada de las Áreas Protegidas de Chile. Informe Técnico Proyecto GEF-MMA-PNUD "Creación de Un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera y operacional". 232 pp.

MMA, 2013a. Catastro Nacional identifica más de 300 iniciativas de conservación privada en Chile. [En línea] <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-54883.html> [Consulta: 16 septiembre 2013].

MMA, 2013b. Anteproyecto: Plan de adaptación al cambio climático para biodiversidad. Propuesta Ministerial elaborada en el marco del Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012. En: http://www.mma.gob.cl/1304/articles-54462_PlanCambioClimaticoBiodiversidad_2013.pdf (consulta diciembre, 2013).

Oltremari, J. y Martínez, Y., 2000. Caracterización de Algunas Variables Asociadas a las Áreas Protegidas en Chile. Departamento de Ciencias Forestales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Rovira, J.; Ortega, D.; Álvarez, I. y Molt, K., 2008. Áreas Protegidas en Chile. En: Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Comisión Nacional de Medio Ambiente. 320 pp.

Salazar, E.; León-LOBOS, P.; Rosas, M. y Muñoz, C., 2006. Estado de la conservación *ex situ* de los recursos fitogenéticos cultivados y silvestres en Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 156. 180 p.

Sandoval, A., 2012. Hacia el establecimiento de una estrategia de conservación y uso sustentable de los recursos genéticos forestales de Chile. Presentación en Taller del Proyecto INNOVA "Programa de promoción y uso sustentable de los recursos genéticos forestales de Chile. Fase 1: Zonas áridas y semiáridas". Santiago, 10 de abril de 2012.

Sierralta, L., Serrano, R.; Rovira, J. y Cortés, C. (Eds.), 2011. Las áreas protegidas de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 2011. 35 pp.

Tellier, S., 2011. Conservación *ex situ*. En: Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Comisión Nacional de Medio Ambiente. 320 pp.

TERRAM, 2005. Áreas Protegidas Privadas en Chile. TERRAM Publicaciones. Fundación TERRAM. 28 pp.

Torres, J., 2013. Gasto público en conservación de la naturaleza. En línea: <http://blogs.cooperativa.cl/opinion/medio-ambiente/20121124082747/gasto-publico-en-conservacion-de-la-naturaleza/>. (Consultado el 27 de diciembre de 2013).

Torres, J. y Magni, C., 2012. Conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds.) 2012. Recursos Genéticos Forestales de Chile. Catastro 2012. INFOR-FIA. ISBN N° 978-956-318-078-7. Capítulo 6, Pp: 151-165.

Capítulo 2

RECURSOS GENÉTICOS Y RECURSOS BIOLÓGICOS DEFINICIONES Y DIFERENCIACIÓN

Braulio Gutiérrez Caro¹

INTRODUCCIÓN

Existe relativa claridad en cuanto al alcance del concepto recursos genéticos (RRGG), así como un amplio reconocimiento de la importancia de estos recursos y de la necesidad de conservarlos. Sin embargo, en el ámbito de las definiciones o precisiones conceptuales se observa algún grado de confusión, imprecisión o uso indiferenciado de este concepto respecto a otros términos de similar naturaleza. Particularmente, asociado a las normativas para regular el acceso a los recursos genéticos, se ha requerido diferenciarlos de los denominados recursos biológicos, que contienen a los primeros. Consecuentemente, no es extraño que incluso entre profesionales vinculados a la temática de la conservación exista confusión en los alcances de ambas expresiones.

La misma situación genérica expuesta para los recursos genéticos, se repite en el caso particular de los recursos genéticos forestales (RGF). Adicionalmente, en estos últimos se presenta una ambigüedad anexa, relacionada con la ausencia de un criterio homogéneo que determine qué incluir o no incluir en esta categoría. Así, es normal encontrar que distintos autores consideran o excluyen como recursos genéticos forestales a distintas formas de vida; leñosas en general; solo arbóreas; arbóreas y arbustivas; todos los componentes del bosque (epífitas, hongos, líquenes, hierbas); cactáceas de habito arbóreo; toda la vegetación silvestre; otras.

En tal contexto, este capítulo entrega antecedentes destinados a precisar el concepto de recurso genético forestal y a diferenciar el alcance de las expresiones recurso genético y recurso biológico. Al respecto, sin ser un estudio exhaustivo en esta materia, su objetivo es contribuir a estandarizar y homogenizar el uso de la terminología con el fin de facilitar la comunicación e interacción entre los actores vinculados a la conservación de recursos genéticos.

DEFINICIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

En términos generales, de acuerdo con FAO (2014), los RGF son una parte de la agrobiodiversidad, la que se define como la diversidad y variabilidad de los animales, plantas y microorganismos que se utilizan directa o indirectamente para fines de agricultura y alimentación (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca). Este concepto incluye la diversidad de recursos genéticos; variedades, razas y

¹ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Bío Bío. bgutierr@infor.cl

especies, usadas para alimentación, forraje, fibras, combustibles y medicamentos, considerando también a la diversidad de especies que no se cosechan, pero que apoyan a la producción, como los organismos del suelo, controladores biológicos, polinizadores etc.

En términos algo más específicos, los RGF son un subconjunto de los recursos genéticos *vegetales* (o fitogenéticos) para la alimentación y la agricultura (RGVAA), los cuales se definen como todo material genético de origen vegetal con valor actual o potencial para la agricultura y la alimentación. La inclusión de los RGF en esta definición obedece a una convención del sistema de las Naciones Unidas, por la cual considera los RGVAA en sentido amplio, incluyendo en ellos a los recursos forestales (FAO, 2014).

Una definición específica (FAO, 2014) indica que los recursos genéticos forestales son el material heredable contenido entre y dentro de los árboles y otras especies de plantas leñosas, de valor actual o potencial en los contextos económico, ambiental, científico y social.

Bajo tal definición, el material heredable de especies arbustivas, de especies arbóreas de frutas y nueces, así como de sus ancestros silvestres se incluyen dentro de los recursos genéticos forestales, por cuanto normalmente corresponden a especies de uso múltiple, que proveen de madera frutos, medicinas y servicios ambientales, es decir poseen el denominado valor actual o potencial.

Por el contrario, el material heredable de las cactáceas de hábito arbóreo, aun cuando jueguen en los ambientes áridos un rol equivalente al de los árboles, no constituyen material genético forestal por cuanto no cumplirían la condición de ser especies leñosas. La misma situación se aplica a otros organismos no leñosos del bosque, que aun teniendo usos conocidos que les confieren valor actual o potencial, tampoco corresponden a recursos genéticos forestales (hongos, hierbas, entre otros).

De igual forma, resulta incorrecto usar la expresión recurso genético forestal para referirse en forma genérica a los árboles propiamente tales, a los bosques y/o a los productos forestales madereros o no madereros. Para esta finalidad parece más adecuado usar la expresión biodiversidad forestal, que tiene una connotación más amplia que recurso genético forestal. La primera denota la variabilidad entre los organismos que habitan en los bosques y los procesos ecológicos de los que forman parte, incluyendo la variabilidad a nivel molecular, de especies y de ecosistemas forestales, mientras que el término recurso genético forestal solo hace referencia al material heredable y no a los individuos propiamente tales.

LA DISTINCIÓN ENTRE RECURSOS GENÉTICOS Y RECURSOS BIOLÓGICOS

En términos genéricos, *Painting et al.* (1995) definen a los recursos genéticos como el germoplasma de plantas, animales u otros organismos, que contiene características de valor actual o potencial. Análogamente, de la definición del Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009) se entiende a los recursos genéticos como cualquier

material genético de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura, donde al material genético lo establece como material de origen vegetal, incluido el material reproductivo y de propagación vegetativa, que contiene unidades funcionales de la herencia. En general las definiciones conllevan la idea de material heredable y de valor actual o potencial.

En Chile el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), promulgado como Ley de la República (DS N° 1.963, de 1994, del Ministerio de Relaciones Exteriores), es el único cuerpo legal vigente que expresamente define a los recursos genéticos. Por lo tanto, según Flores (2004) la definición vigente en Chile es la que entrega este acuerdo internacional.

Con la implementación del CDB cambió el estatus de los recursos genéticos. De ser considerados patrimonio de la humanidad y de libre disponibilidad se reconoce que son propiedad de los “estados nacionales”, quienes deben implementar los mecanismos necesarios para facilitar el acceso y utilización posterior de los mismos. En efecto, el convenio establece compromisos vinculantes para el país, entre los cuales en su artículo 15 señala que cada Parte Contratante procurará crear condiciones para facilitar el acceso a sus recursos genéticos, delegando en cada país la responsabilidad de establecer el régimen de acceso que estime pertinente.

Normalmente, para efectos de regular el acceso a los recursos genéticos, las normativas involucran una distinción que fragmenta la realidad biológica. Para este fin, los llamados recursos genéticos se conceptualizan como componentes que pueden ser completamente diferenciables y separables de los organismos biológicos que los contienen. A partir de esta distinción se diferencia los regímenes de propiedad, los trámites de acceso y las competencias de autoridades ambientales según se trate de acceso a recursos biológicos o a recursos genéticos (Namoga, s/f).

Para tales efectos, lo normal es que se defina a los recursos genéticos como todo material de naturaleza biológica que contenga información genética de valor o utilidad real o potencial. Mientras que los recursos biológicos quedan contextualizados como individuos, organismos o partes de estos, poblaciones o cualquier componente biótico de valor o utilidad real o potencial que contiene el recurso genético o sus productos derivados.

Las definiciones anteriores dan cuenta con relativa claridad de la diferencia entre el organismo biológico y su información genética. Así, en el ámbito jurídico legislativo se diferencia entre una entidad (organismo biológico) en la cual se observan sus características fenotípicas y otro componente (información genética) responsable de las características genotípicas del organismo, subrayando una separación entre los organismos biológicos y la información genética. En forma similar establece otra distinción, esta vez entre recursos genéticos y los componentes intangibles (derivados y conocimientos ancestrales), los que no serán considerados en esta síntesis, pero que también contribuyen a hacer más compleja la comprensión de los conceptos y dificultan la formulación e implementación de iniciativas de regulación de los recursos genéticos.

En este contexto, en el momento en que el legislador nacional decida formular algún tipo de norma jurídica destinada a regular la conservación, la utilización sostenible y el acceso a los recursos genéticos, será necesario abordar la cuestión de la definición jurídica sobre la cual se

va a estructurar la norma (Flores, 2004). De aquí parece surgir la confusión en la interpretación de los conceptos de recurso biológico y recurso genético, por cuanto si bien las regulaciones de acceso normalmente diferencian a ambos como elementos distintos, las definiciones del CDB, que serían las vigentes en Chile, no los diferencian. En efecto según el CDB, (ONU, 1992) se entiende por recurso biológico a “los recursos genéticos, los organismos o partes de ellos, las poblaciones, o cualquier otro tipo del componente biótico de los ecosistemas de valor o utilidad real o potencial para la humanidad”.

Consecuentemente, al momento de elaborar las normativas nacionales de acceso a los recursos genéticos el legislador tendrá que hacerse cargo de una serie de distinciones que será necesario reflejar en las definiciones de la materia regulada, ya sea reproduciendo las expresiones del CDB o reformulándolas a partir de sus elementos esenciales para que sean operativas y funcionales a la norma. Afortunadamente, muchas de las complejidades jurídicas que surgen en torno a la definición legal del concepto de recursos genéticos ya han sido resueltas o, al menos, abordadas en el derecho comparado; por lo tanto, existe una serie de ejemplos normativos orientadores para la definición particular que, en su oportunidad, haga la legislación chilena legislación (Flores, 2004)

CONCLUSIONES

Para referirse a recursos genéticos forestales es recomendable atenerse a los alcances de una definición oficial, en este sentido la definición sugerida por FAO resulta funcional y delimita efectivamente qué materiales pueden o no incluirse en esta categoría.

La confusión entre los conceptos de recurso biológico y recurso genético, emana de la necesidad de formular normas de acceso al recurso genético, lo que requiere separar ambos conceptos. Sin embargo, definiciones de valor legal, como la contenida en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), no diferencian a las dos expresiones, por lo mismo es común que ambas se confundan o se usen indistintamente.

Las distinciones legales definitivas deberán ser formuladas al momento en que se promulgue en el país una normativa que regule el acceso a los recursos genéticos, situación que ha sido incipientemente abordada en mesas de trabajo del Ministerio de Agricultura, pero que aún no se ha materializado.

REFERENCIAS

FAO, 2009. Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura: Un tratado mundial para la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 68 p.

FAO, 2014. The State of the World's Forest Genetic Resources. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 291 p.

Flores, L., 2004. Análisis del Manejo Regulatorio e Institucional de los Recursos Genéticos en la Legislación Chilena. Fundación Sociedades Sustentables. Santiago, Chile. 48 p.

Nemoga, G., s/f. Distinciones entre Recursos Biológicos y Genéticos en la Legislación Colombiana. En: http://www.portalces.org/adb/dp/col/distinciones_recursos_biologicos_geneticos.pdf. (Consulta: enero, 2013)

ONU, 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Rio de Janeiro, 5 de junio de 1992. Texto oficial en español. En: https://treaties.un.org/doc/Treaties/1992/06/19920605%2008-44%20PM/Ch_XXVII_08p.pdf. (consulta: marzo, 2014)

Painting, K. A.; Perry, M. C.; Denning, R. A. and Ayad, W. G., 1995. Guidebook for Genetic Resources Documentation. International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 296 p.

Capítulo 3

LAS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS UN IMPORTANTE RECURSO GENÉTICO FORESTAL

Santiago Barros Asenjo¹

INTRODUCCIÓN

En el país existe una gran cantidad de especies arbóreas y arbustivas, nativas, endémicas y exóticas o introducidas. Las especies nativas de un país son aquellas que ocurren en forma natural dentro de los límites territoriales de este y son además endémicas si su ocurrencia natural es exclusivamente dentro de estos límites. Las especies exóticas o introducidas en tanto, son aquellas cuya distribución u ocurrencia natural se da en otros países o regiones del mundo y que, en distintos momentos y con diferentes fines, han sido introducidas al país.

Entre las primeras y como ejemplo, araucaria o pehuén (*Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch) y palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) son especies nativas en Chile, pero solo la segunda es además endémica, dado que en el caso de la primera su distribución natural alcanza también áreas del oeste de Argentina en similar latitud (Figura N° 1).



(Fuente: Chile Bosques, 2014)

Figura N° 1
DISTRIBUCIÓN NATURAL PALMA CHILENA (IZQ.) Y ARAUCARIA (DER.)

Especies exóticas como pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) y eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.), hoy ampliamente empleadas en las plantaciones forestales en el país, son especies que fueron introducidas a fines del siglo XIX y son originarias de California EEUU, la primera, y del sureste de Australia, la segunda.

¹ Ingeniero Forestal, U. Chile. Unidad de Relaciones Internacionales y Transferencia Tecnológica Instituto Forestal. Dirección Ejecutiva. sbarros@infor.cl

Chile presenta a diciembre de 2012 una cubierta forestal cercana a 16 millones de hectáreas, la cual representa algo más del 20% de la superficie continental nacional y está constituida por 13,5 millones de hectáreas de bosques nativos y 2,4 millones de hectáreas de bosque plantados (INFOR, 2014).

Los bosques nativos corresponden a 12 diferentes Tipos Forestales que en general reciben sus nombres de acuerdo a la o las principales especies que los componen, situación que es variable evidentemente en un país que se extiende latitudinalmente por más de 4.000 km y presenta en consecuencia una gran variedad de condiciones climáticas.

Los principales tipos forestales nativos se ubican en la zona sur y austral del país, y están compuestos principalmente por latifoliadas, entre las que dominan especies del género *Nothofagus*, aun cuando hay algunos tipos en que dominan especies coníferas de los géneros *Araucaria*, *Austrocedrus*, *Fitzroya* y *Pilgerodendron*.

Los bosques plantados en tanto están compuestos principalmente por *Pinus radiata* (1,47 millones de ha), *Eucalyptus globulus* (0,54 millones de hectáreas), *Eucalyptus nitens* (0,23 millones de hectáreas) y otras especies (0,17 millones de hectáreas) de participación menor o incipiente en las plantaciones forestales del país (INFOR, 2014). Entre estas últimas se encuentran otras especies de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus* y especies de los géneros *Acacia*, *Atriplex*, *Populus*, *Pseudotsuga* y otros.

Los principales recursos genéticos forestales del país están representados sin duda por sus especies nativas, dado su carácter de tales, la extensión y variedad de los bosques que conforman, la diversidad de flora y fauna asociada a estos, las múltiples funciones económicas, sociales y ambientales que cumplen, y su alto grado de endemismo regional, compartido en muchos casos entre el sur de Chile y de Argentina.

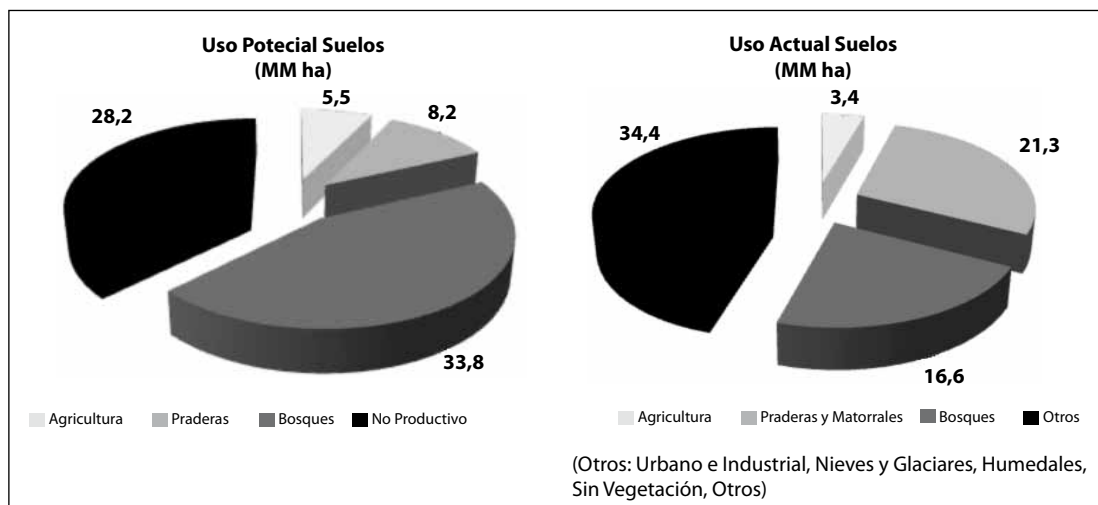
Sin embargo, desde los tiempos de La Colonia y hasta mediados del siglo pasado, la apertura de tierras para uso agrícola y ganadero, grandes incendios forestales y la sobre utilización de los bosques nativos dejaron como herencia extensas superficies de suelos forestales desarbolados y en procesos de erosión, y bosques nativos mayoritariamente degradados, fraccionados y empobrecidos en su composición de especies.

Estas importantes pérdidas situaron a la forestación de los suelos desarbolados y a la recuperación y manejo sostenible de los bosques degradados como grandes desafíos sectoriales.

Si se compara las cifras de superficie de uso potencial de los suelos y aquellas de su uso actual, resulta fácil suponer que en la época prehispánica la superficie de bosques nativos era al menos el doble de la actual cubierta forestal del país (Figura N° 2).

Estos importantes desafíos sectoriales, de forestación de suelos desarbolados y de recuperación y manejo sostenible de los bosques nativos, fueron ya abordados en la segunda mitad del siglo pasado, a través del establecimiento de plantaciones y el desarrollo de la capacidad industrial derivada, con grandes esfuerzo públicos y privados; la creación de una institucionalidad forestal pública; la regulación estatal sobre el uso de los bosques y la creación de un sistema de áreas silvestres protegidas, que suma 14,5 millones de hectáreas e incluye a los principales ecosistemas forestales del país.

Hoy no existe deforestación, la sustitución de bosque nativo por plantaciones no está permitida y el recurso bosques plantados genera la casi totalidad de la materia prima que demanda una desarrollada y creciente industria forestal.



FUENTE: INFOR, 2014

Figura N° 2
USO DE LOS SUELOS

Sin embargo, la forestación de suelos descubiertos y la recuperación y manejo de los bosques nativos se mantienen como las principales metas sectoriales para el presente siglo.

Cerca de la mitad de la superficie de bosques nativos es considerada comercial y debe ser incorporada a la producción bajo manejo sostenible, la otra mitad son bosques que están bajo régimen de conservación estatal o son formaciones que requieren de manejo silvícola para su recuperación.

Respecto de las plantaciones forestales, existe aún en el país una importante superficie de suelos forestales desprovistos de vegetación que deben ser forestados y la superficie de bosques plantados podría ser duplicada en el corto y mediano plazo y tal vez triplicada o más en el largo plazo.

LAS ESPECIES EXÓTICAS EN EL PAÍS

Dada la gran disponibilidad de suelos para la forestación y el relativo lento desarrollo de las especies nativas, las especies exóticas adquirieron progresivamente una mayor importancia en la recuperación de suelos y en la creación de nuevos recursos forestales, y es así como hoy un recurso de 2,4 millones de hectáreas de plantaciones forestales, ubicado entre las regiones de

Valparaíso y Los Lagos, proporciona la casi totalidad de la materia prima para una desarrollada industria forestal que en 2013 consumió 41 millones de metros cúbicos para la producción principalmente de pulpa y papel, madera aserrada y tableros de distintos tipos (INFOR, 2014).

Los Inicios

Hacia fines del siglo XIX se podría ubicar el nacimiento de la silvicultura con especies forestales introducidas en Chile, cuando ya se empieza a prestar atención a especies que pudieran permitir el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales, dentro de la gran variedad de condiciones climáticas y ecológicas que caracterizan al país y en las importantes superficies desarboladas que era necesario repoblar.

Pioneros en esto son dos técnicos alemanes; Federico Albert y Konrad Peters, que desarrollaron sus trabajos principalmente en Chanco y Lota, zonas costeras de las hoy Regiones de Maule y Bío Bío, respectivamente, a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX.

En 1889 el Gobierno de Chile contrata al naturalista alemán Federico Albert para trabajar en el Museo Nacional de Historia Natural de Santiago, quien fue el primer visionario que impulsó el desarrollo forestal en Chile considerando que *la riqueza en bosques es el bienestar de la nación*.

Sus ideas centrales fueron *la recuperación de los terrenos degradados y de los cultivos marinos, el impulso a las plantaciones forestales con fines comerciales y la creación de áreas silvestres protegidas*. Albert (1909) publica Los 7 Árboles Forestales más Recomendables para el País (Figura N° 3), donde señala que:

La finiquitada Sección de Ensayos Zoológicos i Botánicos ya redujo el número de especies útiles a 168 i la Cartilla Forestal de la Sección de Aguas i Bosques las limitó a 36 recomendables i unas 20 por ensayar.

Hoi día estamos en condiciones de llenar las necesidades del país con sólo 7 especies en cada una de las grandes divisiones climatéricas i culturales.

Es eso un gran paso dado adelante en la silvicultura del país, del cual debemos esperar los resultados más benéficos en el futuro.

Podemos recomendar los 7 árboles principales en jeneral.

N	S	
SECANO		
<i>Cupressus sempervirens</i> <i>Pinus pinea</i> <i>Schinus molle</i>	<i>Eucalyptus resinifera</i> <i>Cupressus torulosa</i> <i>Pinus canariensis</i> <i>Pinus insignis</i> <i>Pinus maritima</i> <i>Acacia melanoxylon</i> <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Picea excelsa</i> <i>Thuja plicata</i> <i>Pseudotsuga taxifolia</i> <i>Pinus excelsa</i> <i>Pinus sylvestris</i> <i>Fraxinus excelsior</i> <i>Abies pectinata</i>
RIEGO		
	<i>Eucalyptus diversicolor</i> <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Cupressus macrocarpa</i> <i>Pinus canariensis</i> <i>Acacia melanoxylon</i> <i>Sequoia sempervirens</i> <i>Quercus pedunculata</i>	<i>Eucalyptus resinifera</i> <i>Eucalyptus viminalis</i>

(Albert, 1909)

Figura N° 3
LOS 7 ÁRBOLES FORESTALES MÁS RECOMENDABLES PARA EL PAÍS

Las especies destacadas por Albert en aquella época son todas exóticas, con la excepción de pimienta (*Schinus molle*), y todas ellas son especies conocidas actualmente, presentes en los campos en pequeños bosquetes o en alamedas y en plazas y parques como ornamentales. Albert señala 7 especies principales para terrenos de secano y una serie de otras adicionales para zonas al norte o al sur de la que fue su zona de estudio, y distinguiendo también para terrenos regados.

Varias de estas especies han sido posteriormente redescritas por los botánicos y se les ha cambiado sus nombres científicos, así *Pinus insignis* es hoy pino radiata (*Pinus radiata*), *Pseudotsuga taxifolia* es conocido ahora como pino Oregón o Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*), *Quercus pedunculata* es hoy roble común (*Quercus robur*) en Europa, *Pinus maritima* es hoy pino marítimo (*Pinus pinaster*) y *Pinus excelsa* es ahora pino del Himalaya o pino llorón (*Pinus wallichiana*).

De las especies seleccionadas por Albert hace más de 100 años, solo una pocas tienen hoy importancia forestal, pero entre ellas están *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, especies que son la base de las plantaciones forestales actuales de la zona centro-sur del país, se suman pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), especie importante en las plantaciones de la zona sur y austral, y pino piñonero (*Pinus pinea*), aroma australiano (*Acacia melanoxylon*), acacia falsa (*Robinia pseudoacacia*) y pino silvestre (*Pinus sylvestris*), especies con una incipiente participación actual en plantaciones en diferentes regiones del país.

Por su parte, desde mediados del siglo XIX, los fundadores de la Industria Carbonífera de Lota, la familia Cousiño, compraron importantes extensiones de terrenos en la zona costera de Arauco con el objeto de obtener la madera necesaria para revestir las galerías subterráneas de las minas que se extendían hasta bajo el mar.

A medida que avanzaban las minas por debajo del mar, el consumo de madera hacía que los bosques explotables fueran cada día más lejanos, situación que estaba comprometiendo seriamente los niveles de producción de la industria y condujo a que se contratara a un técnico europeo que pudiera cuidar y hacer crecer los bosques. Este técnico resultó ser el alemán Konrad Peters.

Bay-Schmith (1965) hace algunas observaciones sobre los trabajos de Peters e indica que:

La obra de Peters en el campo de los ensayos forestales es muy importante, aunque poco conocida debido a su carácter sencillo y a la política tradicional de secreto de los grandes empresarios en aquellos tiempos. Su trabajo fue extremadamente difícil por la escasa información sobre especies y las grandes dificultades para obtener semillas conocidas y en buen estado. En 1900 tampoco era tarea fácil formar viveros y establecer plantaciones. Su objetivo era producir resultados rápidos sin importar los costos, por lo que con las semillas que obtenía establecía parcelas grandes, de 10 a 300 ha por especie, con la idea que el éxito de un ensayo significara un extenso bosque productivo y no unos pocos árboles.

Después de unos cuantos fracasos obtuvo éxito con Eucalyptus globulus, que desde ese momento fue la especie más ampliamente plantada en la zona y resolvió la crisis de abastecimiento de madera de la industria del carbón.

Entre los años 1902 y 1920 hizo plantar unas 800 ha de Pinus insignis, pensando que su madera serviría para las minas igual que el eucalipto, sin embargo, cuando las primeras plantaciones empezaron a producir madera, se apreció que esta no tenía suficiente resistencia para ser empleada en las minas y además no “avisaba”². Esto fue considerado como un fracaso y durante los siguientes 15 años no se plantó pino. Recién en 1935 se pensó que la madera de pino podría servir para la construcción y fueron reanudadas las plantaciones e iniciados algunos ensayos de silvicultura.

No existe así una absoluta claridad sobre cuándo fueron introducidas al país las especies *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* y sobre quién las introdujo. Se trata de especies de reducidas

² Las maderas duras, como algunas nativas y eucalipto, crujen antes de colapsar, lo que permitía a los mineros escapar de las galerías oportunamente antes que se derrumbaran.

áreas de distribución natural y de limitada importancia en sus lugares de origen, por lo que es probable que su introducción haya sido más bien accidental, pero que ahora en diferentes zonas de Chile se desarrollan mejor que en sus áreas de ocurrencia natural en sus regiones de origen (Norteamérica y Australia, respectivamente). Sin embargo, todo indica que esta afortunada y temprana introducción sería atribuible a Federico Albert, a Konrad Peters o a ambos alemanes de destacada participación en la historia del sector forestal chileno, y que se habría producido a fines del siglo XIX. Las primeras introducciones corresponderían más probablemente a Albert, que habría iniciado sus trabajos algo antes que Peters.

Bay-Schmith (1965) señala que a partir de 1950, ya extendidas las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* y cubierta la ya decreciente demanda de madera de la minería del carbón, es la Compañía Agrícola y Forestal Colcura la que continúa evaluando ensayos anteriores de especies y probando con nuevas especies en la zona costera de Arauco. Las prioridades cambian hacia la búsqueda de especies que permitieran ir formando gradualmente bosques diversificados, menos vulnerables a eventuales plagas y enfermedades.

Bay-Schmith (1965) comenta también que en la evaluación de diferentes ensayos establecidos en la primera mitad del siglo XX, aparecen numerosas especies prácticamente descartadas por variadas razones, como baja resistencia a plagas o a frío, mala forma, madera poco resistente y otras, pero la principal es que crecen menos o mucho menos que *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*.

En los años 60 se masifican ya las plantaciones forestales empleando pino radiata, especie de muy buen crecimiento y gran adaptabilidad a diferentes sitios en la zona centro-sur del país. La Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, estaba en un fuerte plan de ampliación de patrimonio, principalmente en la hoy región del Bío Bío, para abastecer las plantas de pulpa que ya tenía en operaciones en Concepción y Nacimiento.

El Estado por su parte estaba creando recursos con la misma especie, principalmente en las hoy regiones de O'Higgins y Maule, y en la región del Bío Bío, para lo que poco después serían Celulosa Constitución y Celulosa Arauco, respectivamente.

No existe después de los trabajos de Albert y Peters mayor información respecto de investigación sobre especies exóticas, hasta que el Instituto Forestal inicia en 1961 una amplia y sistemática línea de investigación al respecto.

El Programa de Introducción de Especies del Instituto Forestal

En 1961, con la creación del Instituto Forestal, se da inicio a un programa sistemático de introducción de especies forestales al país. Se efectúa una zonificación geográfica general sobre la base de grandes grupos de suelos y, entre los años 1962 y 1975, se cubre el país con más de 60 ensayos, entre las Regiones de Coquimbo y Aysén, en los cuales se prueba unas 160 especies, tanto coníferas como latifoliadas.

En más de 8 mil parcelas pequeñas, de 49 plantas en los ensayos de la parte norte (hasta la Región de Valparaíso) y 100 plantas en aquellos de la parte sur, en un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones, se evalúa la adaptabilidad y desarrollo de una gran cantidad de especies durante más de 20 años.

Para los ensayos de la parte norte las plantas eran producidas en macetas de polietileno de 10 x 20 cm (1:M), el espaciamiento de plantación era de 3 x 3 m y la plantación se efectuaba sobre surcos, previa limpia manual o a fuego. Para aquellos de la parte sur en tanto, las plantas se producían a raíz desnuda (1.0 en general y 1:1 a 1:2 en el caso de algunas coníferas), el espaciamiento era de 2 x 2 m y la plantación se efectuaba en hoyos practicados con azapico o pala plantadora, previa limpia manual o a fuego. Métodos que en aquellos años era los tradicionales en el país.

En general no se consideraban replantes. El diseño original contemplaba también 3 repeticiones en el tiempo en cada lugar, pero esto en general no fue posible, dadas las limitaciones en la provisión de semillas, tanto en calidad como en oportunidad.

Los primeros ensayos del programa fueron establecidos el año 1962 en 5 lugares entre las Regiones del Bío Bío y Aysén, en los que se incluyeron solo coníferas. En 1963 se instalan 4 ensayos más en los que se empieza a incluir eucaliptos y otras latifoliadas, y ya a partir de 1964 se amplía el programa en materia de especies y ensayos.

La mayor parte de los ensayos fue establecida entre los años 1964 y 1969. El programa contempló un seguimiento de estos con una medición de supervivencia (%) y altura (m) un mes después de la plantación y después mediciones sucesivas a las edades de 1, 3 y 5 años, para repetir las posteriormente cada 5 años. El DAP (diámetro a la altura del pecho) se empieza a medir en todo ejemplar cuando alcanza un mínimo de 5 cm para esta variable. Todo esto en una parcela central de 25 plantas, tanto en los ensayos del norte como en los del sur.

Las sucesivas evaluaciones de los diferentes ensayos entregaron progresivamente información sobre la respuesta de las especies en los distintos sitios y tempranamente empezaron a destacar varias especies de eucaliptos por su rápido y vigoroso crecimiento, que sobrepasaba notablemente en muchos casos los alcanzados por *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*.

Barros *et al.* (1979; 1979a) hacen una evaluación completa de estas experiencias, destacan los resultados en los distintos ensayos, hacen una nueva zonificación del país, determinan la cobertura geográfica de los ensayos existentes y definen las necesidades de ensayos complementarios para completar la cobertura. En esta evaluación se incorpora también algunos ensayos de otras instituciones, como la Universidad de Chile, la Universidad Austral y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Prado *et al.* (1986) hacen una evaluación de este programa de investigación y entregan información detallada sobre el desarrollo de una cantidad de especies a través del país de acuerdo a la zonificación geográfica mencionada, basada en condiciones de clima y suelos, más detallada que la inicialmente utilizada en el programa original.

Tres años después, Prado y Barros (1989) entregan información adicional sobre resultados del programa, esta vez referida a eucaliptos e incorporando también resultados de investigaciones adicionales sobre producción de plantas en vivero, técnicas de establecimiento de plantaciones, selección de procedencias de semillas y otros aspectos.

En la información publicada por Prado y Barros (1989) destacan los resultados obtenidos con especies como *Eucalyptus nitens*, *E. delegatensis* y *E. regnans*, que en buenos sitios costeros de la región del Bío Bío registran crecimientos por sobre los 50 m³/ha/año (hasta 77 m³/ha/año en el caso de *E. nitens*) a los 15 años de edad, valores muy superiores a los registrados en el mismo sector por *Eucalyptus globulus* (44 m³/ha/año) y *Pinus radiata* (34 m³/ha/año) a igual edad.

Los resultados de investigaciones adicionales incluidos por Prado y Barros (1989) indican que INFOR ha introducido al país, con muy buenos resultados, las técnicas de producción de plantas en contenedores y las prácticas intensivas de establecimiento de plantaciones que incluyen control de competencia, preparación del suelo y fertilización inicial.

En términos generales, la información entregada por Prado y Barros (1989) se refiere a la zona semiárida, a la zona central y a la zona sur del país. No se incluye la zona norte (La Serena al norte), donde las posibilidades de forestación se limitan solo a los valles y otros sectores con disponibilidad de agua o a un reducido número de especies especialmente resistentes a las restricciones hídricas, tampoco se incluye la zona austral (Regiones de Aysén y Magallanes), por no estar cubiertas por el conjunto de ensayos del programa de introducción de especies.

Barros *et al.* (1979a) habían desarrollado una zonificación del país para los efectos del programa, basada en una combinación cartográfica de información de suelo y clima, subdividiendo el país desde Coquimbo a Los Lagos en tres grandes regiones de norte a sur:

Región Mediterránea Semiárida. Coquimbo a Curicó, prolongándose hasta el sur de Talca por el valle central. Temperaturas medias anuales de 14 a 15° C y precipitaciones medias anuales de 100 a 700 mm.

Región Mediterránea Central. Curicó a Temuco. Temperaturas medias anuales de 12 a 14° C y precipitaciones medias anuales de 700 a 1.800 mm.

Región Oceánica de Los Lagos. Temuco a sur de Puerto Montt. Temperaturas medias anuales de 11 a 12° C y precipitaciones medias anuales de 1.800 a 2.350 mm.

Cada una de estas grandes regiones fue subdividida a su vez en las denominadas Unidades Edafoclimáticas Homogéneas, dentro de cada una de las cuales se asume una cierta uniformidad de condiciones generales de suelo y clima.

De estas unidades, aquellas que tenían al menos un ensayo representativo dentro de sus límites fueron consideradas unidades cubiertas por el programa y los resultados en ella obtenidos se suponen válidos para toda la unidad.

Las evaluaciones y resultados entregados por Prado *et al.* (1986) sobre el programa general y por Prado y Barros (1989) sobre eucaliptos en particular están basadas en la zonificación de Barros *et al.* (1979a), en consecuencia entregan resultados para cada una de las grandes regiones y de acuerdo a la unidades edafoclimáticas cubiertas por los ensayos.

Las Especies en las Plantaciones Forestales

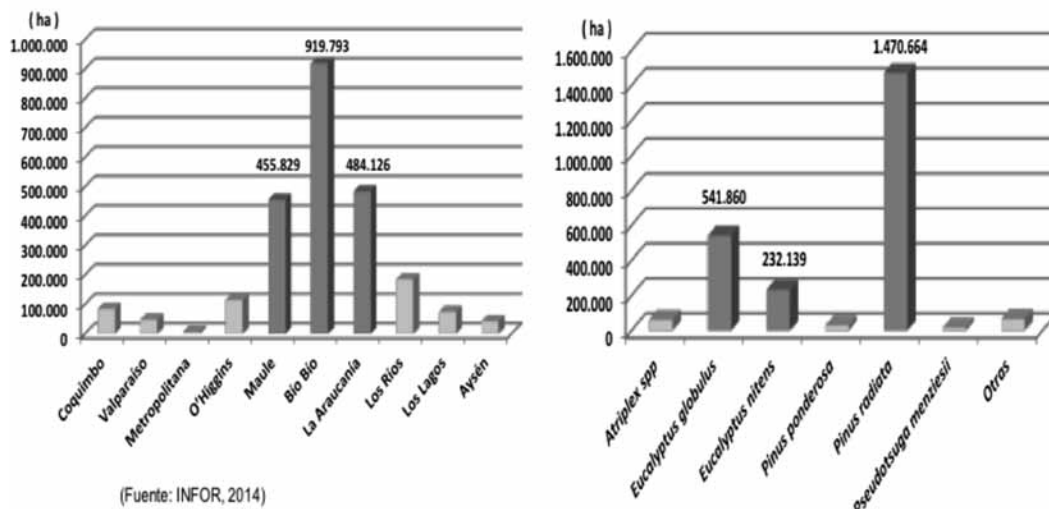
INFOR, dentro de su programa permanente Inventario Forestal Continuo de los Ecosistemas Forestales, actualiza anualmente la superficie de plantaciones forestales en el país y, periódicamente, por regiones, las existencias volumétricas en estas.

A diciembre de 2012 la superficie de plantaciones forestales alcanza a 2.414.391 ha y su distribución según regiones y especies es la que se indica en el Cuadro N° 1 y Figura N° 4.

Se puede apreciar que las regiones del centro sur del país (Maule a La Araucanía) concentran el 77% de la superficie de plantaciones; el 87% de aquellas de pino radiata, el 76% de las de *Eucalyptus globulus* y el 61% de las de *Eucalyptus nitens*.

Cuadro N° 1
SUPERFICIE DE PLANTACIONES FORESTALES POR REGIÓN Y ESPECIE 2012

Región	<i>Atriplex</i> <i>spp</i>	<i>Eucalyptus</i> <i>globulus</i>	<i>Eucalyptus</i> <i>nitens</i>	<i>Pinus</i> <i>ponderosa</i>	<i>Pinus</i> <i>radiata</i>	<i>Pseudotsuga</i> <i>menziesii</i>	Otras	Total
(ha)								
Coquimbo	60.814	2.762					20.509	84.049
Valparaíso		38.014			8.688		1.096	47.798
Metropolitana		5.936			17		362	6.315
O'Higgins		42.510	14		68.852		3.208	114.584
Maule		43.293	1.741		406.479	217	4.099	455.829
Biobío		220.148	84.058	690	605.409	388	9.100	919.793
La Araucanía		148.221	56.256	2.746	265.343	6.606	4.954	484.126
Los Ríos		19.276	56.584	3	99.839	3.682	5.470	184.854
Los Lagos		21.736	33.481	237	16.037	743	2.009	74.243
Aysén			5	24.404		4.334	14.057	42.800
Total	60.814	541.860	232.139	28.080	1.470.664	15.970	64.864	2.414.391



(Fuente: INFOR, 2014)

Figura N° 4
SUPERFICIE DE PLANTACIONES FORESTALES POR REGIÓN Y ESPECIE

En cuanto a las especies en las plantaciones, domina pino radiata con un 61%, seguida de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*) con un 32% y otras especies con un 7%. La participación de pino radiata en las plantaciones ha disminuido significativamente en los últimos años; en diciembre de 1990 esta era de un 85%, año en el que la superficie de plantaciones de eucaliptos era de solo 102 mil hectáreas.

Posteriormente, y en buena parte como producto de los resultados de las investigaciones de INFOR sobre crecimiento de diferentes especies del género *Eucalyptus* y sobre la silvicultura de estas, la forestación con eucaliptos ha aumentado y además se ha producido un progresivo cambio de especies de pino a eucaliptos en la reforestación, principalmente en el segmento de pequeños y medianos propietarios, y la superficie plantada con eucaliptos a diciembre de 2012 ha llegado ya a 774 mil hectáreas.

Respecto de otras especies, además de las indicadas en el Cuadro N° 1; *Atriplex* spp. (principalmente *A. nummularia*), *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*, existen superficies menores de otros eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. cladocalyx*, *E. delegatensis*, *E. regnans*, *E. sideroxylon*, *E. viminalis*, y las subespecies de *E. globulus*; *E. globulus* ssp *bicostata* y *E. globulus* ssp *maideni*), de otros pinos (*P. contorta*, *P. pinea*, *P. sylvestris*) y de otras especies de los géneros *Acacia* (*A. dealbata*, *A. melanoxylon*, *A. mearnsii* y *A. saligna*) y *Larix* (*Larix decidua*).

Lo anterior sin contar varias especies de diversos géneros como *Castanea*, *Juglans* y *Prunus*, que se cultivan principalmente en suelos agrícolas regados para producción de frutos (castañas, nueces, cerezas), pero que se las puede usar también en cultivos de doble propósito, produciendo los frutos y al final madera de alto valor

Tampoco considera diversas especies, variedades y cultivares del género *Populus*, que son cultivadas en similares condiciones para la producción de madera y chapas, en cortas rotaciones.

Existe también una cantidad de especies, de géneros como *Acer*, *Aesculus*, *Cedrus*, *Grevillea*, *Liquidambar*, *Liriodendron*, *Quercus* y muchos otros, usadas como ornamentales en calles, plazas y parques en el país, que en ciertos casos podrían ser plantadas para la producción de madera, de muy buena calidad, como aquellas de los géneros *Aesculus* y *Quercus*, por ejemplo.

LOS RECURSOS GENÉTICOS DE ESPECIES EXÓTICAS

La revisión del programa de introducción de especies efectuada por Barros *et al.* (1979; 1979a) indicó que estaban incluidas en los ensayos unas 160 especies. Posteriormente se han establecido diversos ensayos complementarios, originados en diferentes líneas de investigación de INFOR, que han elevado esta cantidad de especies a 206; 42 del género *Acacia*, 97 del género *Eucalyptus* y 27 del género *Pinus*, además de 40 otras especies de distintos géneros de coníferas y latifoliadas (Cuadro N° 2).

Esto no considera subespecies, variedades, híbridos, cultivares, procedencias y otras variantes en el material genético involucrado, caso contrario este último número se duplicaría o más.

En el Cuadro N° 2 se puede apreciar que se trata de una gran cantidad de especies de una variedad de géneros de latifoliadas y coníferas que han sido probadas, en distintos momentos y con diferentes fines, desde la región de Coquimbo hasta la región de Aysén.

Cuadro N° 2
ESPECIES EN LOS ENSAYOS

<i>Acacia acuminata</i>	<i>Cedrus atlantica</i>	<i>Eucalyptus loxophleba</i>	<i>Eucalyptus woodwardii</i>
<i>Acacia adsurgens</i>	<i>Cedrus deodara</i>	<i>Eucalyptus macarthurii</i>	<i>Fraxinus pensylvanica</i>
<i>Acacia alba</i>	<i>Ceratonia siliqua</i>	<i>Eucalyptus marginata</i>	<i>Gleditsia triacanthos</i>
<i>Acacia aneura</i>	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Eucalyptus melanophloia</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Acacia brachystachya</i>	<i>Cupressus arizonica</i>	<i>Eucalyptus melliodora</i>	<i>Larix eurolepis</i>
<i>Acacia calamifolia</i>	<i>Cupressus macrocarpa</i>	<i>Eucalyptus microtheca</i>	<i>Larix leptolepis</i>
<i>Acacia cambagei</i>	<i>Cupressus sempervirens</i>	<i>Eucalyptus muellerana</i>	<i>Parkinsonia aculeata</i>
<i>Acacia coriacea</i>	<i>Cupressus torulosa</i>	<i>Eucalyptus niphophila</i>	<i>Picea abies</i>
<i>Acacia cowleana</i>	<i>Eucalyptus aggregata</i>	<i>Eucalyptus nitens</i>	<i>Picea sitchensis</i>
<i>Acacia cyclops</i>	<i>Eucalyptus amigdalina</i>	<i>Eucalyptus obliqua</i>	<i>Pinus attenuata</i>
<i>Acacia dealbata</i>	<i>Eucalyptus astringens</i>	<i>Eucalyptus occidentalis</i>	<i>Pinus ayacahuite</i>
<i>Acacia deanei</i>	<i>Eucalyptus behriana</i>	<i>Eucalyptus oleosa</i>	<i>Pinus brutia</i>
<i>Acacia decurrens</i>	<i>Eucalyptus blakeli</i>	<i>Eucalyptus oreades</i>	<i>Pinus canariensis</i>
<i>Acacia estrophilata</i>	<i>Eucalyptus bosistoana</i>	<i>Eucalyptus ovata</i>	<i>Pinus contorta</i>
<i>Acacia farnesiana</i>	<i>Eucalyptus botryoides</i>	<i>Eucalyptus oxymitra</i>	<i>Pinus coulteri</i>
<i>Acacia hakeoides</i>	<i>Eucalyptus brockwayi</i>	<i>Eucalyptus pauciflora</i>	<i>Pinus densiflora</i>
<i>Acacia holocercea</i>	<i>Eucalyptus calicogona</i>	<i>Eucalyptus pilularis</i>	<i>Pinus elliotii</i>
<i>Acacia kempeana</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus polybractea</i>	<i>Pinus eldarica</i>
<i>Acacia ligulata</i>	<i>Eucalyptus cinerea</i>	<i>Eucalyptus propiniana</i>	<i>Pinus jeffreyi</i>
<i>Acacia longifolia</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus pulchella</i>	<i>Pinus lambertiana</i>
<i>Acacia meamsii</i>	<i>Eucalyptus cladocalyx</i>	<i>Eucalyptus punctata</i>	<i>Pinus leiophylla</i>
<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Eucalyptus comuta</i>	<i>Eucalyptus pyrocarpa</i>	<i>Pinus michoacana</i>
<i>Acacia monticola</i>	<i>Eucalyptus dalrympleana</i>	<i>Eucalyptus quadrangulata</i>	<i>Pinus montezumae</i>
<i>Acacia murrayana</i>	<i>Eucalyptus deanei</i>	<i>Eucalyptus radiata</i>	<i>Pinus muricata</i>
<i>Acacia nilotica</i>	<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Eucalyptus regnans</i>	<i>Pinus nigra</i>
<i>Acacia oswaldii</i>	<i>Eucalyptus delegatensis</i>	<i>Eucalyptus resinifera</i>	<i>Pinus patula</i>
<i>Acacia parramattensis</i>	<i>Eucalyptus diversicolor</i>	<i>Eucalyptus robusta</i>	<i>Pinus pinaster</i>
<i>Acacia pence</i>	<i>Eucalyptus dives</i>	<i>Eucalyptus rubida</i>	<i>Pinus ponderosa</i>
<i>Acacia pendula</i>	<i>Eucalyptus dumosa</i>	<i>Eucalyptus rudis</i>	<i>Pinus radiata</i>
<i>Acacia pruinocarpa</i>	<i>Eucalyptus dundasii</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Pinus roxburghii</i>
<i>Acacia pycnantha</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>	<i>Eucalyptus salmonophloia</i>	<i>Pinus rudis</i>
<i>Acacia rigens</i>	<i>Eucalyptus elata</i>	<i>Eucalyptus salubris</i>	<i>Pinus sabiniana</i>
<i>Acacia salicina</i>	<i>Eucalyptus fastigata</i>	<i>Eucalyptus sargentii</i>	<i>Pinus strobus</i>
<i>Acacia saligna</i>	<i>Eucalyptus flocktoniae</i>	<i>Eucalyptus sheatiana</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Acacia senegal</i>	<i>Eucalyptus fraxinoides</i>	<i>Eucalyptus sideroxylon</i>	<i>Pinus taeda</i>
<i>Acacia silvestris</i>	<i>Eucalyptus fruticetorum</i>	<i>Eucalyptus sieberi</i>	<i>Pinus virginiana</i>
<i>Acacia stenophylla</i>	<i>Eucalyptus ganophylla</i>	<i>Eucalyptus smithii</i>	<i>Populus alba</i>
<i>Acacia tenuissima</i>	<i>Eucalyptus globulus ssp globulus</i>	<i>Eucalyptus socialis</i>	<i>Populus canadense</i>
<i>Acacia tetragonophylla</i>	<i>Eucalyptus globulus ssp maideni</i>	<i>Eucalyptus stellulata</i>	<i>Populus carolinensis</i>
<i>Acacia tortilis</i>	<i>Eucalyptus globulus ssp bicostata</i>	<i>Eucalyptus striatocalyx</i>	<i>Populus deltoides</i>
<i>Acacia validinervia</i>	<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	<i>Eucalyptus striklandii</i>	<i>Populus x euramericana</i>
<i>Acacia victoriae</i>	<i>Eucalyptus gongylocarpa</i>	<i>Eucalyptus tereticomis</i>	<i>Populus mussolini</i>
<i>Acer negundo</i>	<i>Eucalyptus goniocalyx</i>	<i>Eucalyptus terminalis</i>	<i>Populus nigra</i>
<i>Acer platanoides</i>	<i>Eucalyptus gracilis</i>	<i>Eucalyptus tessellaris</i>	<i>Salix alba</i>
<i>Acer saccharum</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus thozetiana</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
<i>Agathis robusta</i>	<i>Eucalyptus gunnii</i>	<i>Eucalyptus torquata</i>	<i>Quercus suber</i>
<i>Albizia lophanta</i>	<i>Eucalyptus intertexta</i>	<i>Eucalyptus torrelliana</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
<i>Betula alba</i>	<i>Eucalyptus laevopinea</i>	<i>Eucalyptus transcontinentalis</i>	<i>Sequoia gigantea</i>
<i>Brachichiton populneum</i>	<i>Eucalyptus largiflorens</i>	<i>Eucalyptus trivalvis</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	<i>Eucalyptus lesouefii</i>	<i>Eucalyptus viminalis</i>	<i>Taxodium distichum</i>
<i>Casuarina fraseriana</i>	<i>Eucalyptus leucoxylon</i>	<i>Eucalyptus viridis</i>	
<i>Casuarina stricta</i>	<i>Eucalyptus longicomis</i>	<i>Eucalyptus wandoo</i>	

Desde los inicios del programa de introducción de especies ha habido reclasificación de algunas de ellas. Por ejemplo *Eucalyptus fruticetorum* cambió a *Eucalyptus polybractea*; *Eucalyptus citriodora* y *E. maculata* son ahora *Corymbia citriodora* y *C. maculata*; las subespecies de *Eucalyptus globulus* eran antes especies separadas, *E. bicostata* y *E. maideni*; algunas procedencias de *Acacia mearnsii* son *A. parramattensis*; la procedencia Errinundra de *Eucalyptus nitens* ahora es *E. denticulata*.

Para los ensayos a través de las regiones del país se seleccionaba un conjunto de especies a probar de acuerdo principalmente a las posibilidades productivas que pudieran ofrecer. Para cada ensayo en particular en tanto se seleccionaba las especies a incorporar mediante comparación climática origen-destino.

Por razones naturales, dadas por la baja adaptación de especies, expresada en escasa supervivencia y reducido crecimiento, y por razones ajenas a los ensayos, como incendios, levantamiento de cercos e ingreso de ganado, daños por lagomorfos y otras, las pérdidas de parcelas e incluso de ensayos completos eran frecuentes. Las pérdidas de parcelas o ensayos por razones naturales representan un resultado de la investigación, en tanto que las pérdidas por razones ajenas eran evidentemente accidentes indeseables que hacían perder recursos y valioso material de propagación.

Como se indicó anteriormente, los ensayos eran medidos en forma periódica de modo tal que para la gran mayoría de las especies listadas en el Cuadro N° 2 se dispone de información, aunque en muchos casos esta sea solo de los primeros años o sea negativa en cuanto a la respuesta de las especies al sitio.

Las evaluaciones y resultados de ensayos (Barros *et al.*, 1979; Barros *et al.*, 1979a; Prado *et al.*, 1986; Prado y Barros, 1989) concluyeron en una selección de especies, que por su positiva adaptabilidad y sus buenos resultados en supervivencia y desarrollo, son recomendables para la forestación en diferentes regiones del país.

De acuerdo con las grandes regiones y la zonificación del país de Barros *et al.* (1979a) y las sistematizaciones de resultados de Prado *et al.* (1986) y Prado y Barros (1989) es posible indicar especies en tres categorías para la regiones Mediterránea Semiárida, Mediterránea Central y Oceánica de Los Lagos (Figuras N° 5, N° 6 y N° 7).

Una primera categoría (recuadro sombreado en las figuras indicadas) conformada por especies que como resultado de las investigaciones de INFOR fueron recomendadas como apropiadas para la forestación en diferentes unidades edafoclimáticas de la región y que representan actualmente un recurso genético forestal de importancia, dado que o existen plantaciones de alguna extensión que constituyen poblaciones base en el país o existe material genético suficiente como para crear estas poblaciones base, dado que diferentes investigaciones de INFOR han introducido posteriormente colecciones de procedencias o de procedencia-progenie. En algunos casos puede ser conveniente una evaluación del material genético disponible para comprobar su grado de variabilidad genética y ver si es necesario ampliarlo con colecciones de procedencias adicionales.

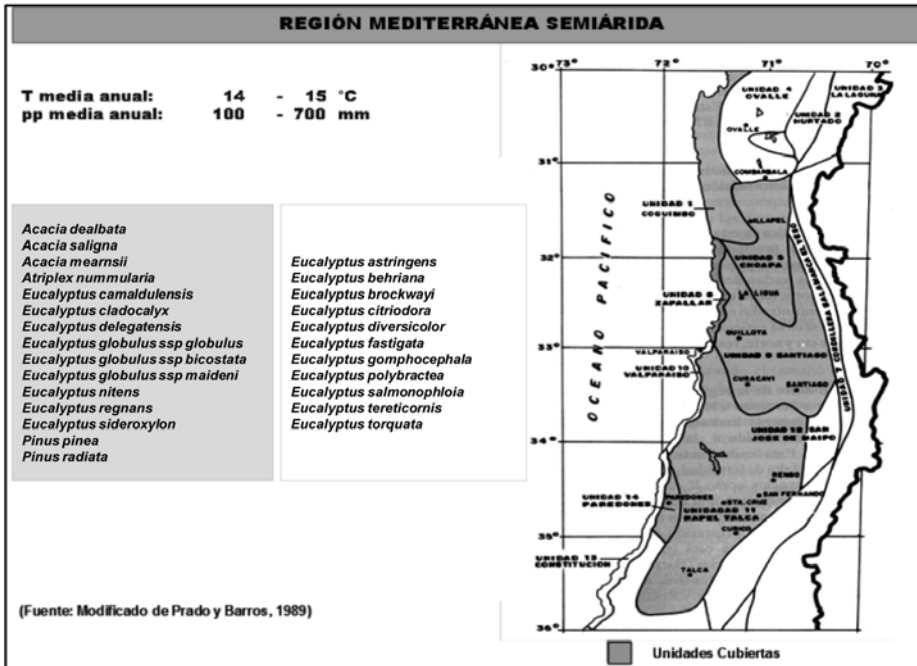


Figura N° 5
ESPECIES PARA LA REGIÓN MEDITERRÁNEA SEMIÁRIDA

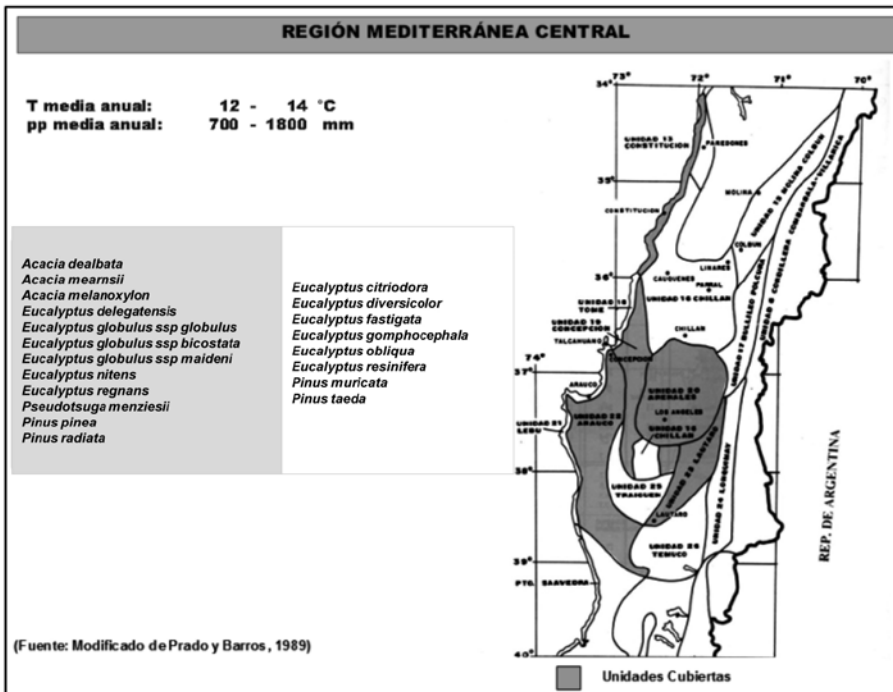


Figura N° 6
ESPECIES PARA LA REGIÓN MEDITERRÁNEA CENTRAL

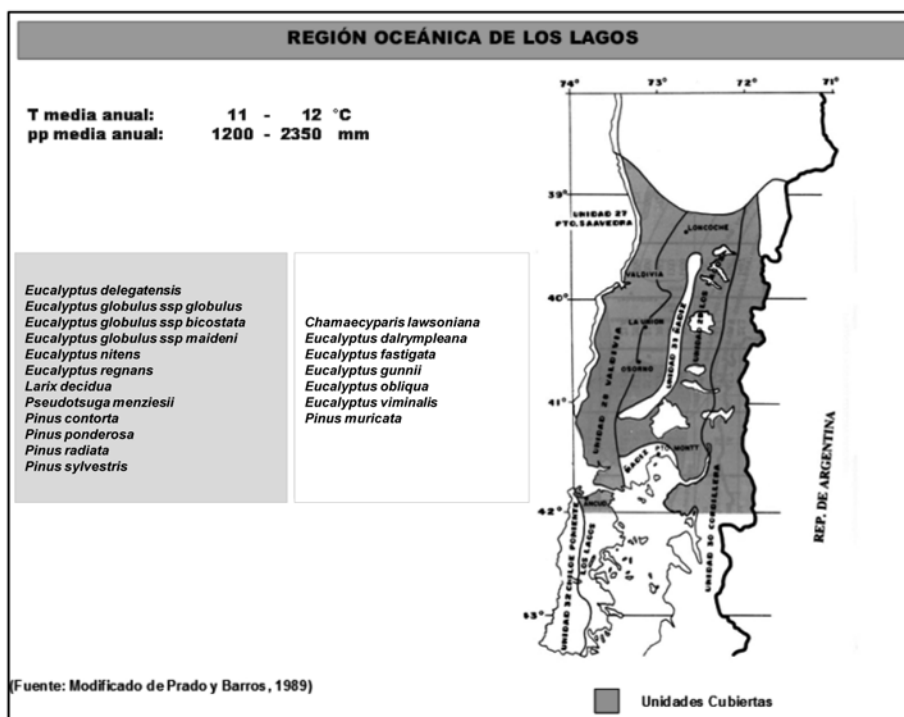


Figura N° 7
ESPECIES PARA LA REGIÓN OCEÁNICA DE LOS LAGOS

Una segunda categoría (recuadro blanco en las figuras indicadas) incluye especies con resultados de desarrollo menores que las de la primera categoría o sobre las cuales la información reunida desde los ensayos no resultaba suficiente como para incluirlas en la primera lista. Estas especies, por ejemplo, estaban presentes en menos ensayos o presentaban supervivencias menores, pero con ejemplares de buen crecimiento, o las parcelas habían sido alteradas o dañadas. Representan también alternativas para la forestación en la región, pero en términos de recursos genéticos no existen poblaciones base, solo bosquetes o parcelas aún remanentes en algunos de los ensayos originales, por lo que se requiere al menos de la introducción de colecciones de procedencias adicionales para iniciar la creación de poblaciones base.

Existe una tercera categoría, que es la que se podría extraer del listado total de especies que han sido probadas (Cuadro N° 2) y de la información disponible para la mayoría de ellas, que puede ser de importancia cuando ha habido resultados iniciales positivos o cuando resultados negativos se han debido a razones exógenas. Como ejemplo, especies del género *Acacia* en la Región Mediterránea Semiárida, con las cuales en muchos casos se obtenían buenos resultados iniciales, pero las parcelas eran sistemáticamente destruidas por caprinos o lagomorfos.

Desde el punto de vista de los recursos genéticos disponibles tienen gran importancia los correspondientes a las especies de la primera categoría, no obstante también la tiene la

información de las otras dos categorías, en especial de la segunda dado que se trata de especies que ya se sabe prosperan en diferentes sitios del país y solo faltaría traer colecciones de semilla adecuadas desde su distribución natural para conformar poblaciones base.

La información rescatable de la tercera categoría es valiosa como base para futuros ensayos, en los que se puede incluir especies que están en casos como los señalados, buenas respuestas iniciales o pérdida de las parcelas por razones ajenas a los ensayos, o evitar la inclusión de otras que claramente no mostraron adaptación a las condiciones del país.

El objetivo de este documento no es entregar resultados de ensayos e investigaciones sobre introducción de especies, ni sobre el crecimiento de las especies seleccionadas a través de las regiones y de las unidades edafoclimáticas dentro de ellas, sino destacar en primer lugar aquellas especies que constituyen, a la luz de estas investigaciones, un recurso genético de importancia en ellas (recuadro sombreado en las figuras) y en segundo lugar aquellas que podrían constituirlo si se crean las poblaciones base necesarias (recuadro blanco en las figuras).

Sin embargo, es preciso notar que las regiones son amplias y que las especies mencionadas en cada una de ellas no son necesariamente adecuadas para su uso en toda la región.

En el caso de la Región Mediterránea Semiárida, esta se extiende desde Coquimbo hasta el sur de Talca, rango latitudinal en el que se presentan precipitaciones medias anuales de menos de 100 mm a más de 700 mm, de modo que dentro de las especies de ambas categorías las habrán apropiadas para la parte norte de la región (Ej. *Atriplex nummularia*, *Eucalyptus torquata*) y otras para la parte sur poniente (Ej. *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus fastigata*).

En la Región Mediterránea Central la variación latitudinal de las condiciones climáticas no es tan extrema desde el punto de vista de la vida vegetal y es en esta región donde se encuentran los mejores sitios para plantaciones forestales del país, zona costera de Concepción y Arauco en especial.

Sin embargo, en la parte norte de la región persiste la presencia de un período seco relativamente prolongado y en la parte sur, en zonas interiores y de precordillera, las bajas temperaturas mínimas absolutas aparecen como limitantes para la supervivencia y desarrollo de muchas de las especies.

De acuerdo a lo anterior, *Eucalyptus citriodora* por ejemplo, podría ser una alternativa solo en ciertos sectores del extremo norte de la región, en tanto que *Pseudotsuga menziesii* por ejemplo, aparece como particularmente apropiado para sectores del sur oriente de la región.

La Región Oceánica de Los Lagos no es tan amplia latitudinalmente como las anteriores y presenta variaciones climáticas menos extremas para la vida vegetal, las limitaciones hídricas tienen menor importancia relativa, pero las bajas temperaturas mínimas absolutas se hacen más limitantes, hacia el sur y hacia el oriente de la región. Es así como las especies tradicionalmente usadas en plantaciones en el país, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, pierden importancia relativa y resultan apropiadas para sectores del norte y poniente de la región, en tanto que *Eucalyptus nitens* y algunas coníferas adquieren mayor relevancia en sectores interiores y hacia el sur.

EL ROL DETERMINANTE DE LA INVESTIGACIÓN

Investigación Silvícola 1962 – 1975

Mediante su programa de introducción de especies forestales al país INFOR acumuló información sobre la adaptación, crecimiento y rendimiento de una cantidad de especies de rápido crecimiento, donde destacaron principalmente aquellas del género *Eucalyptus*.

Sin embargo, los ensayos de introducción de especies fueron establecidos empleando los entonces tradicionales métodos de producción de plantas y establecimiento de plantaciones en el país, no siempre los más adecuados como se demostró más tarde.

La selección de especies para el mencionado programa fue efectuada considerando las expectativas productivas en cada caso y mediante comparación climática origen destino. La procedencia de las semillas fue la determinada por los proveedores (Ej. TSC-CSIRO³ en el caso de Australia) de acuerdo a la información proporcionada por INFOR sobre los distintos sitios de ensayo, considerándose usualmente solo una procedencia para cada sitio de ensayo.

Si bien se obtuvieron importantes resultados sobre la adaptación y crecimiento de numerosas especies y ya se identificaban especies que claramente aparecían como muy apropiadas para la forestación en diferentes sitios del país, surgían en forma también muy clara nuevas necesidades de investigación; era preciso avanzar hacia mejores técnicas de viverización de plantas y de establecimiento de plantaciones.

Se hacía también ya ineludible incorporar la selección de procedencias de semillas, para continuar después con el manejo silvícola de las plantaciones y abordar el mejoramiento genético con aquellas especies más destacadas.

Investigación Silvícola 1970 – 1990

En la medida que se obtenían resultados en la selección de especies, se iniciaban investigaciones complementarias sobre su silvicultura y nuevas técnicas eran adaptadas y adoptadas.

Las principales investigaciones desarrolladas por INFOR en esta etapa se orientaron a:

- **Producción de Plantas**

- Colecta de semillas, almacenamiento y manejo, incluyendo pretratamiento de semillas para diferentes especies.

- Producción de plantas a raíz desnuda

- Producción de plantas en contenedores

- Producción de plantas al aire libre y manejo de sombra

³ Tree Seed Centre, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra, Australia.

Producción de plantas en ambiente controlado (invernaderos)

Tipos de sustratos

Fertilización asociada a riego

Protección fitosanitaria

- **Establecimiento de Plantaciones**

Preparación de suelos: Casillas, surcos, subsolado y otros.

Control de competencia: Malezas y vegetación menor.

Fertilización inicial

Riego inicial

- **Espaciamiento de Plantación**

Dependiente principalmente de la calidad del sitio y del objetivo productivo.

Todas las nuevas técnicas adoptadas, como la producción de plantas en contenedores y bajo ambiente controlado y una intensiva preparación de suelos, con control de competencia y fertilización inicial, son hoy ampliamente empleadas en el país, principalmente con eucaliptos.

- **Procedencia de Semillas**

Se inició la selección de procedencias de semillas para las principales especies del género *Eucalyptus*, proceso que se intensificó posteriormente, encontrándose procedencias destacadas para las principales especies:

Eucalyptus globulus

Otway and Lorne	VIC ⁴
Cape Barren	TAS
Flinders Island	TAS
Geeveston, Dover, Mogara	TAS
Hentley River	TAS
Jeerelang	TAS
Toora	VIC
Jericho	TAS
Nugent	TAS
King Island	TAS

Eucalyptus nitens

Toorongo Plateau	VIC
------------------	-----

4 Estados de Australia. VIC: Victoria; TAS: Tasmania; NSW: New South Wales.

Rubicon	VIC
Macalister	VIC
Tallaganda	NSW
Barrington Tops	NSW
<i>Eucalyptus delegatensis</i>	
Rubicon	VIC
Marysville	VIC
<i>Eucalyptus viminalis</i>	
Elliot Rd Otway	VIC
Bonang	VIC
Fawcett	TAS
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	
Lake Albacutya	VIC
Lake Hindmarsh	VIC
Lowan Valley Saline	VIC

Investigación Silvícola desde 1990

En los años 90 ya se consolidaban las plantaciones de eucaliptos en el país e INFOR concentraba sus esfuerzos hacia el mejoramiento genético de las principales especies, mejoramiento que inicialmente buscaba mayores rendimientos en volumen, pero que después fue reorientándose a objetivos más específicos, como resistencia a limitaciones hídricas en zonas hacia el norte y a frío en zonas hacia el sur y precordillera. Además se iniciaron líneas de mejoramiento orientadas a fines productivos en particular, como el rendimiento en los procesos de pulpaje y el rendimiento en madera sólida para productos de mayor valor, como madera aserrada y chapas, especialmente para *E. globulus* en el primer caso y *E. nitens* en el segundo.

Se continuó con las selecciones de procedencias, pero se incorporó también la componente progenies en ensayos procedencia-progenie (ya iniciados en los años 80 con algunas especies), fueron establecidas áreas de producción de semillas y huertos semilleros, se investiga en los campos de la polinización abierta y controlada, en la propagación vegetativa, en la hibridación y se entró en el campo de la silvicultura clonal.

Fueron establecidos ensayos de raleos y podas para producción de madera sólida y se iniciaron estudios en áreas como el aserrío, debobinado y foliado, y el secado de la madera, orientados al mismo fin.

INFOR tiene actualmente un fuerte programa de mejoramiento genético en eucaliptos en colaboración con las principales empresas forestales privadas del país y también un programa específico en el caso de *E. nitens* con medianos propietarios y medianas empresas.

Las investigaciones realizadas hasta ahora han permitido distinguir, desde el punto de vista de los recursos genéticos forestales, dos grupos de especies exóticas que representan recursos genéticos actual o potencialmente disponibles para la forestación en diferentes regiones del país, de acuerdo a lo indicado anteriormente en las Figuras N° 5, N° 6 y N° 7 según las grandes regiones del programa de introducción de especies de INFOR.

El primer grupo, constituido por 21 especies, está conformado por aquellas que ya están presentes, en diferentes grados, en las actuales plantaciones forestales del país y respecto de las cuales se conoce lo principal de su silvicultura. Para varias de ellas se ha validado o ampliado su base genética mediante la incorporación de nuevas colecciones de procedencias traídas desde sus áreas de origen y se encuentran en marcha programas de mejoramiento genético.

Este primer grupo representa recurso genéticos actuales y todas estas especies deben ser incorporadas a la Nómina de Recursos Genéticos Forestales publicada por INFOR y FIA en 2012 (Ipinza *et al.*, 2012), actualizando esta.

El segundo grupo, compuesto por 20 especies, respecto de las cuales existe menos conocimiento, pero sí información suficiente para considerarlas adecuadas para la forestación en las distintas regiones del país, está conformado por aquellas presentes en pequeñas plantaciones o en parcelas experimentales de diferentes investigaciones de INFOR.

Este segundo grupo de especies se podrá incorporar a la nómina indicada en la medida que sus plantaciones se expandan y su base genética se valide o amplíe, de modo tal de constituir poblaciones base para la provisión de material de propagación local para nuevas plantaciones en el país y para el desarrollo de programas de mejoramiento genético.

Recursos Genéticos - Especies Exóticas

<i>Acacia dealbata</i>	<i>Eucalyptus nitens</i>
<i>Acacia mearmsii</i>	<i>Eucalyptus regnans</i>
<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
<i>Acacia saligna</i>	<i>Larix decidua</i>
<i>Atriplex nummularia</i>	<i>Pinus contorta</i>
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Pinus pinea</i>
<i>Eucalyptus cladocalyx</i>	<i>Pinus ponderosa</i>
<i>Eucalyptus delegatensis</i>	<i>Pinus radiata</i>
<i>Eucalyptus globulus ssp bicostata</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Eucalyptus globulus ssp globulus</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
<i>Eucalyptus globulus ssp maideni</i>	

Recursos Genéticos Potenciales - Especies Exóticas

<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	<i>Eucalyptus obliqua</i>
<i>Eucalyptus astringens</i>	<i>Eucalyptus polybractea</i>
<i>Eucalyptus behriana</i>	<i>Eucalyptus resinifera</i>
<i>Eucalyptus brockwayi</i>	<i>Eucalyptus salmonophloia</i>
<i>Eucalyptus citriodora</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>
<i>Eucalyptus dalrympleana</i>	<i>Eucalyptus torquata</i>
<i>Eucalyptus diversicolor</i>	<i>Eucalyptus viminalis</i>
<i>Eucalyptus fastigata</i>	<i>Eucalyptus obliqua</i>
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	<i>Pinus muricata</i>
<i>Eucalyptus gunnii</i>	<i>Pinus taeda</i>

LA NECESARIA CONTINUIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Como se mencionó anteriormente, los grandes desafíos del sector forestal en la actualidad están dados principalmente por la recuperación y el manejo sostenible de los bosques nativos y por la forestación de grandes extensiones de suelos forestales descubiertos y bajo procesos de degradación. Las prioridades para enfrentar estos desafíos podrán variar a través de las diferentes regiones del país y la importancia relativa de los bosques nativos y las plantaciones forestales podrán ser distintas en una y otra. No obstante, cualquiera sea el caso, la creación y la conservación y mejoramiento de recursos genéticos forestales serán temas centrales.

Existen en el país importantes superficies de suelos forestales desarbolados, potencialmente disponibles para la forestación, no se dispone de cifras debidamente respaldadas al respecto, pero de acuerdo a un reciente estudio de INFOR (Ávila y Muñoz, 2014) solo en la región del Bío Bío, centro de la actividad forestal del país y donde ya hay unas 920 mil hectáreas de plantaciones, la superficie potencialmente disponible es aún de algo más de 350 mil hectáreas. Recurriendo nuevamente a la comparación entre las superficies de uso potencial y uso actual de los suelos (Figura N° 2), no resulta aventurado suponer que la superficie disponible para nuevas plantaciones forestales en el país es de varios millones de hectáreas.

Sin embargo, en la medida que se avance con las plantaciones hacia nuevas áreas, progresivamente se encontrarán condiciones de sitio menos favorables. Las plantaciones forestales del país están fuertemente concentradas entre las regiones del Maule y la Araucanía y principalmente en las áreas costeras, la cordillera de la costa y el valle central (Figura N° 8).

Dentro de esta zona del país, hacia la precordillera andina se enfrentarán limitantes dadas por menores temperaturas medias y por bajas temperatura mínimas absolutas, y en la parte norte algunos sectores del valle central presentarán limitantes dadas por baja disponibilidad hídrica permanente o temporal.

En regiones de más al sur la principal limitante serán las bajas temperaturas, situación agravada hacia la precordillera andina. En regiones de más al norte en tanto las limitantes estarán dadas por las menores precipitaciones medias y los prolongados períodos secos, principalmente en sectores interiores.

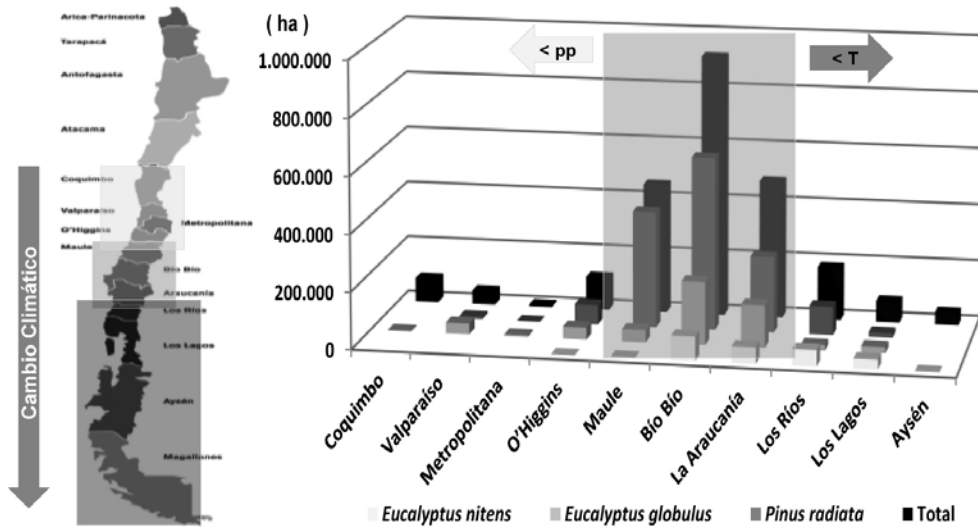


Figura N° 8
PLANTACIONES FORESTALES SEGÚN REGIÓN

Es necesario tener presente también que los efectos previstos del cambio climático global se manifestarían en el país, en términos muy generales, con reducciones de precipitaciones medias en la zona central y algunos aumentos de estas en zonas del sur, y en incrementos generales de 2 a 4° C en las temperaturas medias.

Estos cambios, en términos muy generales también, serían desfavorables en cuanto a acentuar las restricciones hídricas de la Región Mediterránea Semiárida y ampliar esta hacia el sur, principalmente a través del valle central, pero podrían resultar relativamente favorables desplazando hacia el sur las regiones Mediterránea Central y Oceánica de Los Lagos, con incrementos de precipitaciones medias en algunos sectores y, más importante en este caso, posiblemente moderando las restricciones por bajas temperaturas, situación que por ejemplo podría permitir el avance de las plantaciones forestales hacia la precordillera andina y hacia el sur, hacia la parte austral de la región de Los Lagos y hacia sectores de la región de Aysén.

En consecuencia, si bien existen amplias superficies de suelos disponibles para nuevas plantaciones forestales en el país, la expansión de estas enfrentará nuevos escenarios actuales y futuros, situación que la investigación silvícola debe prever.

En la ampliación de las plantaciones forestales, superficies importantes de las zonas donde se concentran las plantaciones actuales podrán ser forestadas con las especies tradicionalmente empleadas, pero en gran parte de los suelos disponibles más allá de estas zonas la forestación deberá ser enfrentada con especies de mayor resistencia a limitaciones hídricas o de bajas temperaturas.

Los recursos genéticos forestales de especies exóticas, actuales y potenciales, incluyen una variedad de especies para enfrentar estas limitantes para la expansión de las plantaciones. Se debe continuar y ampliar las líneas de investigación en mejoramiento genético con las principales de ellas, y se debe incorporar plenamente a otras en estos programas, como por ejemplo *Eucalyptus delegatensis*, *E. gunnii*, *E. regnans* y *E. viminalis*, para enfrentar condiciones frías, y *E. astringens*, *E. cladocalyx*, *E. sideroxylon* y *E. tereticornis*, para condiciones secas.

En particular para las especies que representan los recursos genéticos potenciales y con el fin de enriquecer las alternativas de especies para diferentes zonas del país, se debiera abordar al menos la constitución de poblaciones base locales, asegurando su amplitud genética mediante la introducción de adecuadas colecciones de procedencias.

Dada la variedad de condiciones de sitio que se enfrentará a futuro, en especial hacia los extremos norte, regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana; y sur, regiones de Aysén y Magallanes, muy probablemente los recursos genéticos actuales y potenciales de especies exóticas no resulten suficientes, razón por la cual sería muy conveniente abordar nuevas introducciones.

Estas nuevas introducciones pueden incluir para zonas frías en el sur algunas coníferas y algunas latifoliadas de hoja caduca, por ejemplo de los géneros *Abies*, *Picea*, *Populus*, y para la zona semiárida hacia el norte más especies por ejemplo de los géneros *Acacia* y *Eucalyptus*.

Para estas nuevas introducciones es indispensable tener presente que si las plantaciones protegen el suelo, capturan carbono y adicionalmente generan productos menores como leña o postes, su establecimiento es ya un éxito. Esta consideración es particularmente válida en las zonas semiáridas con precipitaciones menores a 300 mm anuales y períodos secos prolongados, situación que se prevé sería acentuada por los efectos del cambio climático.

En materia de manejo silvícola y en especial para productos de mayor valor, se debe continuar e intensificar las investigaciones para aquellas especies correspondientes a los recursos genéticos actuales e iniciarlas para aquellas correspondientes a los recursos genéticos potenciales. Espaciamiento de plantación, raleos, podas y longitud de la rotación son en esto temas cruciales y estas investigaciones deberán ser complementadas con otras referidas al desarrollo de productos de mayor valor, como madera aserrada, chapas y otros.

Solo como ejemplo respecto de lo anterior y de los resultados que entrega la investigación; Prado *et al.* (1986) analizan ensayos de introducción de especie en el predio Antiquina en la zona costera de la región del Bío Bío, cerca de Cañete, y Barros (1993) analiza ensayos de procedencias en el predio Los Copihues en la cordillera de la costa de la región de Los Ríos, cerca de Valdivia, y entregan los siguientes resultados (Cuadros N° 3 y N° 4). En estos ensayos, plantados en los años 60 el de Antiquina y en 1981 el de Los Copihues, quedan claramente en evidencia las grandes diferencias de crecimiento que es posible obtener con diferentes especies y con distintas procedencias de ellas.

Cuadro N° 3
DESARROLLO DE ESPECIES DEL GÉNERO *Eucalyptus*
PREDIO ANTIQUINA REGIÓN DEL BIO BIO

Especies	DAP (cm)	H (m)	S (%)	V (m³/ha)	CAM (m³/ha/año)
<i>Eucalyptus nitens</i>	23,7	22,9	86,6	1.152	77
<i>Eucalyptus regnans</i>	22,3	23,3	88,0	940	63
<i>Eucalyptus delegatensis</i>	20,6	21,0	78,0	749	50
<i>Eucalyptus globulus</i>	20,5	21,3	80,0	664	44
<i>Eucalyptus fastigata</i>	19,3	21,7	82,7	664	44
<i>Pinus radiata</i>	23,4	23,2	60,0	550	34

(Fuente: Prado *et al.*, 1986)

Edad: 15 años. CAM: Crecimiento anual medio.

S: Supervivencia sobre 2.500 plantas iniciales.

Cuadro N° 4
DESARROLLO DE ESPECIES Y PROCEDENCIAS DE *Eucalyptus*
PREDIO LOS COPIHUES, REGIÓN DE LOS RÍOS

Especies	Procedencia Código CSIRO Australia	Edad (Años)								
		6	10		12					10 a 12
		S (%)	S (%)	V (m³/ha)	S (%)	DAP (cm)	H (m)	V (m³/ha)	CAM (m³/ha/año)	CAC
<i>E. nitens</i>	11814 NSW	78,7	78,7	340	78,7	24,6	24,0	549	46	105
<i>E. nitens</i>	12211 VIC	73,3	72,0	284	72,0	24,1	23,3	452	38	84
<i>E. nitens</i>	12175 VIC	65,3	62,7	247	62,7	23,4	24,6	438	37	96
<i>E. nitens</i>	12214 NSW	69,3	66,7	268	65,3	24,2	23,0	411	34	72
<i>E. regnans</i>	11619 TAS	52,0	49,3	212	49,3	24,3	25,8	355	30	72
<i>E. regnans</i>	12463 VIC	49,3	49,3	176	49,3	23,3	24,9	330	28	77
<i>E. delegatensis</i>	9141 NSW	56,0	56,0	178	54,7	20,8	22,6	283	24	53
<i>E. delegatensis</i>	9989 TAS	62,7	62,7	173	60,0	20,2	21,3	275	23	51
<i>E. regnans</i>	12074 TAS	36,0	36,0	142	36,0	24,1	26,5	270	23	64
<i>E. delegatensis</i>	12295 TAS	44,0	42,7	112	42,0	17,7	22,7	204	17	46
<i>E. globulus</i>	11615 TAS	49,3	48,0	79	45,3	20,5	16,8	131	11	26

(Fuente: Barros, 1993)

CAM: Crecimiento anual medio. CAC: Crecimiento anual corriente. S: Supervivencia sobre 1.600 plantas iniciales.

NSW: New South Wales. VIC: Victoria. TAS: Tasmania

El crecimiento medio de pino radiata en Antiquina, 34 m³/ha/año, es un muy buen crecimiento para la especie, sin embargo es ampliamente superado por los eucaliptos, llegando este a 77 m³/ha/año en el caso de *Eucalyptus nitens* y a 63 m³/ha/año en el caso de *Eucalyptus regnans*, que a su vez superan ampliamente también a *Eucalyptus globulus*.

En el ensayo de Los Copihues, zona más fría con frecuencia de heladas, las supervivencias se ven tempranamente reducidas, en especial en *Eucalyptus globulus* que es la de menor resistencia a frío del grupo. Resaltan los crecimientos de *Eucalyptus nitens*, la de mayor resistencia a frío del grupo, y en especial el crecimiento de una de las procedencias de NSW. Este ensayo tiene 3 años de edad menos que el de Antiquina y las supervivencias son menores, lo que explica que los crecimientos medios no resulten tan notables, sin embargo el ritmo de crecimiento entre los 10 y 12 años de edad es muy alto; una de las procedencias de NSW y una de las de VIC en el caso de *E. nitens* registran un crecimiento anual corriente entre las edades indicadas de 105 y 96 m³/ha/año, respectivamente.

Los eucaliptos en el país están siendo utilizados generalmente para la producción de pulpa química y para la exportación de astillas, sin intervenciones silvícolas (raleos, podas) y en rotaciones de 12 a 13 años. La especie más utilizada es *Eucalyptus globulus* y en años más recientes se ha incorporado progresivamente *Eucalyptus nitens*. La primera tiene como ventajas un buen crecimiento, la retoñación desde los tocones, que posibilita su manejo en monte bajo, y el ser una de las especie del género más cotizadas mundialmente para la producción de pulpa química. La segunda no presenta una buena regeneración desde los tocones y su aptitud pulpable es algo menor, pero tiene mayor crecimiento y es muy resistente a frío.

Los crecimientos registrados en Antiquina y Los Copihues, y en especial el muy alto crecimiento anual corriente que muestran las especies desde los 10 años de edad hacen pensar en rotaciones algo mayores y en productos de mayor valor que la pulpa y las astillas, como madera aserrada, chapas y otros. Esto muy en especial para *Eucalyptus nitens*, *E. delegatensis*, *E. fastigata* y *E. regnans*, dada su relativa menor aptitud pulpable. Sin embargo, esto requiere de investigación sobre manejo silvícola (raleos y podas) y longitud de la rotación, y además, en el área tecnológica, sobre aserrío, secado, debobinado y foliado, y otros aspectos.

INFOR ya está desarrollando estas líneas de investigación con *Eucalyptus nitens* y debieran iniciarse con las restantes especies mencionadas. La principal limitante está dada por la tendencia de la madera de los eucaliptos en general a presentar rajaduras en los extremos de las trozas y piezas de madera debido a tensiones internas acumuladas durante el crecimiento de los árboles. Este problema se está enfrentando tanto desde la silvicultura y el mejoramiento genético como desde la tecnología de los procesos industriales.

REFERENCIAS

Albert, Federico, 1909. Los 7 Árboles Forestales más Recomendables para el País. Santiago, Chile: Imprenta Cervantes, 1909. 45 p.

Ávila, A. y Muñoz, J. C., 2014. Superficie de Suelos Potencialmente Disponible para la Forestación. Región del Bío Bío. Instituto Forestal. Chile. Informe Técnico N° 201. 22 p.

Barros, S.; Rojas, P.; Barros, D.; Navia, P.; Vita, A.; Toro, J. y Cogollor, G., 1979. Informe I. Situación Actual de los Programas de Introducción de Especies Forestales en Chile. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI – 76 – 003. Instituto Forestal – Universidad de Chile. 386 p. Mapas y Anexos.

Barros, S.; Prado, J. A.; Elgueta, H.; Rojas, P.; Barros, D.; Navia, P.; Vita, A.; Cogollor, G.; Toro, J. y Caldentey, J., 1979a. Informe II. Áreas Cubiertas por Ensayos de Introducción de Especies y Ubicación de Nuevas Experiencias. Proyecto CONAF/PNUD/FAO/CHI – 76 – 003. Instituto Forestal – Universidad de Chile. 90 p. Mapas y Anexos.

Barros, S., 1993. Crecimiento Juvenil de Especies y Procedencias de *Eucalyptus*. Los Copihues. Provincia de Valdivia, X Región. En: Barros, S., Prado, J.A. y Alvear, C. (Eds). Actas Simposio Los Eucaliptos en el Desarrollo Forestal de Chile. Pucón, Chile. 24 a 26 de Noviembre 1993. Instituto Forestal Chile.,

Bay-Smith, T., 1965. Algunas Observaciones sobre Ensayos de Especies Forestales en la Provincia de Arauco.

Chile Bosques, 2014. Conociendo y Disfrutando la Flora Nativa de Chile. Mapas de Hábitat. En: <http://www.chilebosque.cl/mapas.html> (consulta febrero, 2015).

INFOR, 2014. Anuario Forestal 2014. Boletín Estadístico N° 144. Instituto Forestal. Chile. 159 p.

Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. y Torres, J. (Eds.), 2012. Recursos Genéticos Forestales. Catastro 2012. INFOR – FIA. 271 p.

Prado, J. A., Barros, S.; Wrann, J.; Rojas, P.; Barros, D. y Aguirre, S., 1986. Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Instituto Forestal - Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 168 p.

Prado, J. A. y Barros, S. (Eds), 1989. *Eucalyptus*. Principios de Silvicultura y Manejo. Instituto Forestal - Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 197 p.

II. TEORÍA GENÉTICA Y DE CONSERVACIÓN

Capítulo 4

LA GENÉTICA CUANTITATIVA Y LA CONSERVACIÓN GENÉTICA

Roberto Ipinza Carmona¹

INTRODUCCIÓN

La genética forestal es la disciplina que estudia las causas que definen la variación y la herencia en los árboles forestales (Wellendorf y Ditlevsen, 1992). Las diferencias en las heredabilidades pueden ser causadas por los genes y/o citoplasmas dentro del árbol. Estos son predeterminados en el momento que se forma la semilla (Wright, 1976).

En el ámbito de los bosques, la genética de poblaciones y la genética cuantitativa son las disciplinas de la genética moderna o genética mendeliana que se consideran más importantes (Wellendorf y Ditlevsen, 1992). La genética cuantitativa estudia fundamentalmente los caracteres continuos influenciados por muchos genes o por factores ambientales. La genética de poblaciones describe la variación de la distribución biológica de los árboles mediante el estudio de la constitución genética de los individuos que integran una población y la transmisión de los genes de una generación a otra (Klug *et al.*, 2006).

Algunas de las aplicaciones de la genética forestal se encuentran en la producción de semillas, la posibilidad de transferencia de semillas entre localidades, la variación natural, la regeneración natural y la artificial, el mejoramiento genético forestal (Wellendorf y Ditlevsen, 1992) y la conservación de recursos genéticos forestales (RGF).

En los puntos siguientes se revisan los mecanismos que gobiernan la relación entre la conservación de los RGF y los aspectos cuantitativos de la genética forestal de los árboles y los bosques que ellos conforman.

CONCEPTO DE POBLACIÓN FORESTAL

Una población forestal es un grupo local de árboles de una especie, entre los cuales se producen cruzamientos (polinización). La especie es la mayor unidad evolutiva y la población en tanto es una entidad genética abierta, por lo que puede intercambiar genes con otras poblaciones de la misma especie. Por ejemplo, los bosques naturales de *Nothofagus* forman poblaciones o rodales familiares de variada extensión, que pueden originar individuos heterocigotos producto del cruzamiento entre familias.

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

Por su parte, la especie y las categorías taxonómicas superiores generalmente son entidades cerradas, es decir, que no puede intercambiar genes con otras entidades. Si se considera como ejemplo a los *Nothofagus*, esto no es absolutamente cierto, ya que existen híbridos entre algunas especies como por ejemplo el *N. x alpina* (= *N. alpina* x *N. obliqua*).

El conjunto de informaciones genéticas que llevan todos los miembros de una población, se denomina acervo génico. Para un *locus* dado, este acervo incluye todos los alelos de dicho gen que están presentes en la población. Puesto que la especie es una entidad genética cerrada, puede decirse que su destino evolutivo está escrito en su acervo, mientras que no ocurre lo mismo con la población.

En genética de poblaciones la atención se centra en la cuantificación de las frecuencias alélicas y genotípicas en generaciones sucesivas. Los gametos producidos en una generación dan lugar a los cigotos de la generación siguiente. Esta nueva generación tiene un acervo génico reconstruido, que puede diferir del de la generación anterior.

Las poblaciones son dinámicas; pueden crecer y expandirse o disminuir y contraerse mediante cambios en las tasas de nacimiento o mortalidad, o por migración o fusión con otras poblaciones. Esto tiene consecuencias importantes y, con el tiempo, puede dar lugar a cambios en la estructura genética de la población.

Del examen fenotípico de los individuos de una población se deduce la existencia de variaciones fenotípicas, muchas de las cuales provienen de la diversidad genética subyacente. Cuando existe correspondencia biunívoca e inequívoca entre fenotipo y genotipo, se puede calcular las frecuencias alélicas.

Para ello, primero es necesario conocer la naturaleza genética de los caracteres variables, mediante el análisis de los resultados de determinados cruzamientos, solo entonces se podrá definir la población por el número relativo de genotipos de cada clase (frecuencias genotípicas) y el número relativo de alelos de cada tipo en los gametos (frecuencias alélicas).

EQUILIBRIO HARDY-WEINBERG

Hardy y Weinberg (1908) demostraron por separado que en una población panmíctica (donde los individuos se cruzan al azar) de gran tamaño y donde todos los individuos son igualmente viables y fecundos, el proceso de la herencia, por sí mismo, no cambia las frecuencias alélicas ni genotípicas de un determinado *locus*.

En esencia, el principio de Hardy-Weinberg² enuncia que, en ausencia de fuerzas, la descripción del sistema no cambia en el tiempo una vez alcanzado el equilibrio y que la consecución de este puede llevar una o más generaciones, dependiendo de las restricciones físicas impuestas por la organización del genoma.

La relación general entre frecuencias alélicas y genotípicas puede describirse en términos algebraicos: Si p es la frecuencia de A_1 y q es la de A_2 , se cumple que $p + q = 1$ si no existen más que esos dos alelos. Las frecuencias genotípicas de equilibrio vienen dadas por: p^2 (A_1A_1), $2pq$ (A_1A_2), q^2 (A_2A_2). Por ejemplo, si $p = 0.6$ y $q = 0.4$, las frecuencias genotípicas son: $p^2 = 0.36$ (A_1A_1), $2pq = 0.48$ (A_1A_2), $q^2 = 0.16$ (A_2A_2). Obsérvese que las frecuencias genotípicas resultan del desarrollo de $(p+q)(p+q) = (p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$. Con valores cualesquiera de p y q y con cruzamiento aleatorio una generación es suficiente para alcanzar el equilibrio en las frecuencias alélicas y genotípicas (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
CÁLCULO DE LAS FRECUENCIAS GENOTÍPICAS EN LA PRIMERA GENERACIÓN DE UNA POBLACIÓN

Proporción de Descendientes					
Tipo de Cruce	Cruces por Sexo (N°)	Frecuencia Relativa	A1A1	A1A2	A2A2
A1A1 x A1A1	1	$p^2 \times p^2 = p^4$	p^4		
A1A1 x A1A2	2	$2 \times p^2 \times 2pq = 4p^3q$	$2p^3q$	$2p^3q$	
A1A1 x A2A2	2	$2 \times p^2 \times q^2 = 2p^2q^2$		$2p^2q^2$	
A1A2 x A1A2	1	$2pq \times 2pq = 4p^2q^2$	p^2q^2	$2p^2q^2$	p^2q^2
A1A2 x A2A2	2	$2 \times 2pq \times q^2 = 4pq^3$		$2pq^3$	$2pq^3$
A2A2 x A2A2	1	$q^2 \times q^2 = q^4$			q^4
Total	9	1	p^2	$2pq$	q^2

Población donde se dan las condiciones para el equilibrio Hardy-Weinberg y las frecuencias genotípicas parentales son $p^2 a_1a_1$, $2pq a_1a_2$ y $q^2 a_2a_2$.

- 2 El equilibrio de Hardy-Weinberg es un modelo teórico para genética de poblaciones. El concepto de equilibrio en el modelo de Hardy-Weinberg se basa en las siguientes hipótesis: (i) La población es panmíctica, es decir que todos los individuos tienen la misma probabilidad de aparearse y los apareamientos ocurren al azar (panmixia); (ii) La población es suficientemente grande como para minimizar las diferencias existentes entre los individuos; (iii) La población no está sometida a migración o flujo genético, mutación o selección, de modo que no hay pérdida ni ganancia de alelos; (iv) Las frecuencias génicas y genotípicas se mantienen constantes de generación en generación. Bajo estas circunstancias las poblaciones genéticas se mantienen en equilibrio. Por el contrario, se llama desequilibrio de ligamiento a la diferencia entre la frecuencia observada de un gameto y la que debería tener si estuviera en equilibrio (esto es, en condiciones de independencia estadística).

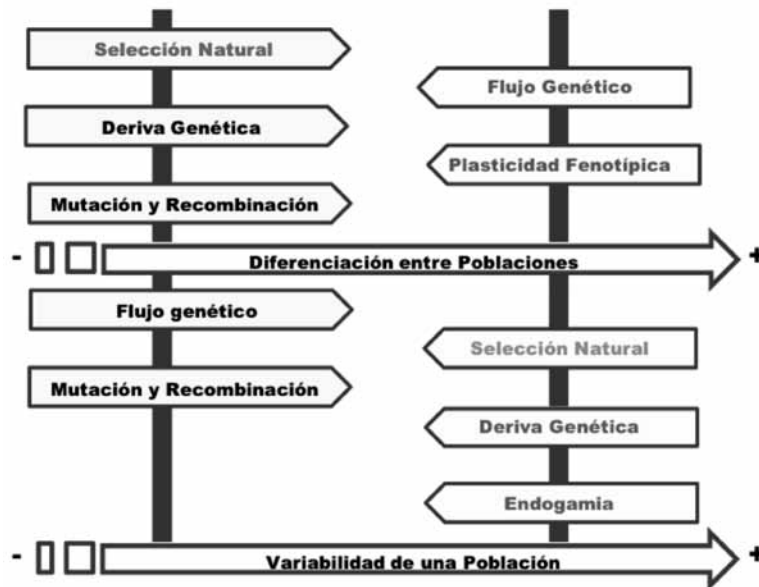
CAMBIO EN LAS FRECUENCIAS ALÉLICAS Y GENOTÍPICAS

Se ha visto anteriormente que una población panmíctica y suficientemente grande se mantiene estable con respecto a las frecuencias alélicas y genotípicas. Sin embargo, existen algunos procesos que cambian estas frecuencias. Existen procesos que favorecen la evolución, como la selección, la deriva y la mutación; así como procesos que limitan la evolución, como es el caso del flujo genético (migración) y la plasticidad fenotípica.

En la Figura N° 1 se indican las fuerzas que favorecen y limitan la evolución. Las definiciones de cada una de estas fuerzas de cambio son las siguientes:

Selección Natural: Es el proceso mediante el cual ciertas características de un individuo hacen que sea más probable su supervivencia y reproducción. La selección natural actúa sobre fenotipos, o las características observables de organismos, pero la base genética hereditaria de cualquier fenotipo que da una ventaja reproductiva se hará más común en la población.

Deriva Genética: Es el cambio en la frecuencia alélica de las especies como efecto estocástico del muestreo aleatorio en la reproducción y la pérdida de alelos por azar. Los cambios en la deriva genética no son a consecuencia de selección natural o adaptaciones a cambios ambientales y pueden ser beneficiosos, neutrales o negativos para la reproducción y supervivencia. En resumen, la deriva genética se refiere a la fijación o pérdida de alelos debida a la variación aleatoria de las frecuencias alélicas que se produce cuando el número de reproductores en una población es bajo.



(Fuente: MMA, 2007).

Figura N° 1
FACTORES QUE DETERMINAN LA DIFERENCIACIÓN ENTRE POBLACIONES

Mutaciones: Son la principal fuente de variabilidad genética. Puede dar lugar a varios tipos de cambios en el ADN y tener efecto negativo, positivo o neutro. Las mutaciones pueden implicar grandes secciones de ADN que, mediante procesos de recombinación, se eliminen o dupliquen. Otra posibilidad son las mutaciones puntuales que insertan o eliminan nucleótidos sueltos o pequeñas secuencias.

Flujo Genético: También llamado migración, es la transferencia de alelos de genes de una población a otra. Usualmente ocurre entre individuos de una misma especie, pero también entre especies distintas, en este último caso da lugar a la formación de híbridos. Al proceso de flujo genético entre especies se le denomina transferencia horizontal.

Plasticidad Fenotípica: Es la capacidad que muestran algunos genotipos de alterar en forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes (Bradshaw, 1965; Schlichting, 1986). Un genotipo es plástico cuando puede alterar su expresión en respuesta a determinados factores ambientales. Sin embargo, la plasticidad fenotípica es una propiedad específica de caracteres individuales en relación a influencias ambientales determinadas, ella se manifiesta en rasgos concretos y en respuesta a estímulos ambientales específicos (Bradshaw, 1965; Scheiner, 1993).

DIVERSIDAD GENÉTICA

Los genes se encuentran en lugares específicos en los cromosomas. Dado que en la mayoría de los casos, las células somáticas tienen dos copias de cada cromosoma, cada una de estas células tendrá dos copias de cada gen, una heredada de la madre (óvulo) y otra del padre o progenitor masculino (polen). Los alelos son formas alternativas o variantes de genes, con secuencias de ADN ligeramente diferentes, que pueden dar lugar a diferentes productos de genes y que producen cambios estructurales o funcionales en los individuos portadores de ellos. Un individuo puede heredar el mismo alelo para un determinado gen de ambos progenitores y ser homocigoto o heredar diferentes alelos de cada progenitor para ese gen y ser heterocigoto.

En promedio, el porcentaje de los genes que se espera que produzca un árbol heterocigótico depende de las frecuencias alélicas. Estas frecuencias son una medida útil de la diversidad genética de una población o especie, y se llama heterocigosidad esperada o a veces solo diversidad genética (Aitken y St. Clair, s/f). Esta también se puede definir como la probabilidad de encontrar dos alelos diferentes cuando se muestrean dos gametos de un determinado *locus* al azar. A mayor cantidad de alelos que existan para un gen o más genes que varíen genéticamente (teniendo dos o más alelos), mayor será la heterocigosidad de esa especie. Para un número dado de alelos, la heterocigosidad será mayor si las frecuencias de los alelos son intermedias en lugar de si un alelo es común y otros raros. La diversidad genética o heterocigosidad esperada dentro de una población se ve aumentada por la existencia de flujo genético desde otras poblaciones, por las mutaciones que se puedan producir dentro de la población y por la creación de nuevas combinaciones génicas debido al proceso de recombinación previo a la formación de los gametos.

Entonces, la diversidad genética es el número total de características genéticas dentro de cada especie, o la variabilidad de alelos y genotipos presentes en un grupo bajo estudio, sea este una población, especie o grupo de especies (Frankham *et al.*, 2002). Esta diversidad se reduce cuando hay “cuellos de botella”, es decir, cuando una población disminuye substancialmente y quedan pocos individuos. La selección natural, la autofecundación, el apareamiento entre individuos emparentados (endogamia) y la deriva genética tienden a reducir la variabilidad encontrada en una población. La pérdida de diversidad genética provoca normalmente problemas reproductivos y de supervivencia. A mayor diversidad genética, las especies tienen mayores probabilidades de sobrevivir a cambios en el ambiente. Las especies con poca diversidad genética tienen mayor riesgo frente a esos cambios. En general, cuando el tamaño de las poblaciones se reduce, aumenta la reproducción entre individuos emparentados (consanguinidad) y hay una reducción de la diversidad genética.

De acuerdo a Ramanatha y Hodgking (2002) existen cuatro componentes de la diversidad genética que pueden ser distinguidos: (i) el número de diferentes formas alélicas encontradas en diferentes poblaciones; (ii) su distribución, (iii) el efecto que las diferentes formas alélicas tienen sobre la función o el desempeño del individuo; y (iv) la distinción total entre diferentes poblaciones. La variación que sustenta la diversidad genética se origina principalmente de la mutación y la recombinación, luego la deriva genética, el flujo de genes y la selección que actúa sobre los alelos.

De esta forma la variabilidad genética puede entenderse de varias maneras, por ejemplo: (i) riqueza alélica que se determina por métodos bioquímicos y se expresa como la proporción de *loci* polimórficos, el número y frecuencia de los alelos en estos *loci* y la proporción de *loci* heterocigotos expresados por individuos o poblaciones (Berg y Hamrick 1997); (ii) la variación cuantitativa en caracteres métricos, evaluados mediante un análisis estadístico de la varianza; y (iii) el tamaño efectivo de la población.

Diversidad Alélica y Varianza Genética

La diversidad genética, en términos de frecuencia de los genes, determina la variación genética cuantitativa, que debe distinguirse de la forma en que los individuos de la población llevan este acervo, determinando la varianza genotípica (o genética) (Bulmer, 1976; Falconer y Mackay, 1996).

La información genética se recombina en cada generación y se renueva por mutaciones. En condiciones naturales, los cambios en el acervo genético generalmente ocurren lentamente durante una escala de tiempo evolutivo y el acervo contiene normalmente una enorme variabilidad alélica si se evalúa por el número de alelos (Ledig, 1986; Williams *et al.*, 1995). Además, los alelos mutantes letales y deletéreos, que constituyen la “carga genética”, se expresan en los individuos cuando el alelo complementario en el par homólogo es funcional. Estos genes contribuyen a la depresión endogámica cuando aparecen en los genotipos homocigotos (Ritland, 1996).

El número de alelos en un *locus* (diversidad alélica) tiene un bajo impacto en la heterocigosidad y por lo tanto en la varianza genética actual (Allendorf *et al.*, 2013). Los alelos que inicialmente son raros deben aumentar en frecuencias por azar y/o a través de la selección, antes de que ellos puedan influir en la variación genética.

Variación Cuantitativa

La varianza de un carácter cuantitativo se puede dividir en varios componentes que representan diferentes causas de variación. El interés de los componentes de varianza radica en que se pueden expresar las similitudes o semejanzas entre parientes. La descomposición de la varianza tiene de por sí una gran importancia, ya que la tasa de cambio de un rasgo bajo selección depende de la cantidad de variación genética que está afectando a ese rasgo. En efecto, si no hay variación genética obviamente no habrá posibilidad de respuesta a la selección e incluso no todos los componentes de la variación genética pueden aprovecharse mediante selección.

Un razonamiento inicial para descomponer la varianza, sugiere que el valor fenotípico de un individuo está representado como la suma de tres componentes: (i) la media de su población, habitualmente denotada como μ ; (ii) una desviación respecto de μ causada por el genotipo específico; y (iii) una desviación respecto de μ debido a efectos del ambiente específico del individuo. El modelo sería el siguiente:

$$(1) F = \mu + G + A$$

Donde F es el valor fenotípico de algún carácter medido en un individuo, y G y A son las desviaciones genotípicas y ambientales pertinentes a ese individuo. El supuesto de la ecuación (1) es que no existe interacción genotipo ambiente, ahora, si este supuesto es válido, la varianza fenotípica total σ_F^2 en la población es igual a la media de $(F - \mu)^2$, donde reemplazando F por su equivalencia establecida en la ecuación (1) queda como:

$$(2) (F - \mu)^2 = (\mu + G + A - \mu)^2, \text{ de donde:}$$

$$(3) \sigma_F^2 = (G + A)^2 = (G^2 + 2GA + A^2)$$

Como G y A son desviaciones de sus medias, la media de G^2 es la varianza fenotípica de la población que se produce por diferencias en el genotipo y la media de A^2 es la varianza fenotípica resultante de las diferencias en el ambiente. La media G^2 se llama varianza genotípica y se representa como σ_G^2 . La media de A^2 es llamada la varianza ambiental y se representa como σ_A^2 . El término 2GA es dos veces la covarianza ambiental. Si las desviaciones genotípicas y ambientales son independientes, es decir que no existe una asociación sistemática entre el genotipo y el ambiente, se puede decir que no hay asociación genotipo ambiente y la media de 2GA es igual a cero. Así, cuando no hay interacción genotipo ambiente, el modelo simplificado es como sigue:

$$(4) \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_A^2$$

Un punto que es muy importante en términos prácticos es que la varianza genética es una varianza en valores fenotípicos que resultan de diferencias genéticas entre los individuos. De la misma forma la varianza ambiental se expresa en valores fenotípicos que se originan de las diferencias ambientales entre los individuos.

No obstante, si se considera la interacción genotipo ambiente (GA), la varianza total se puede expresar como un modelo complejo, de la siguiente manera:

$$(5) \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{GA}^2$$

Donde, σ_F^2 es la variación fenotípica total para la población que está segregando, σ_G^2 es la variación genética que contribuye a la varianza fenotípica total, σ_A^2 es la contribución ambiental a la variación fenotípica total y σ_{GA}^2 es la variación asociada a las interacciones de los factores genéticos y ambientales (Falconer y Mackay, 1996).

Si se considera como ejemplo el modelo simplificado, este puede ser ampliado, ya que la variación genética total (σ_G^2) es a su vez una suma de varianzas que son originadas por los efectos genéticos aditivos (a), de dominancias (d), y epistáticos (e). Para determinar cómo evoluciona cualquier carácter morfológico y la tasa a la que responde a la selección es imprescindible cuantificar la varianza genética aditiva, que es el componente de variabilidad genética del que depende la respuesta a la selección (Falconer y Mackay, 1996). En resumen, la partición de la variación genética (σ_G^2) en sus componentes permite visualizar como distintas formas de acción genética van a afectar la forma en que un carácter es traspasado a su descendencia.

$$(6) \sigma_G^2 = \sigma_a^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2$$

La varianza aditiva (σ_a^2) se debe a la variación causada por efecto promedio de sustituir un alelo en un *locus* por otro alelo. Este efecto es normalmente conocido como valor genético o valor de mejora³. La varianza de dominancia (σ_d^2) corresponde a la varianza residual que queda una vez que se le resta la variación dentro del *locus* a los efectos aditivos, es decir la variación intralocus de entre los alelos. Es importante destacar que la acción dominante enmascara la contribución de los alelos recesivos en ese *locus*. La varianza aditiva y la varianza de dominancia dependen de la frecuencia de genes de la población y luego son parcialmente propiedades de la población. Por tanto, para la predicción de las varianzas genéticas se requiere un conocimiento de las frecuencias de genes y de la acción genética.

Si un carácter es poligénico, es decir que está determinado por alelos en dos o más *locus* génicos, la interacción interloci entre efectos génicos da origen a la varianza epistática (σ_e^2). La varianza epistática total puede a su vez ser segregada en términos de la interacción entre genes en diferentes *loci*, tal como se denota en la expresión (7).

$$(7) \sigma_e^2 = \sigma_{aa}^2 + \sigma_{ad}^2 + \sigma_{dd}^2 + \sigma_{aaa}^2 + \sigma_{aad}^2 + \sigma_{add}^2 + \sigma_{ddd}^2 + \dots$$

³ Se predice a través de una técnica denominada BLUP (Best Linear Unbiased Predictor)

Donde:

σ_{aa}^2 = la varianza de la interacción aditiva x aditiva,

σ_{ad}^2 = la varianza de la interacción aditiva x dominancia

σ_{dd}^2 = la varianza de la interacción dominancia x dominancia

Estas varianzas consideran dos *loci* respectivamente. El resto de los términos indican el número de *loci* y el tipo de interacción epistática de orden superior.

Con estos componentes de varianza es posible determinar la heredabilidad⁴, que se define como el cociente entre la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica total, y se puede estimar evaluando familias procedentes de la naturaleza o establecidas en ensayos genéticos o de progenie. Los datos experimentales indican que los mayores valores de heredabilidad se dan en familias que se establecen en ambientes controlados, como invernaderos o en el laboratorio, debido al menor valor del componente de varianza ambiental. Además, en una gran diversidad de especies, generalmente las heredabilidades de caracteres ecológicamente importantes son moderadamente altas, lo cual es evolutivamente importante ya que implica que los caracteres son sensibles a la selección.

Sin embargo, los diferentes caracteres que se pretenden estudiar, no actúan de forma individual para generar el fenotipo, sino que están interconectados de forma habitualmente desconocida durante los procesos de desarrollo y crecimiento. La acción de la selección natural sobre dos caracteres también puede ocasionar una covariación entre los efectos de los genes que los determinan (Falconer y Mackay, 1996). Esta interconexión entre los caracteres se puede estudiar de forma indirecta por medio de las correlaciones genéticas. Cuando la correlación genética entre dos caracteres seleccionados en el mismo sentido es negativa, las fuerzas que actúen sobre cada carácter (selección, efectos del desarrollo, etc.), tienden a actuar sobre el otro carácter en sentido contrario (por ejemplo a mayor velocidad de crecimiento, menor densidad de la madera y viceversa). Del mismo modo, una correlación genética positiva entre dos caracteres implica que un cambio en uno de los caracteres lleva ligado un cambio en el mismo sentido en el otro (por ejemplo a mayor altura, mayor diámetro y viceversa) (Falconer y Mackay, 1996).

Volviendo a las fuerzas de cambio, es importante destacar el papel de la deriva genética y la selección natural como causantes de la diferenciación morfológica entre poblaciones. Esta puede ser evaluada indirectamente comparando la diferenciación genética en *loci* moleculares (supuestamente neutros) y la correspondiente a caracteres morfológicos cuantitativos.

La diferenciación genética para marcadores moleculares neutros se suele cuantificar mediante el estadístico F_{ST} (Wright, 1951), mientras que la diferenciación para caracteres cuantitativos se determina mediante el índice Q_{ST} (Spitze, 1993). En el caso de un carácter con una base genética exclusivamente aditiva y la población en equilibrio Hardy-Weinberg, ambos índices tendrían el mismo valor. Las desviaciones del modelo anterior pueden hacer que difieran en un sentido o

⁴ Se refiere a la heredabilidad en sentido estricto, comúnmente denotada como h^2 . Existe también la heredabilidad en sentido amplio (H^2), parámetro genético que corresponde al cociente entre la varianza genética total y la varianza fenotípica (Nota del Editor).

en otro. Por ejemplo, un valor de Q_{ST} superior al de F_{ST} podría ser interpretado como que el grado medio de diferenciación existente en los caracteres cuantitativos excede al que se esperaría por deriva genética y, consecuentemente, sugiere que la selección natural estaría favoreciendo diferentes fenotipos en distintas poblaciones (Merilä y Crnokrak, 2001).

TAMAÑO POBLACIONAL EFECTIVO

El tamaño poblacional efectivo usa normalmente la nomenclatura de N_e .

La varianza del tamaño efectivo de una población, N_{eV} , es el tamaño de una población ideal con la misma varianza muestral de las frecuencias alélicas por generación (varianza de cambio) en relación a la población actual, es decir, la misma deriva genética aleatoria (Crow y Kimura, 1970). Mientras Θ_t se refiere a la población de origen, N_{eV} es referida como fundadores con un grupo ancestral Θ_{0F} . Dado que la varianza del cambio en las frecuencias de genes es igual a la variación en Θ (Cockerham, 1967), entonces la varianza del tamaño efectivo de la población, N_{eV} , considerando las generaciones de cero a "t" es:

$$(8) \quad N_{eVt} = \frac{1}{2 \left(1 - \sqrt[t]{\frac{1 - \Theta_t}{1 - \Theta_{0F}}} \right)}$$

El tamaño efectivo de la población endogámica N_{eF} es el tamaño de una población ideal que acumula endogamia (F) al mismo ritmo que la población en estudio (intercambia Θ_t para F_t en N_{eV}). Los dos tamaños efectivos dependen del incremento de Θ y F, respectivamente. Si la población está en equilibrio HW (apareamiento aleatorio) después del primer ciclo de vida (o mejora), se espera que la varianza y el tamaño efectivo de la población endogámica sean idénticos. Bajo apareamiento no aleatorio ellos diferirán, pero finalmente convergen en el mismo valor asintótico (Wang, 1997). Los avances en la predicción del tamaño efectivo de la población son revisados por Caballero (1994) y en particular para las poblaciones subdivididas por Wang y Caballero (1999). Lindgren *et al.* (1996) definen el número efectivo (=status number) como:

$$(9) \quad N_{st} = \frac{1}{2\Theta_t}$$

Este *status number* corresponde al tamaño efectivo de una población (N_s) que es equivalente al tamaño de censo o total de individuos (N) de una población con la misma diversidad genética, pero sin ningún ancestro en común o endogamia. N_s es idéntico al concepto "Genoma Fundador Equivalente" (GFE), en la forma que ha sido redefinido por Lacy (1995). Ello puede ser entendido como la "capacidad de carga alélica" en función del número esperado de fundadores que se requieren para proporcionar el mismo nivel de diversidad genética, con un tamaño igual para cada fundador y sin deriva genética, por esto si no hay cambio en la frecuencia genética tampoco

hay pérdida de alelos (Lindgren y Kang, 1997). En contraste con N_{eV} convencional y N_{eF} , el *status number* se refiere al parentesco acumulado en el acervo genético, y por lo tanto el tamaño efectivo en un estado particular de desarrollo. En la generación "t" las medidas se relacionan de la siguiente manera:

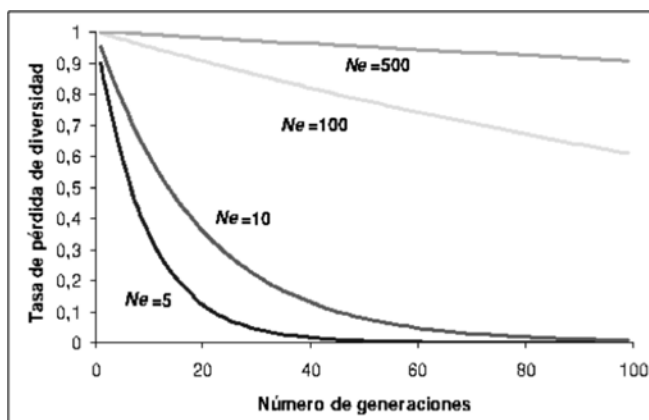
$$(10) \quad DG_t = 1 - \Theta_t = 1 - \frac{1}{2N_{s_t}} = \left(1 - \frac{1}{2N}\right) \left(1 - \frac{1}{2N_{eVt}}\right)^t$$

El término DG corresponde a la diversidad genética y $1-1/2N$ a una población denominada fundadora, y puede ser considerada como la población inicial de mejora, se lo utiliza para estimar la varianza del tamaño efectivo de una población, N_{eV} .

La disminución en N_e no es lineal y refleja el proceso de muestreo de genes fundadores, siendo proporcional a la probabilidad de que los genes de baja frecuencia se pierdan (Lindgren *et al.*, 1996). La pérdida de diversidad genética evaluada por DG es aproximadamente lineal, lo que refleja la decadencia proporcional de varianza genética (Verrier *et al.*, 1991).

El tamaño efectivo poblacional N_e y los factores demográficos condicionan también la distribución de la diversidad genética dentro y entre poblaciones, principalmente mediante dos efectos: el nivel de endogamia y la deriva genética. En especies arbóreas de zonas templadas, donde los niveles de autofecundación son generalmente bajos, se produce la endogamia poblacional. Este efecto puede verse potenciado en especies arbóreas y arbustivas, donde hay traslape de generaciones en edad reproductiva, lo que permite el apareamiento de individuos con sus descendientes. La manifestación práctica de la endogamia se denomina depresión endogámica y es una pérdida en crecimiento y supervivencia a causa de la acumulación de mutaciones deletéreas. La depresión endogámica tiene especial importancia en poblaciones pequeñas y aisladas, donde los niveles de autofecundación son más elevados, incluso en especie de polinización típicamente cruzada o alógamas como la que se da en los *Nothofagus*.

En poblaciones extensas de *Nothofagus*, donde existen pocos progenitores de gran fertilidad, la regeneración natural produce una gran cantidad de hijos o prole alrededor de las madres, situación que conduce a una notable diferencia entre el número de censo (N) y el tamaño efectivo poblacional (N_e), debido al alto número de individuos emparentados que comparten el sitio en torno a cada madre. La relación N_e/N es muy variable dependiendo del organismo, su sistema de reproducción e incluso de la localización de la población estudiada, estando la media en torno a 0,11 (Frankham *et al.*, 2002). El tamaño efectivo poblacional está directamente relacionado con la disminución de la variación genética en una población (Figura N° 2), considerándose que son necesarios tamaños poblacionales aproximados de 500-5.000 para mantener el potencial evolutivo (Lande, 1995; Franklin y Frankham, 1998) y evitar los llamados cuellos de botella genéticos.



(Fuente: MMA, 2007).

Figura N° 2
EVOLUCIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA EN POBLACIONES CON DIFERENTE
TAMAÑO EFECTIVO POBLACIONAL (N_e).

Finalmente, Traill *et al.* (2010) definen el tamaño poblacional mínimo viable (TPMV) como el número más pequeño de individuos requeridos para que una población persista en su ambiente natural. El TPMV permite retener el potencial evolutivo a perpetuidad y corresponde al tamaño poblacional de equilibrio, donde las pérdidas de variación genética cuantitativa (deriva genética) se cancelan con las ganancias obtenidas a través de la mutación. De acuerdo a Traill *et al.* (2010) el N_e es definido actualmente como el TPMV.

REFERENCIAS

- Aitken, S. y St. Clair, B., (s/f).** Management of Genetic Resources of Pacific Northwest Trees. In: Hobbs, S. and Lavender, D. (Editors). Regenerating Pacific Northwest Forests. Oregon State University Press. 18 p.
- Allendorf, F.; Luikart, G. and Aitken, S., 2013.** Conservation and the Genetics of Populations. Second Edition. Wiley-Blackwell. 630 p.
- Berg, E. and Hamrick, J., 1997.** Quantification of genetic diversity at allozyme loci. Can. J. For. Res. 27: 415-424.
- Bradshaw, A. 1965.** Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Advances in Genetics 13: 115-155.
- Bulmer, M. 1976.** The effect of selection on genetic variability: a simulation study. Genet. Res. 28: 101-117.
- Caballero, A. 1994.** Developments in prediction of effective population size. Heredity 73: 657-679.
- Cockerham, C. 1967.** Group inbreeding and coancestry. Genetics 56: 89-104.
- Crow, J. y Kimura, M. 1970.** An introduction to population genetics theory. Harper and Row, New York. 591pp.
- Falconer, D. and Mackay, T. 1996.** Introduction to quantitative genetics, 4th Edition. Longman. London and New York. 464 p.
- Frankham, R.; Ballou, J. and Brisco, D. 2002.** Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press, Cambridge.

- Franklin I. and Frankham R. 1998.** How large must populations be to retain evolutionary potential? *Anim. Conserv.* 1:69–70.
- Hardy, G. H. y Weinberg, W., 1908.** Modelo de Hardy-Weinberg. <http://atlasgeneticsoncology.org/Educ/HardySp.html>
- Klug, H.; Lindström, K. and St. Mary, C. 2006.** Parents benefit from eating offspring: density dependent egg survivorship compensates for filial cannibalism. *Evolution* 60: 2087-2095.
- Lande, R. 1995.** Mutation and conservation. *Conserv. Biol.* 9:782–91.
- Ledig, F. 1986.** Heterozygosity, heterosis, and fitness in outbreeding plants. In: Soulé, M.E. (Editor). *Conservation Biology: the science of scarcity and diversity*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA. Pp: 77-104.
- Lacy, R., 1995.** Clarification of genetic terms and their use in the management of captive populations. *Zoo Biol.* 14: 565-578.
- Lindgren, D.; Gea, L. and Jefferson, P., 1996.** Loss of genetic diversity monitored by status number. *Silvae Genet.* 45: 52-59.
- Lindgren, D., y Kang, K., 1997.** Status number - a useful tool for tree breeding. *Res. Rep. For. Genet. Res. Inst. Korea* 33:154-165.
- Merilä, J. Crnokrak, P., 2001.** Comparison of genetic differentiation at marker loci and quantitative traits. *Journal of Evolutionary Biology* 14: 892–903.
- MMA, 2007.** Documento técnico para la elaboración de la estrategia española para la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos forestales. Comité Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos Forestales. Ministerio de Medio Ambiente. 138 p.
- Ramanatha, R. and Hodgking, T., 2002.** Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 68: 1-19.
- Ritland, K., 1996.** Inferring the genetic basis of inbreeding depression in plants. *Genome* 39: 1-8.
- Scheiner, S., 1993.** Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 24: 35–68.
- Schlichting, C., 1986.** The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:667–693.
- Spitze, K., 1993.** Population structure in *Daphnia obtusa*: quantitative genetic and allozymic variation. *Genetics* 135:367-374.
- Traill, L.; Brook, B.; Frankham, R. and Bradshaw, C., 2010.** Pragmatic population viability targets in a rapidly changing world *Biological Conservation* 143: 28–34.
- Verrier, E.; Colleau, J. and Foulley, J., 1991.** Methods for predicting response to selection in small populations under additive genetic models: a review. *Livest. Prod. Sci.* 29: 93-114.
- Wang, J., 1997.** Effective size and *F*-statistics of subdivided populations. I. Monoecious species with partial selfing. *Genetics*, 146: 1453-1463.
- Wang, J., y Caballero, A., 1999.** Developments in predicting the effective size of subdivided populations. *Heredity*, 82: 212-226.
- Wellendorf, H. and Ditlevsen, B., 1992.** Introduction to Forest Genetics. Lecture Note No. D-2. Danida Forest Seed Centre.

Capítulo 5

CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO GENÉTICO LA PARADOJA DE LA LLAVE Y LA CERRADURA UN ENFOQUE DIDÁCTICO

Roberto Ipinza Carmona¹

INTRODUCCIÓN

La lenga (*Nothofagus pumilio* (Poep et Endl.) Krasser) es una especie que se localiza entre los 34° a 55° latitud sur, abarcando más de 2.000 Km en Chile y Argentina. Estos bosques mono específicos juegan un papel clave en la producción de biomasa, en la captura de CO₂ y en la regulación del flujo de agua y transporte de sedimentos de los ríos cordilleranos.

A pesar de la intensa destrucción de los bosques chilenos en las pasadas décadas, por incendios de millones de hectáreas y habilitaciones de terrenos para la agricultura y ganadería, la especie aún cubre una superficie de aproximadamente 3 millones de hectáreas entre Chile y Argentina (Elizalde, 1970).

Estas formaciones naturales representan un importante recurso de bienes y servicio para la sociedad. Lamentablemente, durante más de un siglo, la cosecha de árboles ha estado dirigida hacia los mejores individuos, lo cual ha empobrecido el acervo genético de este recurso forestal, encontrándose en la actualidad en una condición de subóptimo en términos productivos.

Solo en las últimas décadas se han originado prescripciones técnicas que velan por la sustentabilidad productiva del recurso, aunque su implementación operativa no está del todo perfeccionada, incluso en pleno siglo XXI.

Distribución General

Nothofagus pumilio es una especie forestal que posee una amplia distribución geográfica y se encuentra formando parte de distintos tipos de bosques de los Andes Australes. Lenga es un árbol deciduo de zonas de altitud, comúnmente se encuentra en el límite altitudinal del bosque y domina el ecotono entre los bosques y la vegetación subalpina (Veblen *et al.*, 1996). El rango altitudinal de distribución de esta especie en el sur de Chile y sudoeste de Argentina se extiende desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm, no obstante éste disminuye de norte a sur. De forma tal que en la cordillera de los Andes forma el límite altitudinal superior del bosque generalmente por encima de los 1.000 msnm. Este límite puede ser mayor hacia el norte de la distribución pudiendo alcanzar los 2.000 msnm en Chillán a los 36°36'S, descendiendo hacia el sur alcanzando

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

los 900 msnm en Coyhaique a los 45°29'S, los 500-600 msnm en Ushuaia y los 200 msnm en la Isla de los Estados (Donoso, 1981). Del mismo modo el límite inferior desciende por encima de los 1.000 msnm al norte de los 41°S, hasta los 700 en Coyhaique y el nivel del mar en Tierra del Fuego (Donoso, 1981). También se encuentra a la especie formando bosquetes en la cordillera de la Costa, localizándose en las partes más altas de la cordillera de Nahuelbuta a los 1.400 msnm, donde se asocia con *Araucaria araucana* y en la cordillera Pelada a los 1.000 msnm, donde se encuentra escasamente en el sector de bosques de *Fitzroya cupressoides* (Donoso, 1995).

BIOLOGÍA REPRODUCTIVA

La lenga y en general los *Nothofagus* son organismos que poseen ambos sexos en un mismo árbol, pero en flores separadas, por lo que es una especie diclino monoica. Las flores masculinas son solitarias, de 7 a 8 mm de largo, con 10 a 20 estambres con filamentos largos y antera glabra. Las flores femeninas son solitarias y sésiles y se localizan en las axilas de las hojas, poseen un solo ovario y están provistas de pequeñas escamas en la base. La dispersión del polen es a través del viento. La lenga es una especie que no rebrota de tocón, aunque si origina plantas a través de brotes radicales, por lo mismo, una parte importante de su estrategia de supervivencia se basa en la reproducción sexual.

Esta especie puede florecer desde agosto hasta fines de noviembre, dependiendo de las condiciones ambientales en que se desarrolla (altitud, exposición, humedad, suelo, latitud y otros). La floración es más tardía en el extremo sur y a mayor altitud.

El fruto es una cúpula de dos valvas lineares y lleva una nuez o aquenio trígono de 7 a 10 mm de largo por 5 a 7 mm de ancho. El período de formación de los frutos comienza cuando finaliza la floración y termina cuando comienza la dispersión de la semilla.

La maduración de los frutos se produce entre enero y febrero. No obstante en la región de Aysén los frutos de lenga maduran entre febrero y abril, produciéndose la dispersión del 68% de la semilla durante el mes de abril. De ellas el 46% está sana y el resto perforada por insectos. La fructificación va a depender de las condiciones medioambientales, como la temperatura, las lluvias y la ocurrencia de fuertes vientos y granizos. Es una especie que experimenta vecería o añerismo.

En los bosques de lenga el período de crecimiento vegetativo se reduce con la altitud, esto se refleja en un retraso en la apertura de los brotes y una aceleración en la caída de las hojas. También el tamaño de las hojas está relacionado con la altitud, a mayor elevación, el tamaño de la hoja disminuye. La abscisión de las hojas puede deberse al efecto que provocan las bajas temperaturas en el estrés hídrico, lo cual es común en zonas de altura y de latitud avanzada.

En lenga, como en la mayoría de las especies de climas templados, la floración está controlada por la temperatura y los días grados. La duración del período de floración es corta y la densidad de floración a nivel individual y poblacional es alta. La concentración de la floración en un corto

período de tiempo provoca riegos en la polinización y en el desarrollo de las semillas, ya que exige una sincronización de la floración a nivel de la población.

El desarrollo de brotes foliares y la floración se produce simultáneamente entre septiembre y octubre. Posteriormente, el fruto se desarrolla y se observa una sincronía entre la maduración, la dispersión de la semilla y la caída de las hojas. La caída de las hojas ocurre inmediatamente después de la dispersión de las semillas y corresponde a un mecanismo de protección desarrollado por la especie para proteger a las semillas de los posibles predadores, adicionalmente facilita el desplazamiento de las semillas por efecto de la topografía y asegura condiciones de humedad para promover la germinación durante la próxima primavera. La dispersión de la semilla se observa entre enero y febrero, y el cambio del color del follaje y caída de las hojas se detecta entre principios de marzo y fines de mayo.

El desarrollo de los brotes, la floración, el tamaño de las hojas y la caída de las mismas, depende de la temperatura, mientras que el cambio en el color del follaje está relacionado con el fotoperíodo. También se sugiere, que la dispersión de la semilla es inducida por las bajas temperaturas.

ASPECTOS GENÉTICOS BÁSICOS

Todos los árboles están compuestos de una multitud de células, aunque las células de distintos órganos pueden parecer distintas, contienen estructuras similares, como pared celular, citoplasma y núcleo. El núcleo de cada célula contiene el material genético. Salvo en el caso de las células reproductivas (óvulos y granos de polen) las células contienen dos copias del material genético del árbol. Cuando éstas se dividen, el material genético se organiza en una serie de estructuras alargadas de forma filamentosa llamadas cromosomas. En las células somáticas, es decir del cuerpo del árbol, cada cromosoma tiene un equivalente con la misma longitud y forma y contiene información genética para la misma característica. Esos dos cromosomas son los dos miembros de un mismo par de cromosomas, uno derivado de la madre o progenitor femenino y el otro del padre o progenitor masculino. El número de pares de cromosomas es típico para cada especie, así por ejemplo el ser humano tiene 23 cromosomas y como son $2n$ el número total es de 46.

Ono (1977) establece que *Nothofagus pumilio*, como todas las especies del género *Nothofagus*, tiene un número de cromosomas $2n = 26$.

Los genes están localizados a lo largo de los cromosomas. Un gen es una unidad básica funcional de la herencia; esto significa que contiene la información genética que es transmitida y resultará en la expresión de una característica en particular en la descendencia. Todo el largo del cromosoma puede dividirse en miles de esas unidades funcionales. El gen está compuesto por un material llamado ácido desoxirribonucleico o ADN. Esta es la molécula fundamental de la vida porque tiene dos propiedades únicas:

- El ADN puede servir como modelo para la producción de réplicas de sí mismo.

- El ADN puede actuar como un transportador de información (los genes contienen toda la información necesaria para producir un nuevo individuo).

El genotipo de un árbol representa el gen o el grupo de genes responsable para cada característica en particular. En un sentido más general, el genotipo describe todo el grupo de genes heredados por un individuo.

En contraste con lo anterior, el fenotipo es el valor tomado por una característica, en otras palabras, es lo que puede ser observado o medido. Por ejemplo, el fenotipo puede ser la altura total de un árbol, el diámetro, la rectitud, el volumen, el tamaño de la semilla y el tamaño de las flores femeninas o masculinas.

Hay diferencias importantes entre genotipo y fenotipo. El genotipo es esencialmente una característica permanente del árbol; éste se mantiene constante a lo largo de toda la vida y es inalterable por los factores del ambiente.

Cuando solamente uno o unos pocos genes son responsables de una característica, el fenotipo normalmente continúa inalterable a lo largo de toda la vida, como por ejemplo el color del follaje. En este caso, el fenotipo da una buena indicación de la composición genética de un individuo. Aun así, para algunas características, el fenotipo cambia continuamente a lo largo de la vida de un individuo en respuesta a los factores del ambiente. En este caso, el fenotipo no es un indicador seguro del genotipo. Generalmente esto ocurre cuando muchos genes son responsables de la expresión de una característica, como lo son las variables de crecimiento; el DAP, la altura y el volumen.

Transmisión del Material Genético

- División Celular

Durante el crecimiento de un árbol, el número de células en las diferentes partes del árbol se incrementa por medio de divisiones celulares. Durante este tipo de divisiones (mitosis) el ADN se duplica y cada célula resultante obtiene una copia idéntica de todos los cromosomas de la célula progenitora. Como resultado del aumento del número de células, los distintos órganos y el cuerpo entero del árbol aumentan de tamaño.

Sin embargo, para crear las células sexuales (gametos) que participan en la reproducción, se produce un tipo de división celular diferente (meiosis). En la flor masculina se producen los granos de polen dentro de las tecas que portan los estambres. La flor femenina porta un ovario, con sus óvulos. Tanto el grano de polen como los óvulos son los gametos o células reproductivas, estos se producen mediante una división celular especial denominada meiosis. Los gametos contienen solamente un miembro de cada par de cromosomas. De esta forma las células que forma los tejidos del árbol de lenga contiene 26 cromosomas ($2 \times 13 = 26$), pero el grano de polen y el óvulo en el ovario contienen solamente 13 cromosomas ($n = 13$).

- Polinización

Las lengas presentan sistemas de autoincompatibilidad, es decir un gameto masculino de un mismo árbol normalmente no puede fertilizar un óvulo de una flor femenina de ese mismo árbol. La naturaleza ha creado variados mecanismos que evitan la autofertilización. Entonces, los billones de granos de polen son transportados por el viento y depositados sobre otros árboles con flores femeninas receptivas. De este proceso solo un tubo germinativo de un grano de polen fertilizará un óvulo.

Durante este proceso, llamado de polinización y fertilización, los cromosomas se unen en pares para reconstruir una célula genéticamente completa con $2n = 26$. Esta célula es llamada cigoto y representa el primer estadio de desarrollo de una nueva planta. La mitad de los cromosomas en el cigoto provienen del árbol que aporta los gametos femeninos y la otra mitad del árbol que aporta los gametos masculinos, habrá después una multitud de divisiones celulares que proseguirán para formar el embrión y la semilla. Posteriormente, la semilla germinará y dará origen a una nueva planta que conservará el número de cromosomas y la información genética recombinada de sus progenitores.

- Transmisión

Cada célula posee dos pares de cromosomas, uno de cada progenitor. Por lo tanto cada célula también posee un par de cada uno de los genes. Las formas alternativas de un gen en un *locus* particular del cromosoma se denominan alelos. Los alelos están localizados en cada uno de los dos miembros del par de cromosomas. Los alelos para un gen pueden o no ser idénticos. En otras palabras, el hecho de que 13 pares de los cromosomas en los *Nothofagus* sean aparentemente idénticos no implica que los alelos de los genes que llevan sean idénticos.

Por ejemplo, la lenga puede tener el fuste recto o torcido y se podría asumir, en una simplificación extrema, que esta diferencia en la rectitud está determinada por un gen que tiene dos formas diferentes (dos alelos). Si se les llama "A" y "a", el alelo "A" da como resultado árboles rectos y el alelo "a" un árboles torcidos. Este es un supuesto optimista como se verá más adelante. Claramente el par de cromosomas que llevan ese gen puede ser "AA", "Aa" o "aa". Cuando los dos alelos de un gen son idénticos, se dice que el árbol es homocigoto ("AA" o "aa") para ese carácter. Por el contrario, los árboles con diferentes alelos en un gen determinado son llamados heterocigotos ("Aa"). Los árboles con "AA" son rectos y los que tienen "aa" son torcidos. Cuando el árbol es "Aa", y hay dominancia completa el alelo "A" es expresado y el alelo "a" no lo es, y este último se dice que es recesivo. En otras circunstancias el genotipo Aa puede ser una mezcla en distintas proporciones de recto y torcido. En este ejemplo por simplicidad se asume dominancia completa, por lo tanto el árbol es recto. Debe destacarse que esta es una simplificación extrema, solo para efectos explicativos, dado que en la realidad un carácter tan complejo como la rectitud del fuste depende de intrincados efectos gobernados por distintos genes y que, además, está sometido a una considerable modificación por efectos ambientales.

Frecuencias Genéticas

Los gametos masculino y femenino contienen solamente un grupo de cromosomas. Por lo tanto, la mitad de las células reproductivas reciben un alelo y la otra mitad recibe otro. Los árboles que son "AA" solo pueden producir células reproductivas con el alelo "A" y, del mismo modo, los árboles que son "aa" solo pueden producir células con el alelo "a". Sin embargo, los árboles que son "Aa" producirán células reproductivas que contengan bien el alelo "a" o bien el "A". La mitad de las células reproductivas será "A" y la otra mitad será "a".

Si se considera ahora el cruzamiento de un árbol recto de genotipo "AA" con un árbol torcido de genotipo "aa", todos los descendientes directos, referidos como F1 (primera generación), son rectos de genotipo Aa.

Toda la F1 será recta debido a que llevan el alelo "A", pero también llevan el alelo "a". Cuando dos árboles de la generación F1 se cruzan, la mitad de los gametos masculinos y femeninos reciben el alelo "A" y la otra mitad recibe el alelo "a". Por lo tanto, segunda generación (F2) estará compuesta de $1/4$ "AA", $1/2$ "Aa", $1/4$ "aa". En ambos árboles, los "AA" y los "Aa" son rectos ($1/4 + 1/2 = 3/4$) y $1/4$ de los árboles son torcidos.

En el ejemplo, la generación de progenitores se asumió que fueran "AA" y "aa". Aun así, cuando existen dos posibles alelos para un gen, existen seis tipos posibles de cruzamientos. En el Cuadro N° 1 se presenta la frecuencia esperada de la descendencia para cada posible cruzamiento.

Cuadro N° 1
FRECUENCIAS ESPERADAS EN LA F1 OBTENIDA DE LOS POSIBLES CRUZAMIENTOS DE DOS
PROGENITORES PARA UN PAR DE ALELOS

Progenitor		Frecuencia Esperada	
Masculino	Femenino	Genotípica	Fenotípica
AA	AA	Todos AA	Árboles rectos
AA	Aa	$1/2$ AA	Arboles rectos
		$1/2$ Aa	Arboles rectos ⁽¹⁾
AA	Aa	Todos Aa	Arboles rectos ⁽¹⁾
Aa	Aa	$1/4$ AA	Arboles rectos
		$1/2$ Aa	Arboles rectos ⁽¹⁾
		$1/4$ aa	Arboles torcido
Aa	Aa	$1/2$ Aa	Arboles rectos ⁽¹⁾
		$1/2$ aa	Arboles torcidos
aa	Aa	Todos aa	Arboles torcidos

⁽¹⁾. El modelo supone que el alelo "A" es dominante y se expresa originando árboles rectos.

El hecho de considerar el alelo dominante "A" como causante de la rectitud es una opción optimista, ya que los bosques de lenga presentan en la actualidad árboles con fustes torcidos o poco rectos y está podría ser la condición dominante.

Además, es importante notar que se utiliza la palabra “esperada”, ya que cuando se realiza un número pequeño de observaciones, como resultado de solo unos pocos cruzamientos, la frecuencia real puede diferir.

FUERZAS EVOLUTIVAS EN LAS POBLACIONES

La selección es la fuerza evolutiva más conocida y es simplemente la reproducción diferencial de genotipos diferentes. Los genotipos con mayor adecuación son los que producen más progenie, pasando más copias de sus genes a las generaciones posteriores. Así las frecuencias de sus alelos aumentan en la población y las de otros con menor adecuación disminuyen. El hombre puede ejercer una selección direccional, mediante sus esquemas de explotación de los árboles, favoreciendo determinadas frecuencias alélicas por lo tanto incidiendo en la fijación de ciertas características de los árboles. Si esta acción la realiza desde una actitud reflexiva y con sentido común puede ser de gran beneficio, pero si sus acciones son basadas en un desconocimiento, o visión comercial mal concebida, puede ocasionar grandes problemas, como la selección disgénica. La selección puede diferenciar u homogenizar poblaciones, dependiendo de la naturaleza del ambiente. Si las poblaciones se encuentran en ambientes diferentes, como por ejemplo altitudes diferentes, van a diferenciarse, como es el caso de la lenga, y si están en ambientes muy parecidos, la selección puede actuar para homogenizarlas.

El flujo génico o migración es el movimiento de alelos de una población a otra y en los árboles este ocurre por medio del movimiento de polen y semillas entre poblaciones. El efecto del flujo génico es hacer las dos poblaciones más parecidas. El flujo génico también puede ocurrir entre especies por medio de hibridaciones, seguido por cruza entre híbridos y una o ambas de las especies paternas (introgresión). El flujo génico puede ser provocado por el hombre mediante el movimiento de semillas en forma discriminada, con esto se puede estar rompiendo y destruyendo procedencias que habían logrado a través de la evolución una adaptación a determinados sitios. En este contexto surge el ordenamiento genético como una necesidad imperiosa para evitar la destrucción de dichas poblaciones o su capacidad de resiliencia.

La deriva genética es un proceso aleatorio que es particularmente importante en poblaciones pequeñas. Si se toma como ejemplo un envase lleno de bolitas, la mitad rojas y la otra mitad blancas, y se escoge aleatoriamente 100 bolitas es probable que alrededor del 50% sean rojas, lo cual no es sorprendente, pero sí lo sería que de las 100 bolitas seleccionadas 100 sean rojas y se sospecharía que no se escogió las bolitas al azar. Ahora, si se escoge 5 bolitas y las 5 son rojas no es tan sorprendente. En muestras pequeñas, los procesos aleatorios tienen un efecto mucho más fuerte. En bosques fragmentados por la acción del hombre este proceso es muy común. El proceso de reproducción de los organismos vivos es muy parecido al ejemplo del envase con bolitas. En cada generación se muestrea alelos del acervo genético de todos los alelos para constituir la próxima generación. Si se toma una muestra pequeña, la próxima generación puede ser muy diferente de la anterior, debido a los procesos aleatorios. En el caso extremo, la población puede perder alelos y así la deriva genética puede causar pérdida de variación genética, debido a que esta deriva es un proceso aleatorio, el resultado no es el mismo en cada población, y así puede causar la diferenciación entre poblaciones en una dirección no conveniente.

Otro ejemplo de deriva genética es el efecto fundador. Si una nueva población está fundada por pocos individuos y, debido a los procesos aleatorios, estos fundadores no son representativos de la población de donde vienen, entonces la nueva población será diferente de la población original. Es por esto que para el muestreo genético se requiere un tamaño de población efectiva suficiente para capturar la variabilidad de la procedencia.

El sistema de intercruzamientos es otra fuerza importante. No cambia las frecuencias alélicas, pero la recombinación durante el ciclo sexual puede generar una gran cantidad de variación al crear nuevas combinaciones de alelos en los individuos. Por ejemplo, con solo diez genes y dos alelos por gen, el número posible de genotipos es de 59.049. Esta es la estrategia típica cuando se establece un huerto semillero clonal, donde se permite la coexistencia y el intercruzamiento de genotipos de orígenes distantes, sin ningún grado de parentesco. Genotipos que no tienen ninguna posibilidad de cruzarse bajo condiciones naturales, originan progenies de gran variación genética. Bajo este esquema, es difícil encontrar tanta variación genética en la naturaleza como en un huerto semillero clonal.

La endogamia es el cruzamiento entre individuos emparentados y disminuye el poder de recombinación. En muchas especies que practican normalmente el cruzamiento exogámico, la endogamia puede causar la pérdida de vigor o depresión endogámica. La mayoría de los individuos normalmente tienen algunos alelos recesivos deletéreos, pero estos alelos no tienen ningún efecto porque son heterocigotos a estos genes. Sin embargo, la endogamia aumenta la frecuencia de homocigotos y así produce más individuos con dos copias de un alelo recesivo deletéreo. Esto puede ser un problema, particularmente en poblaciones pequeñas donde es menos probable encontrar una pareja no emparentada. La dinámica natural de los bosques de lenga, en un momento determinado, permite que coexistan familias en bosquetes con distintos grados de parentesco, pero también la enorme competencia que se desarrolla cuando se establece la regeneración tiene que ser vista como un mecanismo de eliminación de homocigotos portadores de genes recesivos deletéreos y este es el punto clave que los silvicultores deben considerar en el manejo de los bosques de lenga, en particular, y de *Nothofagus*, en general.

Cada bosquete familiar corresponde a la descendencia de una madre y, en el mejor de los casos, de padres desconocidos no emparentados. Normalmente corresponden a bosquetes donde compiten miles de árboles en una evidente lucha por la supervivencia. Estos individuos normalmente son medio hermanos, con padres desconocidos producto de la polinización abierta. De acuerdo a Martínez Pastur *et al.* (2008) en lenga no existe evidencia de la ocurrencia de autopolinización debido al desfase entre la floración masculina y femenina, pero ello no implica que no puedan originarse plantas de individuos emparentados. No obstante, la alta competencia intraespecífica e intrafamiliar sigue siendo el mejor mecanismo de purgar genes recesivos deletéreos de la población.

EL PARADIGMA DE LA IGNORANCIA

En la evolución natural de los bosques, cualquiera que estos sean, se ejerce un violento proceso

de selección. Gracias a esto tenderán a sobrevivir los individuos más aptos para la vida, es decir aquellos que llegan más rápidos al dosel superior en búsqueda de luz, y aquellos que resisten en forma más adecuada el ataque de los enemigos naturales, los que consolidan un sistema radicular más apropiados para colonizar el suelo, y aquellos que una vez que llegan al dosel superior expanden sus copas protegiendo al suelo e interceptando de mejor forma las gotas de lluvia que provocan la erosión, y aquellos que sustentan otras formas de vidas en sus altas copas. Por esto, a través de los miles de años de evolución se han fijado combinaciones de alelos que hacen que ciertos árboles crezcan más rápido, alcancen una mayor altura, un mayor diámetro y por ende un mayor volumen en sitios específicos. Son los árboles que más sirven al hombre en términos de bienes y servicios, y son los primeros que se talan, incluso sin que ellos puedan tener descendencia.

En Chile, el aprovechamiento de la madera de lenga no ha diferido del resto de las especies forestales de interés económico, la práctica de explotación ha sido tradicionalmente la selección de los mejores ejemplares (floreo), los árboles más rectos, los de mayor altura, diámetro y por ende los de mayor volumen aprovechable, los cuales han sido cortados, sacados del bosque para su elaboración como madera aserrada, leña y/o astilla. Cabe destacar que solo en los últimos años ha existido un esfuerzo a través de un sistema más racional conocido como cortas de protección, pero las áreas son aún muy pequeñas, y en muchos casos es un floreo disfrazado.

El procedimiento conocido como “floreo” altera la evolución natural de los bosques y hace que surjan como individuos dominantes árboles que en condiciones naturales tenderían a ser suprimidos y aportar una dosis pequeña de alelos a las futuras generaciones de bosques. Mediante el floreo el hombre ha roto el dinámico desarrollo de la competencia y de la supervivencia de los más aptos. Los mejores árboles, que normalmente dominan el dosel, son árboles que han logrado una mejor velocidad de crecimiento, en términos de altura, diámetro y rectitud, en los micrositos del bosque, porque han logrado vencer a otros menos aptos para la supervivencia y de crecimiento más lento. Esta capacidad de lograr vencer a los demás bajo una igualdad de sitio está determinada por una combinación de alelos en particular alcanzada a través de milenios de evolución. Es decir, estos árboles presentan combinaciones de alelos y frecuencias de determinados alelos que los hacen que se ajusten de mejor forma a un sitio determinado. Estos árboles han logrado una sintonía con el medio ambiente mejor que sus vecinos que han sucumbido en la dura lucha por la supervivencia. Estos árboles expresan su potencial genético porque hacen realidad la paradoja de la llave y la cerradura. La llave es su frecuencia de genes y la cerradura el sitio. Se ajustan perfectamente y, ante un ambiente cambiante, van ajustándose a través de las generaciones sucesivas, ya que su genoma (los genes de una población) tiene la capacidad de crear nuevas combinaciones de aptitud o de ajuste, gracias al apareamiento o cruzamiento entre ellos y a la dinámica del ecosistema. Debido a su éxito estos árboles se convierten en verdaderos sementales, los cuales van dejando su impronta genética en cada generación.

Al producirse el floreo, es decir la eliminación de los sementales del bosque sin que estos puedan transmitir sus genes a través de la descendencia, van surgiendo como árboles dominantes aquellos que no presentan combinaciones apropiadas de genes de acuerdo a la paradoja de la llave y la cerradura. Árboles que no han sufrido la fuerte selección natural por la supervivencia.

Aunque estos árboles pueden llevar en su genoma el potencial de desarrollarse con éxito, han demostrado que la combinación de alelos no es la óptima. Estos árboles como sementales darán una progenie de un desempeño inferior y tardarán varias generaciones en lograr los niveles óptimos en aptitud para la supervivencia y en igualar a los sementales perdidos.

Los reiterados floreos durante cientos de años conducen a un empobrecimiento del acervo genético, de la capacidad de resiliencia y por ende del potencial de recuperación de los bosques de lenga y en general de cualquier especie del bosque nativo de biología reproductiva similar. Las combinaciones de alelos y sus frecuencias genéticas estarán muy por debajo de la ley de equilibrio de Hardy y Weiberg, que dice que la frecuencia genética en una población panmíxica, en la cual cualquiera tiene la misma oportunidad de ser padre o madre, no cambia de generación en generación. Estudios en raulí (*Nothofagus alpina*) (Ipinza *et al.*, 2000) revelan que esta especie se encuentra muy por debajo de dicho equilibrio. Es decir, se ha producido una pérdida de la variabilidad genética, se ha perdido parte de la especie. Luego estas poblaciones no están en condiciones de poder adaptarse a los fuertes cambios ambientales, incluido los cambios globales a que están inevitablemente sometidos. Ha cambiado la llave, esta no será capaz de abrir la nueva cerradura.

La pérdida de variabilidad genética conlleva que internamente el bosque no tenga la capacidad de resiliencia adecuada para soportar el estrés ocasionado por el círculo perjudicial del cambio de temperatura, régimen hídrico e insectos y hongos entre otros, y estos últimos encontraran en dichos árboles una presa más apropiada para su procreación. Estos árboles ya no tienen las combinaciones de alelos que habían logrado acumular durante cientos y cientos de años de evolución y lucha por sobrevivir. En desarrollo de brotes epidémicos es una de las manifestaciones de los árboles que han perdido la capacidad de competir con éxito con estos agentes dañinos.

El diagnóstico no es halagüeño, se han roto los equilibrios ecológicos básicos en general en todos los bosques nativos chilenos, en mayor o menor grado. No es difícil hacer este diagnóstico, el verdadero problema es qué hacer, cómo enfrentar el desafío de la recuperación. No se puede “llorar sobre la leche derramada”, pero sí si se la derrama dos veces, cosa que está ocurriendo ya que la restauración de los bosques nativos chilenos sin considerar aspectos de su genética poblacional está siendo un problema, incluso a nivel mundial (Bozzano *et al.*, 2014). El hombre ha causado esta situación y solo el hombre a través de su conocimiento científico puede en parte remediarlo. Esto en parte, ya que existe una dimensión ética y una voluntad política y económica de una sociedad para recuperar el acervo genético de los recursos forestales nativos.

HERRAMIENTAS Y OPCIONES

El análisis de la factibilidad de las distintas opciones para la recuperación de la variabilidad genética y por ende del potencial productivo de un bosque debe ser visualizado en función del aprovechamiento de estos recursos por la humanidad, en bienes y servicios. El bien más apreciado es la producción de madera y, entre los servicios, captura de CO₂, regulación del agua, paisaje, recreación y belleza escénica. Las distintas opciones deben considerarse en muchos casos como opciones complementarias.

No Tocar los Bosques

La recuperación natural es muy lenta y permite distinguir entre una recuperación aparente y una recuperación real. La recuperación aparente es solo visual, el bosque comenzará a regenerarse, los árboles empezarán nuevamente a competir y las inapropiadas frecuencias alélicas del genoma comenzarán a recombinarse nuevamente. No obstante, es probable que esta forma de recuperación del bosque tome cientos de años dependiendo del tamaño del bosque residual y, además, es posible que el proceso tome cualquier dirección, ya que esta está determinada por la variabilidad genética actualmente existente y por la presión de selección del ambiente actual. El bosque comenzará su proceso de sanación y de búsqueda de un nuevo equilibrio, pero sin la capacidad o resiliencia que le confiere la variabilidad genética total. Los procesos aleatorios redireccionarán al bosque hacia cualquier estado. Al cabo de muchos siglos o milenios podría llegar a una recuperación apropiada.

Los árboles que hoy conforman los bosques chilenos son árboles que comparativamente crecen más lentos que los sementales que reinaban anteriormente, por lo tanto su tasa de acumulación de CO₂ es menor y también es menor la acumulación de madera.

El no hacer nada sobre un bosque alterado, disminuido en su capacidad homeostática, es comprometer la sustentabilidad del recurso, por lo que en muchas situaciones la conservación *in situ* no será la mejor opción. Aun así, esta opción se debería llevar a cabo en parques nacionales efectivos, es decir, sin la acción destructora del hombre. En donde se debe monitorear su recuperación a través de técnicas moleculares de ADN.

Silvicultura Amistosa con el Medio Ambiente

Existen muchas técnicas silvícolas que se han aplicado con cierto éxito en otras especies de *Nothofagus* (Muller-Using *et al.*, 2013), no obstante cualquiera de ellas llevará cientos de años en recuperar el potencial de los bosques de lenga.

Es una condición que el manejo silvícola sea realizado por personal calificado científicamente y con controles efectivos, solo de esta forma será posible conseguir la recuperación antes que la opción anterior. A través de la selección direccional, que se ejerce sobre los progenitores y sobre la regeneración, se podrá ir recuperando la variabilidad genética y por ende el potencial productivo en bienes y servicios del bosque. Dicha opción será efectiva en la medida que la fragmentación genética no haya implicado una pérdida de alelos significativa, ni se haya comprometido su resiliencia.

La paradoja que existe en esta situación es entender que no se puede matar la “gallina de los huevos de oro”, ya que si se quiere alcanzar un óptimo aprovechamiento en los bienes y servicios se debe aprender cómo funcionan los bosques y una vez entendido el proceso se puede cosechar una cantidad de productos tal que no comprometa su resiliencia ni la sustentabilidad de estas poblaciones. La sustentabilidad del bosque no solo está determinada por los cupos de corta sino por reestablecer, mantener y acrecentar su variabilidad genética. Mediante la captura de

mercados de productos forestales de valor agregado de alta calidad, con incentivos al manejo sustentable, con la aplicación de técnicas silvícola adecuadas, llevadas a cabo por personal calificado y con una supervisión de alto nivel, se puede hacer mucho en pro de la recuperación del recurso forestal. Por último, si la silvicultura va enlazada a programas de conservación y mejoramiento genético los resultados pueden ser mejores.

En las reservas forestales, el Estado debe constituir un ejemplo de manejo silvícola, que sirva de modelo para difundirlo a la sociedad en forma efectiva. En la actualidad se vislumbran algunos incipientes esfuerzos en dicha dirección.

Para monitorear la efectividad de la aplicación de las técnicas silvícolas para la recuperación de la variabilidad genética, también se deben realizar sistemáticas evaluaciones a través de técnicas moleculares de ADN.

Mejoramiento y Conservación Genética

Una especie de tan amplia distribución natural como la lenga, que abarca numerosas situaciones edafoclimáticas, necesariamente presenta patrones de respuesta a la variación ambiental sobre diferentes tipos de suelos y clima.

La especie ha demostrado su enorme capacidad de permanecer durante miles de años, por lo que es el mejor candidato para enfrentar el cambio climático en el sur de Chile.

No obstante, para entender las funciones de respuesta es necesario muestrear las poblaciones que *a priori* presentan características útiles, de esta forma el silvicultor puede disminuir la incertidumbre en la futura distribución ambiental del bosque, el régimen silvicultural y la clase de funciones de respuestas genotípicas a mejorar para esas condiciones.

La estrategia general utilizada se denomina de poblaciones múltiples, la cual mezcla elementos de conservación *in situ* y *ex situ*, y considera aspectos de corto plazo para hacer más dinámico el proceso de permitir la generación de semilla con cierto nivel de mejora.

La estrategia parte por reconocer que la especie lenga está conformada por múltiples subpoblaciones, las cuales se pueden caracterizar *a priori* mediante un adecuado análisis genético y ecológico, asistido mediante un sistema de información geográfico (SIG), las cuales en el futuro tendrán que ser analizadas mediante análisis molecular de ADN.

REFERENCIAS

Bozzano, M.; Jalonen, R.; Thomas, E.; Boshier, D.; Gallo, L.; Cavers, S.; Bordács, S.; Smith, P. and Loo, J. (Eds.), 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources – Thematic Study. Rome, FAO and Bioversity International.

Donoso, C., 1981. Tipos Forestales de los Bosques Nativos de Chile. Documento de Trabajo N°38. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF/PNUD/FAO), Santiago, Chile.

Donoso, C., 1995. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica, 3ª Edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile, 484 p.

Elizalde, R., 1970. La supervivencia de Chile: la conservación de sus recursos naturales renovables. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola Ganadero. 532 p.

Ipinza, R.; Gutierrez, B. y Emhart, V. (Eds.), 2000. Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble, Primera Edición. Universidad Austral de Chile/Instituto Forestal., ISBN: 956-288-691-3

Martínez-Pastur, G.; Lencinas, M. V.; PERI, P. and Cellini, J. M., 2008. Flowering and seeding patterns in unmanaged and managed *Nothofagus pumilio* forests with a silvicultural variable retention system. Forstarchiv 79: 60-65.

Muller-Using, S.; Martin, M.; Siebert, H.; Muller-Using, B.; Uribe, J. y Rojas, Y., 2013. Antecedentes y Herramientas para la Regeneración del Tipo Forestal Roble – Raulí – Coigüe. Informe Técnico N° 197. Reporte de Prácticas Silvícolas 2013. 50 p.

Ono, M., 1977. Chromosome number of some South American species of *Nothofagus* (Fagaceae). Botanical Magazine Tokyo 90: 313-316.

Veblen, T. T.; Donoso, C.; Kitzberger, T. and Rebertus, A. J., 1996. Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* forests. In: T. T. Veblen, R. S. Hill & J. Read (Eds.), The Ecology and Biogeography of *Nothofagus* Forests. Yale University Press, New Haven, USA. Pp: 293-353.

Capítulo 6

PLASTICIDAD FENOTÍPICA SIGNIFICADO Y MÉTODO DE CÁLCULO

Roberto Ipinza Carmona¹

Braulio Gutiérrez Caro²

INTRODUCCIÓN

Por plasticidad fenotípica (PF) se entiende a la capacidad que presenta un organismo determinado para manifestar distintas expresiones fenotípicas (cambios morfológicos o fisiológicos) como respuesta o reacción frente a cambios en el ambiente. De acuerdo con Gianoli (2004) el significado adaptativo de la plasticidad fenotípica se puede determinar a la escala del individuo, de la población y de la especie. En el primer caso, enmarcado dentro de una perspectiva ecofisiológica, se indaga por el significado funcional de las respuestas plásticas observadas en los fenotipos. En el segundo caso, orientado a la ecología evolutiva, se aborda la relación entre la norma de reacción y la adecuación biológica de genotipos representativos de una población. En el tercer caso, vinculado con la ecología clásica, se estudia el rol de la plasticidad fenotípica en los patrones de distribución de una especie.

En el presente capítulo se analiza y presenta información respecto a las implicancias de la plasticidad fenotípica sobre la variabilidad genética de las poblaciones, su relación con la selección natural y el potencial evolutivo de las mismas, así como con la selección artificial y el mejoramiento genético. Se presenta y discute también un procedimiento para determinar la plasticidad fenotípica en base a análisis de varianza.

CONCEPTOS PRELIMINARES

El fenotipo de un individuo es el resultado de su genotipo, del ambiente en el que se desarrolla y de cómo interaccionan ambos factores, aspecto que normalmente se representa con la siguiente ecuación (1).

$$(1) \quad \text{Fenotipo} = \text{Genotipo} + \text{Ambiente} + (\text{Genotipo} \times \text{Ambiente})$$

En esta ecuación se explicitan las dos partes generales responsables de la existencia de variación fenotípica, *i.e.*, genotipo y ambiente. En ella se establece que el fenotipo es, en parte, la consecuencia del acervo genético de los organismos (*i.e.*, de su genotipo), es decir que la

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl.

² Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

variación fenotípica entre distintos individuos en un mismo ambiente evidencia la existencia de variación genética entre los mismos. En segundo lugar, la ecuación señala que un mismo individuo (*i.e.*, un mismo genotipo) puede expresar diferentes fenotipos en función del ambiente que experimente o, lo que es lo mismo, puede expresar plasticidad fenotípica. Por último, la ecuación indica mediante el término *Genotipo x Ambiente* que el fenotipo es una propiedad emergente que surge de la combinación de ambos componentes. Consecuentemente, los diferentes genotipos pueden expresar mayor o menor plasticidad fenotípica, en algunos o en todos sus rasgos, como respuesta a los cambios ambientales. De hecho, no solo distintos genotipos pueden expresar grados de plasticidad desiguales en diferentes caracteres fenotípicos, sino que una alta plasticidad en un carácter puede causar baja plasticidad en otro carácter que esté vinculado con él funcionalmente, o viceversa (Bradshaw, 1965).

Un rasgo o carácter fenotípico corresponde a cualquier atributo morfológico, fisiológico o fenológico que se pueda medir en un organismo, tanto a nivel de una de sus células como del organismo completo, sin que se haga referencia alguna al contexto en el que dicho organismo se desarrolla. Algunos de estos rasgos son caracteres funcionales, es decir que tienen impacto en la eficacia biológica (*fitness*) de los organismos, o lo que es equivalente, en sus capacidades para sobrevivir, crecer y reproducirse. Raramente un organismo exhibe alta eficacia biológica en todas las situaciones en que vive, sin embargo puede tener la capacidad de alterar su fenotipo en alguna medida y así hacer frente a la heterogeneidad ambiental. La capacidad de dicha alteración se denomina plasticidad fenotípica.

Existe una hipótesis general para las especies con un amplio rango de distribución, las cuales deberían presentar mayor plasticidad fenotípica que las especies con distribución limitada. Para el caso de especies con amplia distribución como algunos *Nothofagus* hay dos modelos que tienden a explicar su éxito al colonizar nuevos sitios. Uno es el modelo del ecotipo localmente adaptado, el cual supone que cada población de la especie, una vez establecida, experimenta cambios diferenciales en sus frecuencias alélicas como resultado de las presiones de selección local. De este modo, la diferenciación en ecotipos especializados se acomodaría a las diferencias ambientales entre hábitats y el rango de distribución de la especie surgiría del agregado total de estas poblaciones localmente adaptadas.

Una propuesta alternativa sugiere que los individuos de especies ampliamente distribuidas conservan el potencial de responder plásticamente a una vasta gama de cambios ambientales. Así, el rango de distribución de la especie surgiría de la holgura de la tolerancia ambiental (plasticidad fenotípica) de sus individuos (Gianoli, 2004). De este modo, la diferenciación intraespecífica puede ser el resultado de la plasticidad fenotípica de un número de caracteres morfológicos o fisiológicos.

Para las especies que presentan variación fisiológica, morfológica y anatómica de acuerdo a su distribución ecológica (como las comprendidas en el género *Nothofagus*), estos caracteres pueden ser el resultado de una combinación de diferentes genotipos y plasticidad de su fenotipo.

Dentro de las estructuras vegetales que presentan mayor plasticidad fenotípica y una variación

muy diversa de formas, se encuentran las hojas. Estas son órganos altamente sensibles, que están continuamente expuestos a factores ambientales, así como a ciclos fenológicos y de crecimiento. Por lo anterior, las hojas han sido consideradas como el principal órgano para evaluar el efecto de los cambios ambientales. Por su parte, la calidad del suelo, la temperatura, radiación solar y humedad, han sido considerados como algunos de los factores que pueden modificar la futura estructura foliar de la vegetación en bosques templados.

PLASTICIDAD FENOTÍPICA, VARIABILIDAD GENÉTICA Y EVOLUCIÓN

Tradicionalmente la plasticidad fenotípica se consideró solo como un mecanismo que atenuaba la selección y reducía la velocidad de los procesos evolutivos debido a que: (i) permite que un mismo genotipo exprese múltiples fenotipos en función de las condiciones ambientales, por lo que no son necesarias otras variantes genéticas para alcanzar una eficacia biológica óptima; y (ii) permite que diferentes genotipos pueden alcanzar la misma solución fenotípica a través de respuestas plásticas, con lo que las diferencias genéticas entre los individuos se esconden a los ojos de la selección.

En efecto, como lo explicita Gianoli (2004), en la visión neo-darwiniana la adaptación a la variabilidad ambiental se da principalmente por medio del mecanismo de selección natural, la que produce un ajuste entre los genotipos (consiguientemente sus fenotipos expresados) y el ambiente. Así, con la existencia de diferenciación genética al interior de las poblaciones, evolucionarían ecotipos adaptados a sus hábitats específicos. Sin embargo, se ha mostrado que la plasticidad fenotípica y la diferenciación de ecotipos no constituyen alternativas mutuamente excluyentes de adaptación a la heterogeneidad ambiental en las poblaciones

Si bien la plasticidad fenotípica se ha estudiado tradicionalmente describiendo los cambios morfológicos y fisiológicos de los individuos (plasticidad fenotípica pasiva o inevitable), resulta de mayor interés estudiar el potencial valor adaptativo de dichos cambios (plasticidad fenotípica adaptativa). Estos últimos estudios recién empiezan a hacerse más frecuentes en la década de los 90 y han generado un marco teórico y experimental con suficiente peso, como para postular a la respuesta fenotípica ambiental como uno de los principales mediadores de la evolución (Schlichting y Pigliucci, 1998; Price *et al.*, 2003; Ghalambor *et al.*, 2007).

Las consecuencias evolutivas de la plasticidad genética pueden ser significativas, en cuanto modula la acción de la selección natural. Esto ocurriría al moderar las diferencias en adecuación biológica (*fitness*) de los genotipos de una población dada, como resultado de la variación de su expresión fenotípica en los diferentes ambientes experimentados por la población. Este “empate global” en adecuación biológica entre genotipos causado por la plasticidad fenotípica limitaría la posibilidad de selección y contribuiría a mantener la variabilidad genética dentro de una población (Gianoli, 2004).

Obviamente, el efecto de las condiciones ambientales sobre la variación genética y, por tanto, sobre la capacidad de una población para responder a la selección natural, influirá en el desarrollo

de nuevas adaptaciones. Así, si la varianza genética de una población aumenta al cambiar el ambiente, también lo hará la probabilidad de adaptación exitosa a ese nuevo ambiente. Además, las mismas causas o mecanismos que pueden provocar cambios en las varianzas genéticas y heredabilidades podrían afectar a las covarianzas genéticas y correlaciones entre caracteres (de Jong, 2005).

Como resultado, una población podría responder en cada ambiente a la misma presión de selección con distintos cambios genéticos debidos a diferentes respuestas correlacionadas.

En diversas ocasiones se ha puesto de manifiesto que covarianzas y correlaciones han cambiado a causa de las condiciones ambientales, tanto en su magnitud como, con menos frecuencia, en su signo, constituyendo una evidencia empírica del efecto del ambiente en la arquitectura genética de los caracteres.

En general, el efecto del ambiente en las covarianzas y correlaciones genéticas cobrará especial importancia en la adaptación a nuevos ambientes porque la expresión de correlaciones genéticas negativas entre componentes de la eficacia biológica o *fitness* ante determinadas condiciones ambientales puede imponer restricciones a la respuesta a la selección natural. Como consecuencia, la respuesta de los caracteres relacionados con la eficacia biológica en esas condiciones podría ser muy diferente de la predicha a partir de las estimaciones de varianzas genéticas por sí solas. Alternativamente, la desaparición en un nuevo ambiente de una correlación genética negativa entre caracteres relacionados positivamente con la eficacia biológica posibilitaría nuevas adaptaciones previamente restringidas por la arquitectura genética en el ambiente habitual.

Por su parte, el grado de adaptación diferencial a las nuevas condiciones ambientales se verá afectado por la interdependencia genética existente entre la expresión de los caracteres en el nuevo ambiente y en el ambiente habitual. Las consecuencias de esta dependencia genética serán fundamentales en la evolución de poblaciones que viven en ambientes heterogéneos porque las interacciones genotipo ambiente, que resultan de adaptaciones específicas de subpoblaciones a unas nuevas condiciones, pueden llegar a desempeñar un papel central en la genética de la especiación, pudiendo facilitar o no la evolución indirecta del aislamiento reproductivo y la restricción del flujo génico entre especies incipientes. En general, cuando en una población la correlación genética aditiva, entre el desarrollo o la eficacia biológica de los individuos en diferentes ambientes, es positiva o cero, la evolución de generalistas adaptados a los diversos ambientes podría estar favorecida, mientras que, si esta correlación es negativa (lo que se denomina *trade-off* en *fitness* entre ambientes) predominaría la selección divergente hacia la especialización en cada ambiente (Via y Lande, 1985).

En definitiva, la adaptación a nuevos ambientes constituye un paso fundamental en la evolución biológica de las poblaciones. Sin embargo, muchos de los aspectos del proceso de adaptación han sido escasamente estudiados de manera simultánea, por lo que, en general, no existe todavía un conocimiento amplio sobre cómo los organismos se adaptan a ambientes diferentes y cambiantes ni de los factores que conllevan la aparición de *trade-offs* entre los caracteres. Para alcanzar un conocimiento más profundo es necesario previamente comprender cómo influye la

diversidad ambiental en la varianza genética y entender cómo la heterogeneidad de varianzas y la falta de correlación de los valores fenotípicos entre ambientes pueden facilitar u obstaculizar la adaptación a unas nuevas condiciones ambientales.

INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE

Cuando distintos genotipos no responden a un cambio ambiental en la misma medida, se está frente a una Interacción Genotipo Ambiente (IGA). Las IGA pueden llegar a provocar que el valor fenotípico relativo de los genotipos varíe de tal manera que el *ranking* u ordenamiento de los valores genotípicos cambie entre ambientes. En general, cuando el ordenamiento de los genotipos varíe entre ambientes, no habrá un único genotipo con el máximo valor del carácter en todas las condiciones y, como consecuencia, la selección sobre ese carácter en diferentes ambientes podría favorecer a distintos genotipos en cada ambiente. Esto podrá suceder aunque la varianza genética no cambie entre ambientes, caso en el que la tasa de respuesta a la selección sería la misma en las diversas condiciones, pero los alelos que aumentan su frecuencia en cada ambiente serían diferentes.

El interés por las interacciones genotipo ambiente desde un punto de vista evolutivo ha aumentado recientemente. Esto se debe, por un lado, al reconocimiento de su ubicuidad, en parte resultado del cada vez mayor número de estudios que ponen de manifiesto interacciones genotipo ambiente demostrando la expresión diferencial de genes en caracteres cuantitativos.

El creciente interés por las interacciones genotipo ambiente desde un punto de vista evolutivo se debe, por otro lado, a su incidencia en la respuesta a la selección natural en ambientes heterogéneos y a su relación directa con la plasticidad fenotípica de los caracteres (Via y Lande, 1985; Sultan, 1987; Thompson, 1991).

En ambientes heterogéneos las interacciones genotipo ambiente podrían tener un importante papel en el mantenimiento de la variabilidad genética de las poblaciones naturales para caracteres relacionados con la eficacia biológica (Gillespie y Turelli, 1989) o, al menos, un papel retardando su pérdida (Via y Lande, 1985). En concreto, dado que este tipo de interacciones reducen la correlación entre el genotipo y el fenotipo, la eficiencia con que la selección natural discrimina entre los genotipos puede ser menor en ambientes que varían espacial o temporalmente, por lo que las interacciones genotipo ambiente podrían actuar restringiendo la evolución fenotípica. La falta de correlación de los valores fenotípicos entre ambientes permite que la eficacia biológica o *fitness* relativa de los genotipos cambie entre ambientes y, por tanto, cuando exista migración entre los diferentes ambientes (o traslapo de generaciones en ambientes que son heterogéneos en el tiempo), la selección natural podrá favorecer a un conjunto diverso de genotipos. Las consecuencias de la interacción genotipo ambiente, especialmente la falta de correlación genética entre ambientes, en la adaptación y respuesta evolutiva de las poblaciones pueden ser relevantes en el proceso de divergencia genética entre poblaciones y en la evolución de sus caracteres.

MEJORAMIENTO GENÉTICO, SELECCIÓN ARTIFICIAL Y PLASTICIDAD FENOTÍPICA

El hecho que la respuesta a la selección pueda depender de las condiciones ambientales ofrece por otro lado la posibilidad de que exista un ambiente óptimo para la selección. Desde el punto de vista de la selección artificial, un ambiente que favoreciese la identificación de los “buenos” genotipos y tendiese a maximizar la cantidad de varianza genética en una población podría considerarse un buen ambiente para seleccionar. Al respecto, Hammond (1947, *cit. por* Yamada y Bell, 1969) propuso que la selección debería realizarse en un ambiente favorable, porque este permitiría la expresión completa de las diferencias genéticas entre individuos respecto a su potencial de crecimiento; análogamente, proponen que la selección para caracteres productivos en poblaciones de plantas cultivadas debería realizarse a baja densidad, porque la competencia por los recursos reduciría la diferenciación genética y disminuiría por tanto la eficacia de la selección.

Aunque determinados ambientes podrían favorecer la expresión de la variación genética de una población, la opinión más generalizada es que para mejorar un carácter en un ambiente determinado se debería realizar la selección en ese ambiente concreto y no en otro, puesto que las respuestas observadas en los ambientes donde no se ha seleccionado son generalmente de menor magnitud que la respuesta directa producida en el ambiente de selección (Falconer, 1990). Aun así, en ocasiones se prefiere una buena respuesta “promedio” en distintos ambientes, más una respuesta máxima en el ambiente concreto de selección. Una buena respuesta promedio representará un criterio de selección cuando no se conoce el ambiente que experimentará una línea seleccionada, o si se sabe que este ambiente incluirá factores que varían de manera impredecible, como podría ser por ejemplo la distribución de lluvia caída de año a año para un tipo de planta cultivada.

Para aumentar el valor de un carácter en diferentes condiciones ambientales, lo que interesará es obtener genotipos no solo con un alto valor promedio para ese carácter, sino que además se vean poco afectados por el ambiente, es decir que posean una alta estabilidad fenotípica o baja sensibilidad ambiental. Los individuos mantendrían de esta manera su alto valor genotípico aunque experimentasen temporalmente un ambiente desfavorable. Desde este punto de vista, una baja plasticidad fenotípica podría ser en sí misma un objetivo de la selección.

Desde hace tiempo los mejoradores han puesto de manifiesto que la plasticidad fenotípica de una población puede cambiar predeciblemente como resultado de la selección para producción en ambientes particulares. En concreto, se ha propuesto que el aumento del valor de un carácter en un ambiente poco favorable provocaría la reducción de la sensibilidad ambiental de una población seleccionada, o que este tipo de selección daría lugar probablemente a una plasticidad menor de lo que lo haría la selección en un buen ambiente (Falconer, 1990).

De hecho, a causa de esta respuesta correlacionada en la plasticidad fenotípica, se llegó a señalar que el procedimiento de selección usado por lo general en los programas de mejora genética desarrollados hasta el momento, en los cuales la selección sobre el carácter de interés

se llevaba a cabo en unas buenas condiciones ambientales, podría haber sido responsable de la escasa ganancia que con frecuencia se observaba en ambientes estresantes o marginales. Como consecuencia, la selección en ambientes desfavorables o de baja calidad, como medio de extender la amplitud de la adaptación de una población, ha sido propuesta reiteradamente con posterioridad tanto en mejora animal como vegetal.

En un contexto general, la posibilidad de que pudiera existir un ambiente óptimo para la selección ha conducido a la discusión sobre si determinados tipos de condiciones ambientales podrían presentar un efecto consistente sobre la expresión de la variabilidad genética o, sobre si los cambios que provoca el ambiente en los parámetros genéticos resultan predecibles. Los intentos de comprobar si esta consistencia existe han sido escasos hasta hace relativamente poco tiempo y, entre éstos, los investigadores se han centrado en gran parte en los cambios que podrían esperarse cuando las condiciones ambientales se vuelven extremas o estresantes para el desarrollo de los individuos.

En agricultura son numerosos los trabajos que han mostrado que la heredabilidad de caracteres relacionados con la producción tiende a ser menor en un ambiente estresante, aunque no tanto como resultado de cambios en la varianza genética aditiva, sino más bien debido a que la varianza ambiental tiende a aumentar. Esta situación parece ser frecuente en este tipo de organismos porque en ellos pequeñas diferencias en la cantidad de recursos (situación causante del estrés en gran parte de los estudios) conducen fácilmente a amplias diferencias en su crecimiento.

Una tendencia en la heredabilidad a presentar valores más altos en ambientes de mayor calidad se ha observado con frecuencia también en trabajos de mejora genética animal y recientemente se ha sugerido en poblaciones naturales.

CÁLCULO DE LA PLASTICIDAD FENOTÍPICA

Durante muchos años se ha estudiado la variación en plasticidad fenotípica entre los genotipos, al respecto Valladares *et al.* (2006) hacen un excelente y detallado análisis. No obstante, en este capítulo y solo por propósitos didácticos se ha elegido el análisis propuesto por Wang *et al.* (2012), ya que estos últimos autores lo efectúan en términos de la interacción genotipo ambiente (IGA).

Para un grupo de genotipos puede haber un particular patrón de variación en la plasticidad fenotípica.

En general la IGA puede ser clasificado en tres tipos: (i) no hay interacción, (ii) interacción no cruzada y (iii) interacción cruzada, tal como se ilustra en las Figuras N° 1, N° 2 y N° 3.

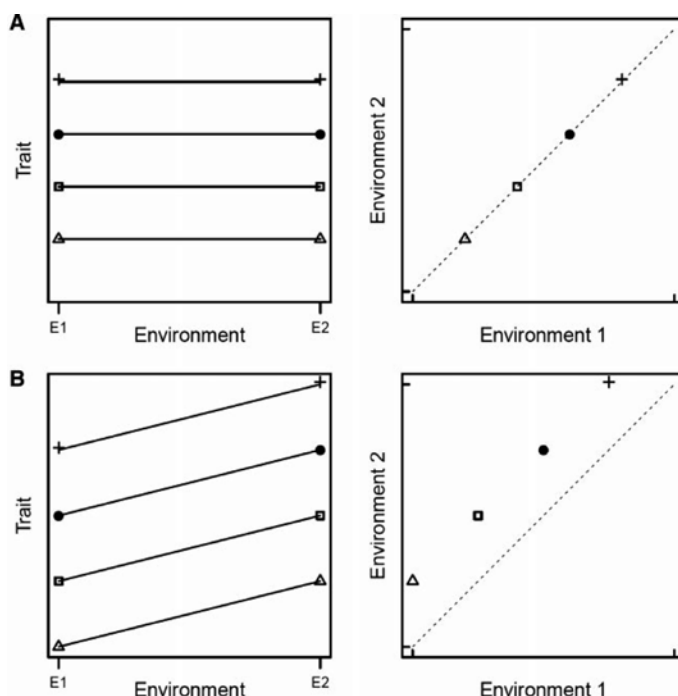


Figura N°1
NORMAS DE REACCIÓN DE UN RASGO FENOTÍPICO PARA CUATRO GENOTIPOS CRECIENDO EN DIFERENTES AMBIENTES. MODELO TIPO 1, SIN INTERACCIÓN.

En el patrón de interacción tipo 1 se observa que cada genotipo es estable a través de los ambientes y no presenta plasticidad fenotípica. En esta situación se verifica que los valores del rasgo en los dos sitios se distribuyen en la diagonal de la gráfica, con una correlación de +1 (Figura N° 1A).

En otra situación del tipo 1, los valores de los caracteres de todos los genotipos aumentan en la misma pendiente de un sitio a otro, con la misma cantidad de la plasticidad fenotípica; aquí los valores del rasgo en la gráfica que reúne a los dos sitios se distribuyen en una recta por sobre la diagonal bisectriz, y al igual que en el caso anterior la correlación de los valores del rasgo entre los dos ambientes es +1 (Figura N° 1B).

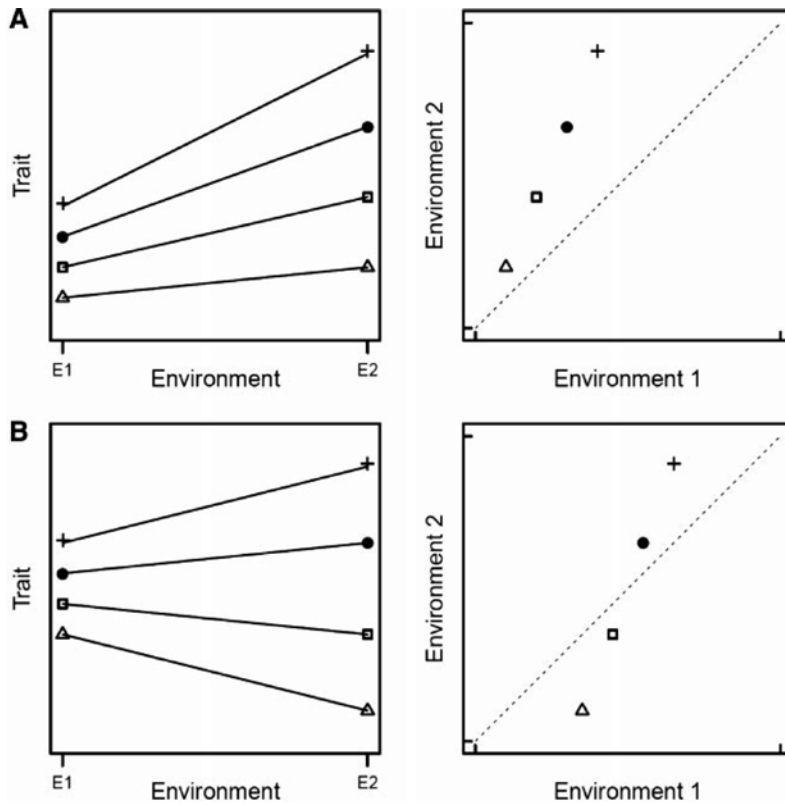


Figura N° 2

NORMA DE REACCIÓN DE UN RASGO FENOTÍPICO PARA CUATRO GENOTIPOS DESARROLLADOS EN DIFERENTES AMBIENTES. MODELO TIPO 2, INTERACCIÓN NO CRUZADA.

En la interacción tipo 2, todos los genotipos aumentan sus valores del rasgo de un sitio a otro, pero con diferentes pendientes, de modo que la cantidad y/o dirección de la respuesta a los ambientes son distintas entre genotipos, pero el orden de los mismos es invariante y se mantiene en cada ambiente. En este caso los valores del rasgo se encuentran dispersos por encima de la diagonal, con una correlación entre los sitios menor que +1 (Figura N° 2A).

Alternativamente, algunos genotipos pueden aumentar sus valores del rasgo de un sitio al siguiente, mientras que en otros genotipos estos valores disminuyen. En esta situación los valores del rasgo se encuentran dispersos por encima y por debajo de la diagonal, con una correlación entre sitios menor que +1 (Figura 2B).

En la interacción tipo 3 los genotipos se desempeñan mejor en un ambiente y peor en otros, observándose cambios del ordenamiento de genotipos entre diferentes ambientes. Estos cambios pueden tener la misma magnitud de diferenciación entre ambientes (Figura N° 3A) o tener magnitudes diferentes (Figuras N° 3B y N° 3C).

En la primera situación de este tipo, los genotipos tienen diferentes direcciones dependiendo de los cambios del sitio, con la media genotípica de plasticidad fenotípica igual a cero. Aquí los valores de los caracteres se distribuyen sobre la diagonal (inversa), cuya correlación entre sitios es -1 (Figura N° 3A).

Alternativamente, en la interacción tipo 3 los genotipos pueden tener la misma dirección de la plasticidad fenotípica, aunque su cantidad es diferente. En este caso los valores de los caracteres están dispersos por encima y por debajo de la diagonal, con correlación entre sitios mayor que -1 (Figura N° 3B).

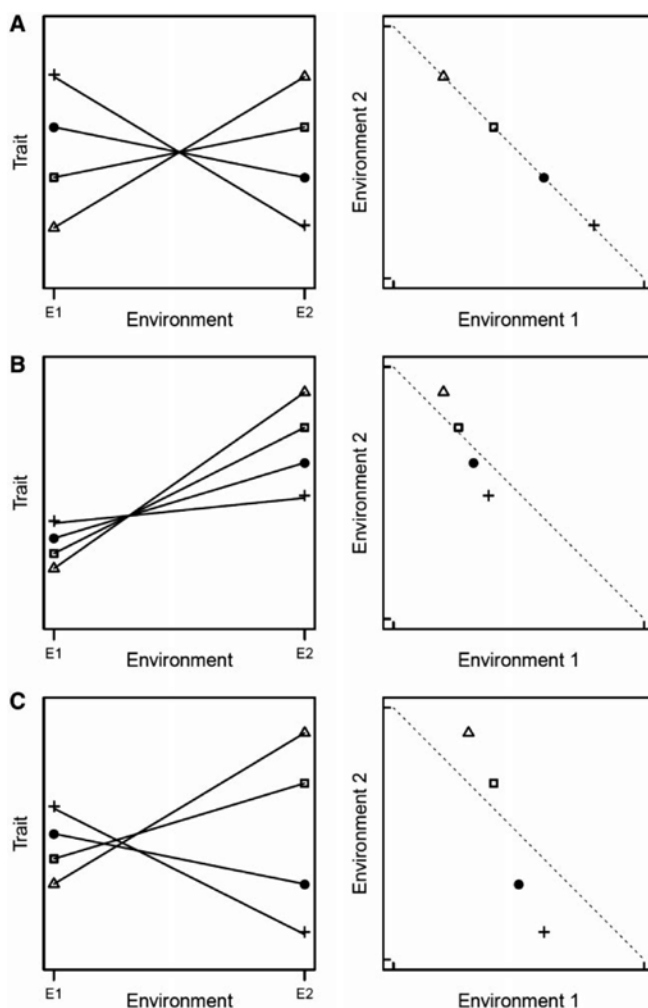


Figura N° 3
NORMAS DE REACCIÓN DE UN RASGO FENOTÍPICO PARA CUATRO GENOTIPOS QUE SE DESARROLLAN EN DIFERENTES AMBIENTES. MODELO TIPO 3, INTERACCIÓN CRUZADA.

Por último, los genotipos pueden diferir tanto en la dirección, como en la cantidad de plasticidad fenotípica sobre los dos sitios. En esta situación, los valores de los caracteres se encuentran dispersos por encima y por debajo de la diagonal, con una correlación entre sitios mayor que -1 (Figura N° 3C).

Los casos en las Figuras N° 3B y N° 3C son diferentes en términos de la variación genética en la cantidad y / o dirección de la plasticidad fenotípica. El primero es simplemente debido a la cantidad, mientras que en el último, se debe tanto a la cantidad como a la dirección.

Para estudiar el grado en que los genotipos varían su respuesta a los cambios ambientales, estos genotipos se deben cultivar en distintos ambientes (sitios). Normalmente se ha utilizado el análisis tradicional de varianza para probar los efectos genéticos, ambientales y de interacción, así como para estimar las varianzas debido a esos efectos y sus contribuciones relativas a la varianza fenotípica total.

La teoría genética cuantitativa tradicional permite estimar y medir la cantidad de IGA mediante el desarrollo de un análisis de varianza (ANDEVA o ANOVA) considerando los datos de los rasgos fenotípicos colectados en ensayos multisitios. El valor fenotípico del rasgo para el individuo l de la progenie i dentro del bloque k del sitio o ambiente j se expresa como (1)

$$(1) P_{ijkl} = \mu + G_i + E_j + B_{k|j} + IGA_{ij} + IGB_{ik|j} + e_{ijkl}.$$

Donde:

- μ : Media general.
- G_i : Efecto genético debido a la i -ésima progenie.
- E_j : Efecto macro ambiental debido al j -ésimo sitio.
- $B_{k|j}$: Efecto micro ambiental debido al de k -ésimo bloque dentro del sitio j .
- IGA_{ij} : Efecto de IGA a nivel macro ambiental (sitios).
- $IGB_{ik|j}$: Efecto de IGA a nivel micro ambiental (bloques).
- e_{ijkl} : Residuo.

El modelo ANDEVA se utiliza para estimar los componentes de varianza debidos a cada uno de los componentes del modelo, lo que se realiza mediante la estructura de cálculo mostrada en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA INTERACCIONES GENOTIPO AMBIENTES (IGA)
EN UN ENSAYO MULTISITIO ASUMIENDO QUE TODOS LOS EFECTOS SON ALEATORIOS

Fuentes	GL	Cuadrado Medio	Cuadrado Medio Esperado
Genotipo	$n-1$	CM_G	$\sigma_e^2 + L\sigma_{IGB}^2 + Ln\sigma_B^2 + LK\sigma_{IGA}^2 + LKJ\sigma_G^2$
Sitios	$j-1$	CM_S	$\sigma_e^2 + L\sigma_{IGB}^2 + Ln\sigma_B^2 + LK\sigma_{IGA}^2 + LK\sigma_S^2$
Bloque/Sitio	$(k-1)j$	CM_B	$\sigma_e^2 + L\sigma_{IGB}^2 + Ln\sigma_B^2$
IGA	$(n-1)(j-1)$	CM_{IGA}	$\sigma_e^2 + L\sigma_{IGB}^2 + LK\sigma_{IGA}^2$
IGB	$(n-1)(k-1)j$	CM_{IGB}	$\sigma_e^2 + L\sigma_{IGB}^2$
Error	$(l-1)kjn$	CM_e	σ_e^2

El supuesto básico es que todos los efectos son aleatorios y las varianzas se estiman de acuerdo a lo siguiente:

$$\sigma_G^2 = 1/LKJ(CM_G + CM_{IGB} - CM_B - CM_{IGA})$$

$$\sigma_S^2 = 1/LKn(CM_S + CM_{IGB} - CM_B - CM_{IGA})$$

$$\sigma_B^2 = 1/Ln(CM_B - CM_{IGB})$$

$$\sigma_{IGA}^2 = 1/LK(CM_{IGA} - CM_{IGB})$$

$$\sigma_{IGB}^2 = 1/L(CM_{IGB} - CM_e)$$

$$\sigma_e^2 = CM_e$$

La varianza genética estimada, σ_G^2 , se debe al efecto genético total aportado por todos los *loci* subyacentes. Las estimaciones σ_S^2 y σ_B^2 corresponden a las varianzas globales de los efectos macro ambientales (sitios) y micro ambientales (bloques), respectivamente. Las varianzas σ_{IGA}^2 y σ_{IGB}^2 son estimaciones debido a la interacción entre el genotipo y el sitio y entre el genotipo y el bloque, respectivamente. Luego, σ_{IGA}^2 puede cuantificar la cantidad de varianza genética en la plasticidad fenotípica para el sitio, mientras σ_{IGB}^2 describe la varianza genética en respuesta a los cambios del efecto bloque.

Ahora se puede utilizar la estimación de estos componentes de varianza para explicar los tipos de IGA. En la Figura N° 1A, existe varianza genética, pero no hay varianza de sitios, ni varianza de IGA. En la Figura N° 1B, hay varianza genética y varianza de sitio, pero no existe la varianza de IGA. Finalmente, en las Figuras N° 2 y N° 3 pueden existir todos los componentes.

Las correlaciones genéticas de los valores fenotípicos entre diferentes sitios también pueden ser usados para cuantificar la varianza genética en la plasticidad fenotípica. En las Figuras N° 1A y N°

1B, donde no se presenta IGA, y al graficar los cuatros genotipos sobre los ejes ambiente o sitio 1 y 2 respectivamente, ellos forma una línea recta sobre la diagonal denotando una correlación genética igual a uno. Las correlaciones genéticas en los dos ambientes o sitios de las Figuras N° 2A y N° 2B es menor que uno, indicando la existencia de IGA. En la Figura N° 3, donde no hay líneas que se crucen la correlación tipo B, entre sitios puede ser negativa (Figura N° 3A), o es menor que uno (Figuras N° 3B y N° 3C).

Esta aproximación (análisis de varianza) tiene limitaciones en el estudio de los procesos dinámicos de control genético sobre una variedad de ambientes o sitios, por lo tanto no permite utilizar la información genética para predecir cuánto será el cambio fenotípico de un rasgo por cada unidad de variación de un factor ambiental en particular.

Wang *et al.* (2012) han propuesto una estructura cuantitativa para describir las respuestas fenotípicas a diferentes ambientes, mediante el uso de curvas matemáticas. Bajo este marco, la variabilidad de los valores fenotípicos, producidos por el mismo genotipo cuando se expone a diferentes sitios, puede ser explicada por parámetros matemáticos de las curvas de respuesta. En comparación con los análisis tradicionales, donde se grafican las medias genotípicas y se comparan en distintos sitios, este nuevo enfoque presenta varias ventajas importantes. Entre ellas: (i) Proporciona una descripción cuantitativa de la variación de las respuestas fenotípicas al variar en una unidad un determinado factor ambiental, manifestando la capacidad de capturar toda la variabilidad en las trayectorias de la norma de reacción; (ii) Permite aplicar principios biológicos al incorporar la plasticidad fenotípica al análisis de la interacción genotipo ambiente (IGA); (iii) Permite, mediante modelación matemática, describir a los fenotipos dependientes del ambiente mediante un número relativamente acotado de parámetros, aumentando el poder estadístico para identificar IGA.

El modelo de Wang *et al.* (2012) es un marco conceptual para desentrañar la base genética de la plasticidad fenotípica, mediante la incorporación del impacto del cambio gradual de un factor ambiental. Para factores ambientes continuos (temperatura, fotoperiodo, humedad, disponibilidad de nutrientes, etc.) se utiliza una apropiada ecuación matemática de relevancia biológica para describir normas de reacción en función de los factores ambientales. En factores ambientales discretos, la plasticidad fenotípica todavía puede ser vista como una respuesta gradual al utilizar un índice ambiental como variable independiente. Además, el modelo incorpora ecuaciones matemáticas de significado biológico en un contexto estadístico que permiten el mapeo genético basado en mapas de ligamiento moleculares. Al poner a prueba las diferencias de un conjunto de parámetros matemáticos entre los genotipos o genes específico (o *loci* de rasgos cuantitativos, QTL), el modelo puede discernir el significado de QTL que desencadenan efectos genéticos sobre trayectorias de normas de reacción.

REFERENCIAS

- Bradshaw, A. 1965.** Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, 13, 115-155.
- de Jong, G. 2005.** Evolution of phenotypic plasticity: patterns of plasticity and the emergence of ecotypes. *New Phytol.* 166: 101-117.

- Falconer, D. S. 1990.** Selection in different environments: Effects previously and in which there are good candidate genes on environmental sensitivity (reaction norm) and on mean performance. *Genet. Res.* 56: 57–70.
- Ghalambor, C. K.; McKay, J. K.; Carroll, S. P. y Reznick, D. N. 2007.** Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. *Functional Ecology* 2007 21, 394–407.
- Gianoli, E. 2004.** Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. En: Marino, H. (editor). *Fisiología Ecológica en Plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. EUV. Valparaíso, Chile. Pp: 13 – 25.
- Gillespie, J. H. y Turelli, M. 1989.** Genotype-environment interactions and the maintenance of polygenic variation. *Genetics* 121: 129–138.
- Price, T. D.; Qvarnstrom, A. and Irwin, D. E. 2003.** The role of phenotypic plasticity in driving genetic evolution. *Proceedings of the Royal Society of London B* 270:1433–1440.
- Sultan, S. E. 1987.** Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. *Evolutionary Biology* 21, 127–178.
- Schlichting, C. D. y Pigliucci, M. 1998.** *Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Thompson, J. D. 1991.** Phenotypic plasticity as a component of evolutionary change. *Trends in Ecology and Evolution* 6, 246–249.
- Valladares, F.; Sanchez-Gómez, D. y Zavala, M. 2006.** Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94, 1103–1116.
- Via, S. y Lande, R. 1985.** Genotype-environment interactions and the evolution of phenotypic plasticity. *Evolution* 39: 505–522.
- Wang, Z.; Pang, X.; Lv, Y.; Xu, F.; Zhou, T.; Li, X.; Feng, S.; Li, J.; Li, Z. y Wu, R. 2012.** A dynamic framework for quantifying the genetic architecture of phenotypic plasticity. *Briefing in Informatics* 14:82-95.
- Yamada, Y. y Bell, A. 1969.** Selection for larval growth in *Tribolium* under two levels of nutrition. *Genetic Res.* 13:175-195.

III. MONITOREO DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Capítulo 7

CERTIFICACIÓN FORESTAL FSC Y BIODIVERSIDAD DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES ESTADO ACTUAL Y PROYECCIONES

Víctor Vargas Rojas¹

INTRODUCCIÓN

La certificación del manejo forestal (Certificación Forestal) es un procedimiento establecido de reconocimiento y verificación, que produce como resultado un certificado de calidad de manejo del bosque referido a una base de criterios (ambientales, sociales y económicos) predeterminados en una valoración independiente (Bass y Simula, 1999).

La certificación forestal superó los 450 millones de hectáreas, un 11% de la superficie mundial de bosques (FSC, 2009; PEFC, 2009), y se la considera como uno de los instrumentos voluntarios de mercado actual de más rápido crecimiento en la última década (Schlyter *et al.*, 2009).

El *Forest Stewardship Council* (FSC) es una organización internacional, no gubernamental, sin fines de lucro e independiente. Fue fundada en Canadá el año 1993 por diversos grupos de 25 países que representaban los intereses sociales, ambientales y económicos. Su objetivo es promover un manejo forestal que sea ambientalmente responsable, socialmente beneficioso y económicamente viable en los bosques de todo el mundo. (FSC Chile, 2014).

Los orígenes de la certificación FSC pueden explicarse sobre la base de tres esfuerzos fallidos por solucionar los problemas forestales a través de políticas públicas y procesos intergubernamentales: La incapacidad de la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) para mejorar las prácticas de manejo en los trópicos (Gale, 1998); el colapso de las conversaciones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en la convención global de bosques (Humphreys, 1996; Bernstein and Cashore, 2004); y el creciente consenso sobre los efectos potenciales perversos de las campañas de boicot a las maderas tropicales, el cual creaba incentivos a los “gobiernos del Sur” a convertir tierras con bosques “improductivos” a otros usos (Cashore *et al.*, 2004; FAO, 1993).

La revisión bibliográfica realizada en revistas de impacto revela que existen escasas publicaciones que traten la relación entre la certificación forestal y los recursos genéticos forestales (RGF). Una de las razones parece ser la inadecuada consideración científica de la temática de los RGF en los estándares. En los estándares que incluyen la temática de los recursos genéticos forestales,

¹ Ingeniero Forestal, Magíster en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Instituto Forestal, Sede Bío-Bío. vvargas@infor.cl

se evidencia que ninguna de estas iniciativas considera adecuadamente la ciencia para analizar el tema (Aulda y Bull, 2003). Por otra parte, ninguna de las iniciativas cuenta con un conjunto de requerimientos específicos, por ejemplo para definir el tamaño efectivo de regeneración de poblaciones artificiales, una medida recomendada por los genetistas para la gestión de la diversidad genética (Namkoong, 1998).

En otro sentido, existen estudios que destacan los efectos de la certificación forestal en la biodiversidad. Un estudio relevante analizó 67 publicaciones relacionadas con el impacto de la certificación forestal en la biodiversidad, indicando que las siguientes medidas consideradas en los estándares tienen un impacto relevante sobre la biodiversidad: Reducción de impactos de la cosecha, establecimiento de zonas riparianas, áreas de retención, identificación de bosques de alto valor de conservación, establecimiento de corredores, e identificación de áreas de protección al interior de áreas de manejo. No obstante, se indicaba la ausencia de estudios empíricos que probaran la efectividad de estas medidas (Van Kuijt *et al.*, 2009)

Para promover el manejo forestal responsable, FSC cuenta con un estándar basado en 10 principios y 56 criterios, uno de estos, el Principio 9: Mantenimiento de Bosques con Alto Valor de Conservación, tiene como objetivo mantener o mejorar los atributos de conservación que definen a dichos bosques, por lo que tiene un potencial directo de impacto en la biodiversidad de los RGF. No obstante, existen otros principios, como el Principio 6: Impacto Ambiental y Principio 7: Plan de Manejo, que también contienen criterios, que colaboran en la mantención de la biodiversidad.

Puede desprenderse de los párrafos anteriores que si bien la certificación forestal no cuenta con criterios específicos relacionados con los RGF, si contiene criterios que, al colaborar con la protección de la biodiversidad, promueven la mantención de los RGF. Por otra parte, desde sus inicios FSC ha tenido un compromiso con la protección de la biodiversidad asociada a los bosques del mundo, adicionalmente su estándar exige consideraciones con el mantenimiento e incremento de la biodiversidad, lo que implica que existe un potencial impacto benéfico de este instrumento de política, en la conservación de los RGF.

Los objetivos de este capítulo son: (a) Analizar la potencial contribución del estándar de certificación FSC, a la mantención de la biodiversidad de los RGF, a partir de la revisión de los 56 criterios del actual estándar internacional FSC; y (b) Analizar las proyecciones de impacto potencial del estándar de certificación FSC futuro sobre la biodiversidad de los RGF, basándose en la revisión de los indicadores genéricos internacionales de FSC, que conformarán el nuevo estándar internacional FSC a partir del año 2016.

METODOLOGÍA

Para evaluar el impacto de la certificación FSC vigente sobre los RGF se realizó una revisión de los 10 principios y 56 indicadores del documento “Estándar Internacional FSC: Principios y Criterios del FSC para el Manejo Forestal” (FSC-STD-01-001 V4-0). Dado que los principios y criterios contenidos en el estándar son extensos en su descripción, se realizó una redacción sintética que condensó sus principales temáticas y puntos focales.

A continuación se clasificó el impacto potencial de cada criterio en 3 categorías: Alto, Medio y Bajo. La descripción de las categorías de impacto alto y medio se presenta en la sección de resultados. Por defecto, se categorizó en impacto bajo aquellos criterios que no calificaran en las categorías alto y medio.

Posteriormente se revisó el número de criterios que tuvieran impacto en las distintas categorías definidas, realizándose un análisis global de impacto del estándar. También se realizó un análisis de los principios que tuvieran criterios con mayor potencial de impacto, profundizándose en el análisis de dichos principios.

Para evaluar las proyecciones de impacto de la certificación FSC en los RGF, se realizó una revisión de los 10 principios y 70 criterios del documento “Indicadores Genéricos Internacionales FSC” (FSC, 2014). El análisis de impacto se efectuó de la misma manera que en caso de la certificación vigente.

ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN FSC VIGENTE

Realizando un análisis global del impacto potencial del estándar de certificación FSC vigente, cerca del 50% de sus criterios resultaron tener un impacto potencial bajo en los RGF, no obstante es interesante observar que cerca de un 20% de los criterios se consideran con impacto alto ya que señalan explícitamente aspectos asociados a la conservación, diversidad genética, diversidad de especies o bien control de impactos sobre estos componentes (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL ESTANDAR FSC VIGENTE

PRINCIPIOS DEL ESTÁNDAR FSC	CRITERIOS POR CATEGORÍA DE IMPACTO (N°)			
	Alto	Medio	Bajo	Total
1. Observación de las leyes y los principios del FSC	0	2	4	6
2. Derechos y responsabilidades de tenencia y uso	0	0	3	3
3. Derechos de los pueblos indígenas	0	3	1	4
4. Relaciones comunales y derechos de los trabajadores	0	1	4	5
5. Beneficios del bosque	0	2	4	6
6. Impacto ambiental	4	5	1	10
7. Plan de manejo	0	2	2	4
8. Monitoreo y evaluación	0	1	4	5
9. Mantenimiento de los bosques con alto valor de conservación	4	0	0	4
10. Plantaciones	3	3	3	9
Total	11	19	26	56

Sobre la base de un análisis a nivel de Principios, se puede apreciar que el Principio 9 (Mantenimiento de los bosques con alto valor de conservación) es el que mayor impacto potencial tiene sobre los RGF, con el 100% de sus criterios categorizados como de alto impacto potencial. También destacan en este sentido los Principios 6 y 10 (Impacto ambiental y Plantaciones, respectivamente).

Respecto del Principio 3 (Derechos de los Pueblos Indígenas), este presenta un 75% de sus criterios en la categoría de impacto medio, situación que obedece a que sus criterios dicen relación con la protección de los recursos de los pueblos indígenas, que en general se caracterizan por una fuerte integración de sus culturas a la naturaleza.

A continuación se analizan los principios con mayor impacto potencial en los RGF

Principio 9. Mantenimiento de Bosques con Alto Valor de Conservación

Los Bosques de Alto Valor de Conservación (BAVC) son aquellos que albergan atributos excepcionales, de gran importancia, relacionados con la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, las necesidades de las comunidades locales y su identidad cultural (WWF, 2014). De esta definición se desprende que el principio tiene una relación directa con los RGF.

En el Cuadro N° 2 se señalan los 4 criterios asociados a este principio y se puede apreciar que todos tienen un alto impacto potencial en los RGF, análisis que se detalla después para cada uno de los criterios.

Cuadro N° 2
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL PRINCIPIO 9 DEL ESTANDAR FSC VIGENTE

PRINCIPIO Y CRITERIOS FSC	CATEGORÍA DE IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo
P9. Mantenimiento de Bosques con Alto Valor de Conservación			
C9.1 Evaluación de presencia de atributos de conservación	X		
C9.2 Consulta de los atributos de conservación identificados y su propuesta de manejo	X		
C9.3 Plan de manejo para mantención de atributos de conservación y resumen público	X		
C9.4 Monitoreo anual de efectividad del Plan de Manejo	X		

En su criterio 9.1, el estándar requiere que las empresas certificadas realicen una identificación en todo su patrimonio para constatar la existencia de atributos de conservación relevantes. Proforest, una de las entidades que más experiencia cuenta en el tema a nivel mundial, ha generado, en conjunto con WWF y FSC, una guía de apoyo para la identificación de estos atributos de alto valor de conservación (AVC), clasificándolos en 6 categorías:

- AVC 1: Áreas que contienen concentraciones significativas de valores de biodiversidad a nivel global, regional o nacional (esto incluye: áreas protegidas, especies endémicas, especies raras o amenazadas y concentraciones estacionales de especies).
- AVC 2: Grandes bosques a escala de paisaje significativos a nivel global, regional o nacional.
- AVC 3: Áreas forestales que están en, o contienen, ecosistemas raros, amenazados o en peligro.
- AVC 4: Áreas forestales que proporcionan servicios básicos de ecosistema en situaciones críticas (esto incluye: protección de cuencas, y protección contra la erosión e incendios).
- AVC 5: Áreas forestales fundamentales para satisfacer las necesidades básicas de las comunidades locales.
- AVC 6: Áreas Forestales críticas para la identidad cultural tradicional de comunidades locales.

Para ser un Bosque de Alto Valor de Conservación (BAVC), solo es necesario que el bosque tenga valores críticamente importantes en una de las categorías. Puede suceder que todo el bosque tenga Altos Valores de Conservación, o puede ser que solo parte de un bosque tenga estos valores, y esa es la parte que se tendrá que manejar de modo tal que esos valores estén protegidos (Proforest, 2009).

De la clasificación ofrecida por Proforest se desprende que las primeras tres categorías tienen una relación directa con los RGF, pues implica que estas áreas deben ser evaluadas e identificadas en el patrimonio de la entidad certificada de acuerdo a lo señalado por el Criterio 9.1.

El Criterio 9.2 prescribe que la evaluación e identificación realizada por la empresa debe ser validada por expertos y por partes interesadas relevantes, entre las cuales se encuentran las comunidades locales aledañas al BAVC identificado. Esto implica que el trabajo de identificación realizado por la empresa debe pasar por un escrutinio público, incluyendo especialistas en temáticas de biodiversidad, para detectar por ejemplo si el trabajo de identificación fue adecuado y si no existen otras áreas relevantes en el patrimonio que califiquen en alguna de las 6 categorías. También se debe validar una propuesta de manejo que asegure a lo menos la mantención de los atributos identificados. Lo anterior implica un alto impacto potencial en los RGF, dado que áreas relevantes para la biodiversidad deben ser identificadas y mantenidas en las áreas privadas.

El Criterio 9.3 indica que sobre la base de la propuesta de manejo validada con expertos y partes interesadas relevantes, la empresa debe generar un plan de manejo formal para cada BAVC identificado que considere a lo menos las medidas de protección que minimicen el impacto de las amenazas detectadas y la mantención del atributo identificado. Además, considera la

generación de un resumen disponible al público, donde se sintetice el plan de manejo para cada uno de los BAVC identificados. También el plan debe ser implementado capacitando al personal relevante y aportando los recursos para su debida ejecución. Las acciones señaladas implican que el criterio tiene un alto impacto potencial en los RGF.

El Criterio 9.4 señala que periódicamente se tiene que realizar un monitoreo para evaluar la eficacia del plan de manejo, en términos de la protección contra amenazas y la mantención de los atributos identificados. Si los resultados del monitoreo arrojan resultados no adecuados, se debe reformular el plan de manejo para corregir las desviaciones detectadas. Además, un resumen de los resultados relevantes del monitoreo deben estar disponibles al público. Este monitoreo refuerza la mantención de los atributos en el largo plazo y la protección del BAVC, por lo que se considera que el impacto potencial de este criterio es relevante para los RGF.

Principio 6. Impacto Ambiental

En el Cuadro N°3 se puede apreciar que en este principio existen 4 criterios (6.2, 6.3, 6.9 y 6.10) que tienen un alto impacto potencial en los RGF.

Cuadro N° 3
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL PRINCIPIO 6 DEL ESTANDAR FSC VIGENTE

PRINCIPIO Y CRITERIOS FSC	CATEGORÍA DE IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo
P6. Impacto Ambiental			
C6.1 Evaluación del impacto ambiental		X	
C6.2 Protección y conservación de especies en categoría de amenaza y sus hábitat	X		
C6.3 Funciones ecológicas vitales (regeneración, diversidad genética y ecosistemas, impacto ciclos naturales)	X		
C6.4 Protección de ecosistemas representativos		X	
C6.5 Medidas de control de la erosión y protección de recursos hídricos		X	
C6.6 Control no químico de plagas, no uso de químicos prohibidos. Minimizar riesgos en la salud y medioambiente.		X	
C6.7 Disposición de productos químicos		X	
C6.8 Monitoreo de agentes de control biológico, prohibición OGM			X
C6.9 Control y monitoreo de especies exóticas	X		
C6.10 Conversión de bosques nativos	X		

El Criterio 6.2 señala que la empresa certificada debe identificar en su patrimonio la presencia de especies de flora y fauna que estén en alguna categoría de amenaza sobre la base de la mejor información disponible en el país y generar acciones para que se mantengan las especies identificadas. Debido a que las especies de flora en grado de amenaza constituyen un aspecto relevante para la conservación de la diversidad de especies se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.3 indica que los bosques objetos de certificación deben mantener sus funciones ecológicas vitales, señalando explícitamente entre estas la mantención de la diversidad genética. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.9 prescribe que en los bosques certificados se deben realizar acciones que controlen la invasión de especies invasoras. Las especies exóticas invasoras representan una amenaza tanto para la biodiversidad como para la producción de alimentos, la salud y el desarrollo económico del ser humano (McNeely *et al.*, 2001) Debido a lo señalado, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.10 indica que las empresas que quieren acceder a la certificación FSC, no deben haber convertido, directa o indirectamente, bosques naturales a otros usos, desde 1994 en adelante. Debido a que los bosques naturales son relevantes para la biodiversidad, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

Principio 10. Plantaciones

En el Cuadro N°4 se puede apreciar que en este principio existen 3 criterios (10.1, 10.5 y 10.9) que tienen un alto impacto potencial en los RGF.

Cuadro N° 4
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL PRINCIPIO 10 DEL ESTANDAR FSC VIGENTE

PRINCIPIO Y CRITERIOS FSC	CATEGORÍA DE IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo
P10. Plantaciones			
C10.1 Objetivos de manejo e implementación	X		
C10.2 Diseño y planeación ambiental		X	
C10.3 Diversidad de la composición de plantaciones			X
C10.4 Selección y monitoreo de especies de plantaciones			X
C10.5 Restauración de cubierta forestal natural del sitio de una proporción del área total (estándares regionales)	X		
C10.6 Control de la degradación del suelo e impactos en cantidad y calidad de las aguas			X
C10.7 Manejo integrado de plagas		X	
C10.8 Monitoreo regular de impactos ecológicos y sociales en el sitio y fuera de él		X	
C10.9 Sustitución de bosque nativo	X		

El Criterio 10.1 indica que los bosques objetos de certificación deben incluir en sus objetivos de manejo de largo plazo, la conservación y restauración de bosques nativos, lo que contribuye significativamente a la biodiversidad. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El criterio 10.5 obliga a que en el patrimonio de empresas certificadas debe existir un área destinada a la restauración de cubierta forestal nativa, cuyo porcentaje debe ser definido a escala

nacional. Para el caso de Chile este porcentaje alcanza al 10% del patrimonio total certificado. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El criterio 10.9 indica que las plantaciones de las empresas que quieren acceder a la certificación FSC, no pueden haber sustituido, directa o indirectamente, a bosques naturales, desde 1994 en adelante. Debido a que los bosques naturales son relevantes para la biodiversidad, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN FSC FUTURO

Los Principios y Criterios FSC se publicaron por primera vez en noviembre de 1994. El Principio 10 sobre las plantaciones se incorporó en 1996. Desde entonces se han realizado unos pocos cambios adicionales de manera puntual. El cambio más importante fue la sustitución en 1999 del Principio 9 por el concepto de Bosques de Alto Valor de Conservación.

Hasta que en enero de 2009 comenzara el proceso actual de revisión y modificación no se había realizado una revisión exhaustiva de todo el documento (FSC, 2012). En febrero de 2012 se aprobó el desarrollo de indicadores genéricos para un nuevo estándar con sus 10 principios y 70 criterios el cual deberá estar en aplicación durante 2015.

En enero de 2014 se generó un segundo borrador de estándar, el cual contiene 10 principios, 70 criterios y 192 indicadores genéricos (FSC, 2014).

En relación a los cambios del nuevo estándar en desarrollo, respecto a la estructura del estándar vigente FSC, se puede indicar que se mantiene la estructura de 10 principios y se aumenta en un 25% el número de criterios, pasando de 56 a 70. Por otra parte se desarrollan indicadores genéricos que el estándar vigente no contempla.

A pesar que los principios no varían en número, al comparar ambos estándares se aprecia, entre los cambios más relevantes, que:

- Principio 2 (Tenencia y Uso): Se elimina, incluyéndose sus criterios en el Principio 1 (Cumplimiento de las Leyes).
- Principio 4 (Comunidades Locales y Trabajadores): Se divide en el nuevo estándar en 2 principios: Principio 2 (Derechos de los Trabajadores y Condiciones de Empleo) y Principio 4 (Relaciones con las Comunidades).
- Principio 10 del estándar vigente, centrado en las plantaciones forestales, se reenfoca a la implementación de las actividades de manejo aplicable a cualquier tipo de bosque.

Dado que los indicadores genéricos están en discusión, pudiendo por ende tener cambios en su

número y contenido, se ha considerado para el análisis solo los principios y criterios del nuevo estándar ya que estos fueron aprobados durante el año 2012.

Realizando un análisis global del impacto potencial del futuro estándar FSC, se desprende que aproximadamente un 60% de los criterios del nuevo estándar poseen un impacto potencial bajo en los RGF. Esto representa una mejora respecto del estándar vigente, donde el 50% de los criterios corresponden a esa categoría, y denota que el estándar futuro incorpora nuevos criterios relacionados con la conservación de RGF. Por otra parte, el futuro estándar FSC mantiene, respecto del estándar vigente, un 20% de los criterios que se clasifican como de alto impacto en aspectos asociados a la conservación, diversidad genética, diversidad de especies o bien control de impactos sobre estos componentes (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL FUTURO ESTANDAR FSC

PRINCIPIOS DEL ESTÁNDAR FSC	CRITERIOS POR CATEGORÍA DE IMPACTO (N°)			
	Alto	Medio	Bajo	Total
1. Cumplimiento de las leyes	0	3	5	8
2. Derechos de los trabajadores y condiciones de empleo	0	1	5	6
3. Derechos de los pueblos indígenas	0	5	1	6
4. Relaciones con las comunidades	0	3	5	8
5. Beneficios del bosque	0	2	3	5
6. Valores e impactos ambientales	7	3	0	10
7. Planificación del manejo	0	2	4	6
8. Monitoreo y evaluación	0	2	3	5
9. Altos valores de conservación	4	0	0	4
10. Implementación de las actividades de manejo	3	9	0	12
Total	14	30	26	70

Sobre la base de un análisis a nivel de principios, se puede apreciar que el Principio 9 (Altos Valores de Conservación) sigue siendo el de mayor impacto potencial sobre los RGF, con el 100% de sus criterios con impacto potencial alto, seguido del Principios 6 (Valores e Impactos Ambientales). Cabe señalar que se aprecia en el nuevo estándar un fortalecimiento de las temáticas relacionadas con los RGF, ya que suben de 40 a 70% los criterios con impacto potencial alto.

Destacan también los Principios 3 y 10 (Derechos de los Pueblos Indígenas e Implementación de las Actividades de Manejo, respectivamente) con un 83 y 75% de sus criterios en categoría media. Esto se explica en el Principio 3, debido a que sus criterios dicen relación con la protección de los recursos de los pueblos indígenas, que en general se caracterizan por una fuerte integración de sus culturas a la naturaleza.

En relación al principio 10, el impacto sobre la conservación de los RGF se explica fundamentalmente por la inclusión de medidas de control respecto al uso de agroquímicos, OGM, agentes de control biológico y la regulación de actividades de aprovechamiento y disposición de residuos.

A continuación se hace un análisis de los principios con mayor impacto potencial en los RGF.

Principio 9. Altos Valores de Conservación

El análisis de este principio en el nuevo estándar FSC es muy similar al del estándar vigente, por cuanto la única modificación entre ambos es la adopción definitiva del término AAVC (áreas de alto valor de conservación) en reemplazo del término BAVC (bosques de alto valor de conservación).

No obstante las guías de apoyo del estándar vigente ya acuñan el término AAVC.

Principio 6. Valores e Impactos Ambientales

En el nuevo estándar se introduce el concepto de “valores ambientales”, sobre el cual se aplica la evaluación de impacto ambiental, que se define como el siguiente conjunto de elementos del ambiente humano y biofísico (FSC, 2012):

- Funciones del ecosistema (incluyendo el secuestro y almacenamiento de carbono).
- Diversidad biológica.
- Recursos hídricos.
- Suelo.
- Atmósfera.
- Valores paisajísticos (incluyendo los valores culturales y espirituales).

En el Cuadro N° 6 se puede apreciar que en este principio existen 7 criterios (6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.9 y 6.10) que tienen un alto impacto potencial en los RGF, los cuales se analizan a continuación.

Cuadro N° 6
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL PRINCIPIO 6 DEL FUTURO ESTANDAR FSC

PRINCIPIO Y CRITERIOS FSC	CATEGORÍA DE IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo
P6. Impacto Ambiental			
C 6.1 Evaluar estado e impacto a los valores ambientales		X	
C 6.2 Impactos potenciales sobre los valores ambientales	X		
C 6.3 Prevenir y mitigar impactos sobre los valores ambientales	X		
C 6.4 Proteger a las especies raras y amenazadas y sus hábitats	X		
C 6.5 Protección y/o restauración de ecosistemas nativos representativos	X		
C 6.6 Mantener especies y genotipos evitando pérdida de diversidad biológica	X		
C 6.7 Proteger o restaurar cursos y cuerpos de agua naturales y su conectividad		X	
C 6.8 Manejo del paisaje en función de los valores paisajísticos		X	
C 6.9 No conversión de bosques naturales	X		
C 6.10 Plantaciones con conversión después noviembre de 1994	X		

El Criterio 6.2 indica que los bosques objetos de certificación deben mantener sus funciones ecosistémicas, señalando explícitamente entre estas la mantención de la biodiversidad, especies raras y valores paisajísticos.

El Criterio 6.3 indica que los bosques certificados deben evaluar los impactos potenciales sobre los valores ambientales, señalando explícitamente entre estos la mantención de la diversidad biológica, las especies raras y las comunidades infrarrepresentadas. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.4 señala que la empresa certificada debe identificar en su patrimonio la presencia de especies de flora y fauna que estén en alguna categoría de amenaza sobre la base de la mejor información disponible en el país y generar acciones para que se mantengan. Debido a que las especies de flora en grado de amenaza constituyen un aspecto relevante para la conservación de la diversidad de especies, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.5 prescribe que en los bosques certificados se deben realizar acciones para proteger y/o restaurar muestras representativas de ecosistemas nativos. Debido a lo señalado, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 6.6 indica que en los bosques certificados se deben mantener de forma efectiva especies y genotipos nativos, para impedir pérdidas en la biodiversidad biológica. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

Los Criterios 6.9 y 6.10 indican que las empresas que quieran acceder a la certificación FSC, no deberán haber convertido, directa o indirectamente, bosques naturales a otros usos o plantaciones, desde 1994 en adelante. Debido a que los bosques naturales son relevantes para la biodiversidad, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

Principio 10. Implementación de las Actividades de Manejo

En el Cuadro N° 7 se puede apreciar que en este principio existen 3 criterios (10.2, 10.3 y 10.10) que tienen un alto impacto potencial en los RGF, los cuales se analizan a continuación.

Cuadro N° 7
IMPACTO POTENCIAL DE LOS CRITERIOS DEL PRINCIPIO 10 DEL FUTURO ESTANDAR FSC

PRINCIPIO Y CRITERIOS FSC	CATEGORÍA DE IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo
P10: Plantaciones			
10.1 Regeneración de cubierta vegetal a condiciones previo aprovechamiento		X	
10.2 Especies ecológicamente adaptadas (especies nativas y genotipos locales)	X		
10.3 Utilizar especies exóticas con bajo impacto invasor	X		
10.4 No uso OGM		X	
10.5 Tratamientos silvícolas adaptados ecológicamente		X	
10.6 Evitar uso de fertilizantes considerando impacto en valores ambientales		X	
10.7 Utilizar MIP para evitar o eliminar uso de pesticidas químicos		X	
10.8 Minimizar, monitorear y controlar el uso de agentes de control biológico		X	
10.9 Reducción de impactos negativos de los desastres naturales		X	
10.10 Proteger recursos hídricos y suelos (ecosistemas y valores especiales)	X		
10.11 Regulación de actividades de aprovechamiento de PF y PFNM		X	
10.12 Eliminar desechos de una forma ambientalmente apropiada.		X	

El Criterio 10.2 indica que los bosques objetos de certificación deben utilizar especies ecológicamente adaptadas, indicando explícitamente que se debe dar preferencia al uso de especies nativas y genotipos locales, lo que contribuye significativamente a la biodiversidad. Debido a lo anterior, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 10.3 prescribe que en el patrimonio de empresas certificadas, se deben realizar acciones que controlen la expansión de especies invasoras. Como se señaló anteriormente, las especies exóticas invasoras representan una amenaza para la biodiversidad. Debido a lo señalado, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

El Criterio 10.10 indica que las plantaciones de las empresas que quieran acceder a la certificación FSC, no deben haber sustituido, directa o indirectamente, bosques naturales, desde 1994 en adelante. Debido a que los bosques naturales son relevantes para la biodiversidad, se considera que el criterio tiene un potencial alto de impacto para los RGF.

CONCLUSIONES

La bibliografía sobre estudios de certificación forestal y RGF es escasa, y esta misma señala que en general los estándares de certificación internacionales no los incluye explícitamente.

No obstante lo mencionado, el análisis detallado del estándar FSC vigente reveló que existen a lo menos 3 principios que tienen un potencial de impacto alto en los RGF, siendo de alta relevancia el Principio 9, relacionado con la conservación de áreas de alto valor socioambiental.

En relación a las proyecciones de impacto de la certificación, al analizar los principios y criterios del futuro estándar FSC, actualmente en desarrollo y que estará vigente a partir del año 2016, se concluye que la temática de los RGF estará presente en mayor medida que en el estándar vigente en la actualidad, aumentando el número de criterios con impacto potencial medio y alto. En especial destacan el impacto del Principio 9 (Áreas de Alto Valor de Conservación) y del Principio 6 (Valores e Impactos Ambientales)

REFERENCIAS

Aulda, G. and Bull, G., 2003. The institutional design of forest certification standards initiatives and its influence on the role of science: the case of forest genetic resources. *Journal of Environmental Management* 69 (2003) 47–6

Bass, S. and Simula, M., 1999. Independent Certification/Verification of Forest Management. Background Paper prepared for the World Bank/WWF Alliance Workshop, November 9-10, Washington, D.C. 46 pp.

Bernstein, S. and Cashore, B., 2004. Non-State Global Governance: Is Forest Certification a Legitimate Alternative to a Global Forest Convention? In *Hard Choices, Soft Law: Combining Trade, Environment, and Social Cohesion in Global Governance*, edited by J. Kirton and M. Trebilcock. Aldershot: Ashgate Press.

Cashore, B.; Auld, G. and Newsom, D., 2004. *Governing Through Markets*. New Haven: Yale University Press.

FAO, 1993. *The Challenge of Sustainable Forest Management*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Rome.

FSC, 2014. www.fsc.org. Forest Stewardship Council (Consultado 07.03.2014).

FSC, 2012. Principios y Criterios del FSC para el Manejo Forestal Responsable con el Complemento de Notas Explicativas y Justificaciones. FSC-STD-01-001 V5-0 D5-0 ES. Forest Stewardship Council.

FSC, 2014. Indicadores Genéricos Internacionales. FSC, FSC-STD-01-004 V1-0 ES. Forest Stewardship Council. Draft 2.0 para consulta pública.

FSC Chile, 2014. http://www.cl.fsc.org/sobre_nosotros.html. Forest Stewardship Council. (Consultado 16.01.2014)

Gale, F., 1998. *The Tropical Timber Trade Regime*. Basingstoke, Hampshire: Palgrave Macmillan.

Humphreys, D., 1996. *Forest Politics: The Evolution of International Cooperation*. London: Earthscan.

McNeely, J. A.; Mooney, H. A.; Neville, L. E.; Schei, P. y Waage, J. K. (editores), 2001. *Estrategia mundial sobre especies exóticas invasoras*, UICN Gland (Suiza) y Cambridge (Reino Unido), X + 50 págs.

Namkoong, G., 1998. Genetic diversity for forest policy and management. In: Bunnell, F.L., Johnson, J.F. (Eds.), *Policy and Practices for Biodiversity in Managed Forests*, UBC Press, Vancouver.

PEFC, 2009. www.pefc.org. Programme for the Endorsement of Forest Certification. Consultado el 07.03.2014

Proforest, 2014. <http://www.proforest.net/proforest/proforest-news/archive/2009/proforest-develops-certification-support-material-for-smallholders-and-community-forestry-operations>. (Consultado 07.03.2014).

Schlyter, P.; Stjernquist, I. E. and Bäckstrand, K., 2009. Not seeing the forest for the trees? The environmental effectiveness of forest certification in Sweden, Forest Policy and Economics

Van Kuijt, M.; Put, F. E. and Zagh, R. J., 2009. Effects of forest certification on biodiversity. Tropenbos international. Wageningen the Netherlands.

WWF, 2014. http://chile.panda.org/que_hacemos/reduciendo_impactos/industria_forestal/bavc/. World Wildlife Fund for Nature (Consultado 07.03.2014).

Capítulo 8

CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS *EX SITU* EN CHILE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

**Roberto Ipinza Carmona¹; Carlos Magni Díaz²; Braulio Gutiérrez Caro³;
Julio Torres Cuadros⁴; Maria Paz Molina Brand⁵;
Carlos Bahamondez Villarroel⁶ y Ricardo Alía Miranda⁷**

INTRODUCCIÓN

Entendiendo que el enfoque genético es fundamental en el desarrollo de una estrategia de gestión de la biodiversidad, es preciso incorporar en las actuales iniciativas de conservación el concepto de recursos genéticos, entendidos estos como todo aquel material genético de valor actual o potencial (CBD, 1992). La diversidad genética es una medida de biodiversidad que permite una descripción detallada de la salud de la población, distinto de la medida de biodiversidad que mide la salud del ecosistema (Vergara, 2011).

La definición de recursos genéticos forestales (RGF) incluye una componente de valorización de uso que ha estado ausente de las consideraciones pasadas y actuales respecto de la priorización de la conservación. Este nuevo nivel de detalle (valor de uso actual o potencial) no ha sido bien representado y es urgente su adecuada incorporación en las estrategias actuales. Incluso, desde la óptica de los tamaños poblacionales óptimos de conservación, aunque a futuro la superficie destinada a conservación *in situ* aumentara, esto no implicaría necesariamente un mejor nivel de conservación genética (Yanchuk, 2001). Ejemplo de esto es lo que ocurre con la superficie actual del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) en Chile, en la que algunos ecosistemas están sobre representados (Tipo Lenga) desde el punto de vista de la conservación genética y, a la inversa algunos están sub representados (aquellos en que participa raulí).

La afirmación que la variación genética es un requisito indispensable para la supervivencia y reproducción de las especies en el largo plazo y en un entorno cambiante fue desarrollada por el profesor Gene Namkoong durante muchos años de su vida, quien planteó además que la variación genética es dinámica, cambiando con el tiempo, y es por esa razón que los genes existentes no deben ser “congelados”, por el contrario, deben constituir la base para la adaptación y variación genética futura de las poblaciones (Skogsstyrelsen, 2012).

1 Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

2 Ingeniero Forestal, Dr. Cs Forestales. Universidad de Chile, Académico Área genética Forestal, Dpto. Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. cmagni@uchile.cl

3 Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

4 Ingeniero Forestal, Mg. en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Académico, Área de Genética Forestal, Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. jtorresc@uchile.cl

5 Ingeniero Forestal Mg. Cs. Forestales. Instituto Forestal, Sede Biobío. mmolina@infor.cl

6 Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Valdivia. cbahamon@infor.cl

7 Ingeniero Forestal Dr. Ing de Montes. INIA España. ralia@inia.es

De igual forma, Ledig (1986) estableció que la conservación genética de los recursos forestales es fundamental para mantener la diversidad genética de poblaciones viables en el largo plazo, así como para conseguir una oferta permanente de genes para las necesidades de los programas de mejora genética. Por lo mismo, este autor hace un llamado a la implementación de iniciativas de conservación de recursos forestales con enfoque genético.

En Chile, Ipinza *et al.* (1998) han propuesto un muestreo intensivo para conformar poblaciones de mejoramiento genético para las especies nativas raulí (*Nothofagus alpina*) y roble (*Nothofagus obliqua*), considerando también las fuerzas del cambio climático (Ipinza, 2000). Estas poblaciones de mejoramiento, según Namkoong (1997) son un importante componente de la conservación, al punto que, si se las estructura adecuadamente, pueden ser el único elemento que se requiera para hacer conservación efectiva.

Yanchuk (2001) establece que para alelos dominantes a una frecuencia de 0,5%, se requieren aproximadamente 2.784 individuos, lo que sugiere que una pequeña red de reservas *in situ* puede ser adecuada para un alelo en esta baja frecuencia. Ahora, si el criterio de muestreo está basado sobre la necesidad de muestrear la variación genética cuantitativa, Yanchuk y Lester (1996) sugieren que para proteger adecuadamente una población de coníferas de British Columbia (Canadá) se requieren aproximadamente 5.000 individuos en una reserva. Dichos autores concluyen que esta reserva puede ser insuficiente si se pretende conservar alelos recesivos con una probabilidad del 5%.

A su vez, la pirámide de Burdon (1995) ayuda a conceptualizar la integración del mejoramiento y la conservación de los RGF. La base de la pirámide representa la diversidad genética, mientras que su altura, a medida que se estrecha la variación, representa el aumento de la ganancia genética. Tal esquema representa la primera aproximación para integrar la conservación *in situ* y *ex situ*, y es utilizado por Johnson *et al.* (2001) para examinar cómo el tamaño de la población y su estructura impactan el mantenimiento de la variación genética en las poblaciones de mejoramiento y la de recursos genéticos (base de la pirámide).

Yanchuk (2001) establece una estructura basada en la genética cuantitativa para integrar el mejoramiento y la conservación de RGF. El programa de conservación de RGF de *Nothofagus alpina* y *N. obliqua* de Chile recoge dicha sugerencia y la integra en su modelo de conservación, el cual constituye un prototipo para la conservación de la variabilidad genética forestal en el país, que además considera los probables escenarios de cambio climático desarrollados por Bahamondez *et al.* (2008).

El año 2003, a través de la Estrategia Nacional de Biodiversidad, Chile se autoimpuso el desafío de alcanzar al año 2010 una cobertura de conservación *in situ*, mediante el SNASPE, del 10% de cada uno de los ecosistemas terrestres presentes en el país (CONAMA, 2003). Este objetivo no solo no se alcanzó en la fecha propuesta, sino que es poco probable que se alcance en el mediano plazo, debido a las demandas actuales de uso de la tierra que compiten contra objetivos de conservación (Echeverría *et al.*, 2006; Schulz *et al.*, 2010) y a que se requiere una muy importante magnitud de inversión por parte del Estado.

En el ámbito nacional, tanto el concepto de recurso genético, en general, como el de recurso genético forestal (RGF), en particular, han sido escasamente considerados en lo referido a la conservación *in situ* (SNASPE y Áreas Protegidas Privadas). Lo mismo ha ocurrido con las escasas iniciativas de conservación genética *ex situ* a través de jardines botánicos y bancos de germoplasma existentes.

Pese a lo anterior, el SNASPE es el principal instrumento de conservación *in situ* de ecosistemas, especies y recursos genéticos del país. Se ha ido conformando de manera gradual, desde principios del siglo XX, sin sustento jurídico y sin formar parte, al menos en lo formal, de una estrategia nacional de conservación de la biodiversidad elaborada por el Estado. Ello no ha sido obstáculo para que se constituyera en un programa de cobertura nacional, alcanzando en la actualidad una importante superficie del territorio nacional, que asciende al 19,5% (14.713.305 ha) de este, en más de 100 unidades (CONAF, 2011). Pese a lo positivo de la cobertura alcanzada, un análisis más detallado muestra una deficiente distribución geográfica y una insuficiente representatividad de algunos pisos vegetacionales, particularmente en la zona central de Chile (Pliscoff y Fuentes, 2008), donde se concentra el grueso de la población del país y en la que se encuentra un área prioritaria de conservación o *hotspot* de biodiversidad (Armesto *et al.*, 1998; Smith-Ramirez, 2004). Este análisis de representatividad, basado en las definiciones de los 127 pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2006), es una valiosa herramienta para evaluar los desafíos pendientes en términos de cobertura de ecosistemas, sin embargo, no es necesariamente útil para evaluar cobertura de protección a nivel de especies, cuando se las considera como recursos genéticos forestales.

Esta brecha en el análisis de debe a que históricamente las acciones de conservación *in situ*, como son el SNASPE y algunas iniciativas privadas, han tenido un enfoque mayoritariamente ecosistémico, omitiendo consideraciones de conservación genética a la hora de establecer áreas protegidas. Este ha sido considerado el enfoque tradicional al afectar terrenos para protección en las últimas décadas, sin embargo, toda la investigación en torno a la gestión de la biodiversidad apunta a la necesidad de modificar este enfoque y avanzar hacia la integración de consideraciones genéticas al momento de establecer una estrategia de conservación de recursos naturales de alcance nacional, ya que la variación genética es la base de la evolución y el catalizador para la adaptación de las especies a los cambios del ambiente (FAO, 2013).

Sobre la base de los antecedentes expuestos, se plantea la necesidad de incorporar a las estrategias actuales de conservación de la biodiversidad el enfoque genético, como complemento al enfoque ecosistémico actualmente en uso. Para ello se debe tener presente lo establecido por Eriksson (2001) en orden a que la sociedad debe salvaguardar el potencial de adaptación como el principal objetivo de la conservación genética. Además, será necesario priorizar un grupo acotado de especies en el país, sobre la base de consideraciones sociales, científicas, técnicas, ecológicas y económicas, pues pensar en una conservación total de alcance nacional en una primera etapa es inviable, poco realista y entraría en conflicto con las dinámicas actuales del uso del territorio.

En consecuencia, se plantea delinear el presente capítulo, en el ámbito científico, económico e

institucional, sobre la base del desarrollo conceptual de la estrategia de conservación genética de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. (= *N. nervosa*) y *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., y esto dentro del marco de los actuales desafíos que impone el cambio climático en materia de uso, protección y conservación de bosques.

Para proyectar el modelo a otras especies forestales en Chile se establece una priorización de las especies forestales en función de su vulnerabilidad al cambio climático, siendo las especies más prioritarias las primeras candidatas para ser incluidas en un proceso de conservación dinámica (Eriksson *et al.*, 1993). El proceso de priorización se realiza utilizando la matriz de St. Clair y Howe (2011), no obstante, para ejecutar y monitorear el procedimiento de conservación propuesto por Yanchuk (2001) en las especie vulnerables al cambio climático, se requiere además identificar y establecer las brechas en investigación en el corto, mediano y largo plazo.

METODOLOGÍA

Se efectúa un análisis descriptivo de la situación de conservación de los recursos genéticos forestales en Chile, la que comprende una cuantificación de estos recursos y un análisis de su representatividad en unidades de conservación *in situ* y de las iniciativas de conservación *ex situ*.

Se plantea como un caso modelo la situación de conservación de *N. alpina* y *N. obliqua* y se analiza el impacto sobre estas especies de los efectos del cambio climático global. A partir de esta información se postula la ampliación del modelo de conservación *ex situ* a otras especies forestales nativas, analizándose para este caso las brechas de investigación, institucionales y económicas que inciden en su implementación.

Cuantificación de los Recursos Genéticos Forestales

La cuantificación e identificación de las especies que componen los recursos genéticos forestales de Chile se basó en la información aportada por el Decreto N°68/2009 (BCN, 2009), y por el texto Árboles en Chile de Rodríguez *et al.* (2006). La caracterización de estos recursos se efectuó en base al levantamiento de datos desde fuentes bibliográficas de origen primario y secundario.

La gama de recursos empleados fue libros, artículos originales y de revisión, literatura científica, bases de datos, fichas técnicas, documentos electrónicos, revistas de difusión, entre otros, los cuales eran documentos de consulta, divulgación y científico-investigativos.

Los antecedentes generales de caracterización y descripción se obtuvieron principalmente de la compilación y bases de datos elaborada por Magni *et al.* (2012a), del Estado de la Conservación *Ex Situ* de los Recursos Fitogenéticos Cultivados y Silvestres en Chile (Salazar *et al.*, 2006) y del Segundo Informe País sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Seguel, 2008).

Análisis de la Representatividad de los RGF en el Sistema de Conservación *In Situ* de Chile

Se efectuó un análisis considerando los antecedentes aportados por Magni *et al.* (2012b) y sobre la base de la presencia de las diferentes especies dentro de unidades del SNASPE en el país y de la revisión de tablas en las que se indican las regiones administrativas donde están presentes las especies y las áreas del SNASPE.

En general, la metodología del levantamiento de datos abordó fuentes bibliográficas de origen primario y secundario, y la gama de recursos empleados comprendió libros, artículos originales y de revisión, literatura científica, bases de datos, fichas, documentos en línea, revistas de difusión y planes de manejo de las áreas pertenecientes al SNASPE, entre otros.

Iniciativas de Conservación *Ex Situ*

Se recopiló y analizó información sobre recursos genéticos forestales en Chile reunida a través de la encuesta Representación de los Recursos Genéticos Forestales en Unidades de Conservación *Ex Situ*, elaborada por el Instituto Forestal y consultada a un directorio de 61 empresas, instituciones de investigación y personas naturales, previamente identificadas como actores relevantes vinculados a la conservación de RGF en Chile. La base de datos de este directorio se estratificó en tres prioridades de información, dependiendo de la importancia que la institución tenía en relación al mejoramiento, conservación y uso sostenible de RGF. Los resultados de esta encuesta fueron compilados en un estudio efectuado por Torres y Magni (2012) y a partir de ellos se realizó el análisis que se presenta en este capítulo.

Impacto del Cambio Climático sobre *Nothofagus alpina* y *N. obliqua* en Chile

Para evaluar el efecto del cambio climático sobre las especies consideradas en el caso modelo se utilizó la información desarrollada por Bahamondez *et al.* (2008), tomando como marco metodológico la propuesta de Luers *et al.* (2003) que hace uso del concepto de función de bienestar representada típicamente por una expresión parabólica, en la que el valor máximo de la parábola representa el estado actual de equilibrio del sistema en términos de productividad. Confrontando esta curva de equilibrio actual contra escenarios climáticos futuros generados por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile mediante el modelo PRECIS, se evaluó el impacto del escenario A2 (hoy RCP8.5) para el tipo forestal Roble-Rauli-Coihue (Donoso, 1993). En función de este análisis se describen los grados de vulnerabilidad estimados para las especies *N. alpina* y *N. obliqua*.

Ampliación del Modelo de Conservación de RGF *Ex Situ* a otras Especies

Se realiza una priorización de especies que deben ser objetos de acciones de conservación en función de las amenazas derivadas del cambio climático, las cuales se identifican utilizando los criterios aportados por St. Claire and Howe (2011). Entre tales criterios, se utilizan para la priorización los siguientes:

- Largos intervalos generacionales
 - Grado de adaptación local o especialización genética
 - Limitaciones en la plasticidad fenotípica
 - Grado de variabilidad genética (poblaciones pequeñas, especies con cuellos de botella o especies endogámicas)
 - Capacidad de dispersión (baja capacidad de colonización, alta fragmentación o disyuntas)
 - Distribución en el borde del cambio climático
 - Opciones de desplazamiento (ausencia de un hábitat cercano adecuado)
- Amenazas sobre las poblaciones

Los criterios anteriores se evalúan en distintas especies forestales nativas, priorizándose aquellas que resultan más vulnerables en función de los mismos.

Brechas de Investigación Económicas e Institucionales para Implementar una Estrategia de Conservación *Ex Situ* de RGF en Chile

Se plantea una propuesta de elementos a considerar en una estrategia de conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales, basada en MIMAN (2006) y en los enunciados desarrollados por Gutiérrez e Ipinza (2012). Asociado a la propuesta estratégica, en función del análisis experto efectuado por los autores y complementado con el conocimiento aportado por diversos actores consultados, se realiza una identificación de situaciones que limitan la posibilidad de desarrollar e implementar una estrategia de conservación de RGF en Chile. Las brechas individualizadas se clasifican para efecto de su descripción en categorías, considerando para este efecto tres criterios de agrupación; consideraciones de investigación, institucionales y económicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de los Recursos Genéticos Forestales

En Chile se han identificado aproximadamente 30.000 especies entre plantas y animales como recursos genéticos (Seguel, 2008), de las cuales se puede indicar que 5.739 especies son de flora vascular (continental e insular), siendo el 88,5% originarias del país; 45,8% endémicas (2.630 *taxa*) y 42,7% nativas (2.452 *taxa*), estando solo el 62% de la flora nacional caracterizada (Simonetti, 2008). De estas especies, pocas son las que poseen información sobre su diversidad genética, particularmente aquellas *taxa* de interés comercial del ámbito agrícola y algunas especies forestales estudiadas por su importancia biogeográfica o requerimientos de conservación como

Araucaria araucana (Bekessy *et al.*, 2002) y *Fitzroya cupressoides* (Allnutt *et al.*, 1999; Premoli *et al.*, 2000). Por otra parte, si se compara esta biodiversidad presente en Chile con el resto de Latinoamérica, esta es baja, pero con un alto endemismo que acentúa su importancia.

Para definir el número de especies totales de los RGF presentes Chile se considera la caracterización de Magni *et al.*, (2012a), donde se identificaron 449 *taxa* arbóreas y arbustivas de las cuales 164 son alóctonas (36%), y de las 285 *taxa* restantes, el 28% corresponde a nativas (125 *taxa*) y 36% a endémicas (160 *taxa*). Al realizar una comparación con lo planteado por Seguel (2008), aquellas especies que se consideran como recursos genéticos forestales solo alcanzan el 8,8% de las *taxa* presentes en el país (*taxa* introducidas y originarias) y al 6% de las *taxa* originarias, mientras que en términos de superficie, corresponden a más de dieciséis millones de hectáreas (21% del territorio chileno continental e insular).

De las 449 *taxa* definidas por Magni *et al.* (2012a), solo el 30% está clasificada en alguna categoría de Estado de Conservación bajo la normativa actual chilena (Benoit, 1989; MMA, 2013). De las 136 *taxa* chilenas clasificadas, el 68% son de origen nativo y el 32% endémicos. Cabe mencionar que el 40% del total de especies protegidas presenta algún tipo de utilidad potencial, siendo priorizadas genéticamente por su condición de vulnerabilidad. Las restantes 150 autóctonas sin clasificación se pueden clasificar en 26% (82 especies) nativas y 22% (68 especies) endémicas, respectivamente, dentro de las cuales existen casos, como *Quillaja saponaria*, que sufren una alta tasa de utilización y/o extracción y, junto con otras especies del bosque esclerófilo, su hábitat está siendo destruido por la continua expansión urbana y agrícola, generando la necesidad urgente de desarrollar metodologías que proporcionen información sobre su estado de conservación que, además, permitan su buen uso como recursos genéticos.

Las clasificaciones anteriormente analizadas se enfocan fuertemente a aquellas especies bajo amenaza de disminución poblacional o extinción y no se preocupan de las especies que no presentan aparentemente problemas de conservación, las cuales deberían tener planes de acción para su utilización/conservación a escala nacional o regional, que permitan perpetuar el recurso en forma sustentable (Magni *et al.*, 2012a). La fracción restante de 314 *taxa*, que no se encuentran clasificadas, corresponde en un 52% a *taxa* alóctonas. En el caso de estas especies de origen alóctono, es necesario tener claridad de su *status* en sus distribuciones naturales o su comportamiento como especies introducidas en nuevos ambientes, debido a que muchas de ellas tienen una gran importancia ecológica y/o económica en Chile. Como ejemplos se puede destacar a *Acacia dealbata* y a *Pinus contorta* que tienen un comportamiento invasor en Chile (Langdon *et al.*, 2010; Fuentes-Ramírez *et al.*, 2010), y el caso de *Pinus radiata*, pues sus poblaciones naturales están en fuerte retroceso (Rogers *et al.*, 2006).

La conservación de los pocos casos conocidos de híbridos naturales debería jugar un rol importante, pues estudios recientes han demostrado que estos juegan un papel importante en la evolución de muchas plantas o en la dinámica poblacional, siendo capaces de crear diversidad genética. La dificultad en este nivel es la determinación del origen del híbrido (natural o antrópico) (Allendorf *et al.*, 2001). Por otra parte, existe evidencia que el género *Nothofagus* tiende naturalmente a hibridarse, como es el caso de *Nothofagus leonii*; híbrido de origen natural

proveniente del cruce de *N. obliqua* y *N. glauca* (Donoso y Landrum, 1979) y otros casos reportados en la literatura (Donoso y Landrum, 1979; Donoso y Atienza, 1983; Donoso *et al.*, 1990; Stecconi *et al.*, 2004; Burns *et al.*, 2010). La documentación existente confirma que, pese a que la hibridación tiende en general a ser negativa dentro de las poblaciones o comunidades, el origen natural de esta genera hipótesis claras referidas a una dinámica “normal” de las formaciones vegetales.

No obstante, Magni *et al.* (2012a) indican que la información analizada muestra una gran heterogeneidad para el conjunto de las especies estudiadas, lo que limita las proyecciones de los resultados entregados, pero es importante indicar que constituye el primer esfuerzo de una ordenación y clasificación explícita y un análisis sistemático de RGF en Chile. En definitiva, el análisis se centró en las 285 especies arbóreas y arbustivas autóctonas seleccionadas por Magni *et al.* (2012a).

Análisis de la Representatividad de los RGF en el Sistema de Conservación *In Situ* de Chile

Aproximadamente el 20% del territorio nacional continental e insular está protegido mediante unidades pertenecientes al SNASPE. Los Parques Nacionales y Reservas Forestales suman el 96% del total de superficie terrestre protegida, y representan un 12,3% y 7% de la superficie total del país, respectivamente.

De este modo, el SNASPE sigue siendo la piedra angular de la protección *in situ* de la biodiversidad en Chile (Sierralta *et al.*, 2011) (Cuadro N° 1). Por su parte, los Santuarios de la Naturaleza terrestres corresponden a un 3% de la superficie total protegida.

La conservación *in situ* en Chile ha evolucionado desde un enfoque paisajístico desde comienzos del siglo XX hacia un enfoque ecosistémico originado en la década de los ochenta. Hasta la fecha es el enfoque ecosistémico el que persiste y no ha existido una reformulación hacia un enfoque genético de la conservación en la afectación de nuevas áreas silvestres protegidas.

Esto explica por qué la diversidad genética presente en el SNASPE no ha sido cuantificada y no hay evaluaciones de la calidad de los recursos genéticos conservados, o de las deficiencias de representatividad a nivel genético de las especies protegidas y menos de aquellas especies que no forman parte del sistema público de protección. Desde el punto de vista de la conservación genética el SNASPE es un sistema ciego de conservación.

Cuadro N° 1
SUPERFICIE POR TIPO DE UNIDAD DE PROTECCIÓN

Tipo de Unidad	Unidades (N°)	Superficie (ha)
Parque Nacional	35	9.333.664
Reserva Nacional	49	5.282.425
Monumento Natural	16	38.194
Santuario de la Naturaleza (*)	42	471.820
Total	142	15.126.103

(Fuente: Sierralta *et al.*, 2011)

(*) Los Santuarios de la Naturaleza no pertenecen al SNASPE. Están regulados por la Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales

Solo es posible hacer una evaluación genética de la estrategia de conservación *in situ* actual a través del análisis de las metas logradas en la protección de biodiversidad en las áreas protegidas según el enfoque ecosistémico.

En un análisis de la situación en Chile considerando tres escenarios:

- a) Solo SNASPE.
- b) SNASPE + santuarios de la naturaleza + tierras del Ministerio de Bienes Nacionales.
- c) Escenario b) más las áreas protegidas privadas y sitios prioritarios de biodiversidad.

En este análisis, Pliscoff y Fuentes (2008) muestran que hay una insuficiente protección de los ecosistemas terrestres para los escenarios a) y b), pertenecientes al Estado. De los 127 ecosistemas terrestres (Luebert y Pliscoff, 2006), solo 42 tienen más del 10% de su superficie protegida en áreas protegidas del Estado, y 23 no tienen ninguna protección. Estos sistemas son agregaciones de información que no permiten conocer directamente dónde están las especies en los diferentes sistemas naturales y de protección *in situ* (Magni *et al.*, 2012b).

Una aproximación a la evaluación de la presencia/ausencia de 285 *taxa* arbóreas y arbustivas consideradas como RGF (Magni *et al.*, 2012a) en ASPP (áreas silvestres protegidas privadas) fue hecha por Magni *et al.*, (2012b), quienes indican que para el 34% de las especies en estudio se dispone de información sobre la superficie total nacional que comprenden, aunque esta no permite conocer el estado de las poblaciones o el número de individuos que está protegido bajo un tipo de bosque. Además, el 21% de las especies arbóreas y el 5% de las especies arbustivas no tienen representación en el SNASPE, y en promedio para el 46% no existe información disponible sobre su presencia en el SNASPE para cada región administrativa.

Las situaciones más contrastantes, en términos de representación en áreas protegidas, las constituyen las islas oceánicas del Archipiélago de Juan Fernández (90,2% protegido), y como contrapartida, la Región de Atacama donde solo el 6% está protegido.

Dada la definición de RGF, el tipo de conservación que se debe realizar (nivel de especie o grupos genéticos relacionados) no queda bien representado por los sistemas antes descritos y en general la representatividad territorial de los RGF en Chile no es conocida y no se puede medir directamente de los sistemas actuales de información, pues los sistemas de clasificación del territorio se basan fundamentalmente en comunidades y asociaciones vegetales y/o tipología de bosques, lo que constituye un nivel de agregación de la información que impide caracterizar la composición genética de las especies.

Iniciativas de Conservación *Ex Situ*

En Chile, a través del estudio desarrollado por Torres y Magni (2012), se han detectado los siguientes tipos de unidades de conservación para RGF:

- Rodales de Conservación

Los Rodales de Conservación, también denominados bancos *in vivo*, han sido establecidos principalmente en el marco de programas de Mejoramiento Genético. La mayor cantidad de material genético en este formato *in vivo* lo tienen las grandes empresas forestales del país (Forestal Mininco SA. y Arauco SA.), pero están especialmente dirigidos a las especies forestales exóticas de mayor relevancia en Chile, como son *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*.

Las instituciones restantes consideran algunas especies nativas, especialmente las de interés económico, como *Nothofagus obliqua*, *N. alpina*, *N. dombeyi*, *N. pumilio*, *Laureliopsis sempervirens* y especies exóticas comerciales menos difundidas en el país, como *Pseudotsuga menziessi*, *Pinus ponderosa*, *Acacia spp.* y *Castanea sativa*, entre otras.

Los Rodales de Conservación involucran una serie de ensayos genéticos y bancos, cuyo origen puede ser a partir de semilla o clonal. Entre los primeros se encuentran, Ensayos de Procedencias, Ensayos de Progenies, Huertos Semilleros de Plantas y en los segundos Ensayos Clonales, Huertos Semilleros Clonales y Bancos Clonales. En el Cuadro N° 2 se presenta un resumen de los RGF presentes en Rodales de Conservación.

Cuadro N° 2
RGF PRESENTES EN RODALES DE CONSERVACIÓN DE DISTINTAS INSTITUCIONES

Empresa/ Institución	Especies (N°)	Unidades (N°)	Accesiones (N°)	Superficie (ha)	Especies Nativas (N°)
SPT	si.	5	si.	17,5	
INFOR	39	158	280.000	214,0	6
MININCO	3	27	68.005	62,0	
MASISA	2	41	92.417	106,9	
Semillas Imperial	1	29	71.661	76,2	
Forestal Anchile	2	29	si.	si.	
CMGF	4	223	634.915	si.	1
CONAF (*)	9	23	3.760	65,7	5
Total	60	535	1.150.758	542,3	

si.: Sin información

(*): Se incluyen unidades, accesiones y superficies que son exclusivamente de CONAF.

Los ensayos compartidos no fueron considerados porque ya fueron informados por otras instituciones

También fueron considerados dentro de la conservación de RGF los Jardines Botánicos, Arboretos y Colecciones de Campo, según se detalla en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES EN JARDINES BOTÁNICOS

Institución	Especies Nativas (N°)	Especies Exóticas (N°)	Accesiones (N°)
Colección de Campo Universidad de Chile	26	22	4.452
Jardín Botánico Chagual	118		206
Jardín Botánico Nacional	400		7.352
Arboreto Universidad Austral de Chile	48	226	12.082
<i>Populetum</i> Universidad Austral de Chile		91	si.
Colección <i>Atriplex spp.</i> , Las Cardas, U. de Chile	1	24	129
Jaime Espejo	2		2
Total	595	363	24.223

- Bancos de Semillas

Los Bancos de Semillas presentes en el país son de 2 tipos: Bancos Base (INIA Vicuña y SAG de Magallanes) y Bancos Activos. Los primeros son concebidos para resguardar germoplasma por periodos prolongados de tiempo (20 años o más) y los segundos tienen principalmente una función de intercambio de la semilla, generan *stock* de semillas de especies de alta demanda o de interés productivo tanto para la venta

como para cooperación con actividades de investigación. La información recopilada en relación a este tipo de bancos se presenta en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
BANCOS DE SEMILLAS CON COLECCIONES DE RGF EN CHILE

Institución	Especies (N°)	Accesiones (N°)
CESAF	105	158
INFOR	18	820
INIA Carillanca	1	120
INIA Intihuasi	37	116
SAG Magallanes	15	204
SPT Chile	5	400
Jaime Espejo	1	3
Jardín Botánico Nacional	123	s.i.
CONAF	94	186
Total	399	2.007

- Otros Tipos de Bancos

Entre otros tipos de bancos de conservación fueron detectados: Banco *In Vitro* (INFOR) y Banco de Polen (SPT).

Las especies conservadas por INFOR son 6 con 92 accesiones. En el caso del Banco de polen SPT reportó 3 especies y 150 accesiones.

En términos de diversidad de especies, la actividad de conservación de recursos genéticos forestales es escasa en comparación a las colecciones de recursos agrícolas y alimentarios presentes en Chile.

Las especies nativas en general aparecen resguardadas en gran cantidad en la modalidad de jardines botánicos y colecciones, sin embargo se desconoce la variabilidad genética resguardada en esas colecciones.

Es preciso sistematizar esta información entre todas las instituciones de modo de completar la variabilidad faltante y resguardar el material genético nativo en unidades del tipo Rodales de Conservación que sean representativos de la variabilidad de la especie.

Además, existe una gran cantidad de especies de uso potencial, en especial las vulnerables y/o amenazadas, para las cuales es preciso mejorar su protección en el país.

Las principales especies exóticas de interés comercial están bien representadas y resguardadas como consecuencia de los programas de mejoramiento genético de las empresas.

Impacto del Cambio Climático sobre *Nothofagus alpina* y *N. obliqua* en Chile

Las especies *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*, pertenecen mayoritariamente al Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, con aproximadamente un millón de hectáreas (Araya y Oyarzún, 2000). La tipología de roble-raulí-coigüe fue establecida por Donoso (1993) y CONAF-CONAMA (1999).

La vulnerabilidad del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue al cambio climático está en función de las características de su dinámica y el análisis de esta en la perspectiva del cambio climático. El grado en que el ecosistema es más o menos susceptible a los efectos de los cambios ambientales generados por el cambio climático depende de su capacidad de responder y superar los cambios recurriendo a su acervo genético formado por miles de años de evolución.

Los ecosistemas forestales suelen reaccionar con lentitud ante cambios ambientales adversos, recurriendo para resolverlos al acervo genético que acarrean las diversas especies que los componen. Más de una década ha pasado desde el reconocimiento global del fenómeno del cambio climático, en 1992 en Río, lo que parecía en ese entonces un fenómeno lejano, es hoy una realidad concreta y patente.

Se debe considerar que las altas temperaturas producen en las plantas un efecto conocido como estrés térmico, crecen menos y también producen menos. En algunos casos, las altas temperaturas provocan la esterilidad del polen, lo que afectará directamente la supervivencia de las especies.

El concepto de vulnerabilidad que propone el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) conlleva tres aspectos claves:

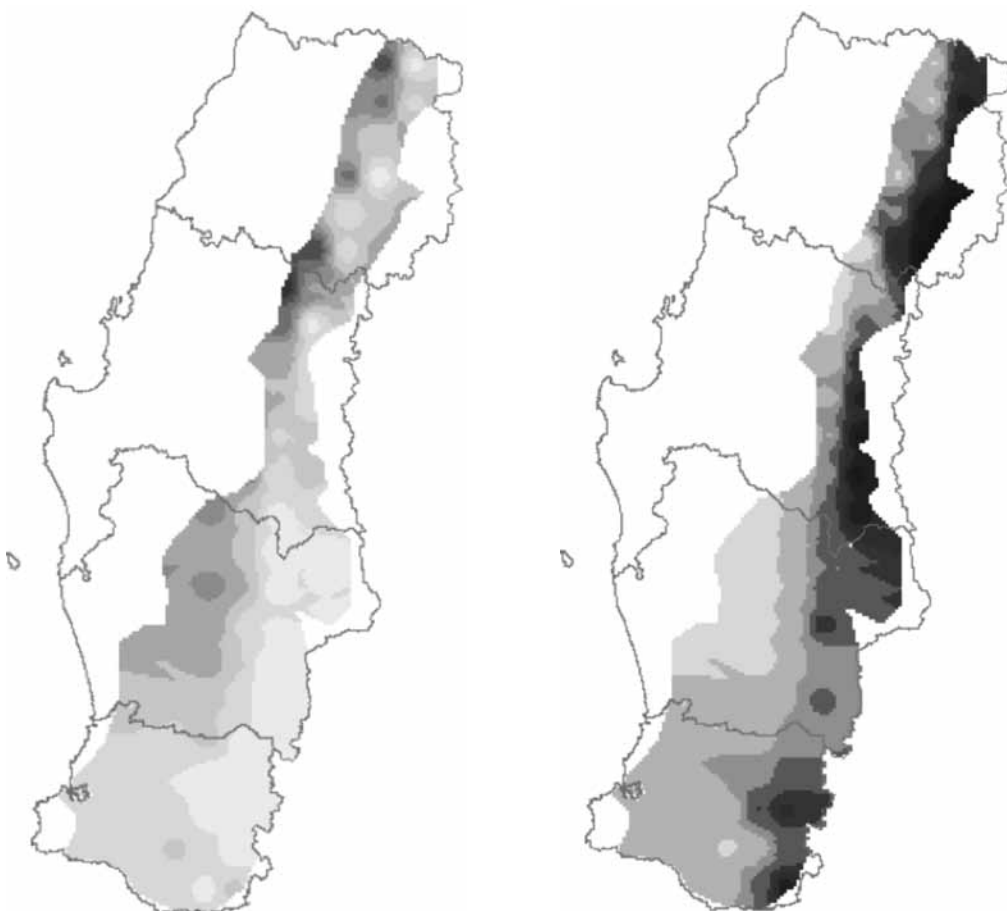
- La exposición, es el grado o el tiempo que un sistema es expuesto a variaciones anormales de su entorno provenientes del cambio climático.
- La sensibilidad, que se refiere a las características que son propias del sistema respecto de estímulos de origen climáticos.
- La capacidad de adaptación, que se refiere a la habilidad del sistema de ajustarse, recuperarse o incluso tomar ventaja de variaciones anormales.

En la Figura N° 1 se describe el grado de vulnerabilidad estimado para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue, destacando que aquellas formaciones de su distribución norte se verán expuestas a más altas variaciones, siendo más vulnerables aquellos bosques geográficamente localizados hacia el oeste y menos vulnerables aquellos que se localizan en la Cordillera de los Andes. Esta tendencia se mantiene hacia el sur pero con valores de menor grado de vulnerabilidad.

Los estudios de cambio climático en Chile destacan un efecto de tropicalización hacia altas latitudes (CONAMA, 1999) afectando por ello a las formaciones de Roble-Raulí-Coihue de la zona norte de su distribución.

Sin embargo, en términos totales los efectos del cambio climático tienden a favorecer a este tipo forestal, impactando positivamente en su productividad (Cuadro N° 5).

Como resultado de la aplicación de las condiciones futuras al modelo 3PG, que considera los parámetros de las condiciones actuales, aparecen efectos positivos en el futuro.



(Fuente: Bahamondez *et al.*, 2008)
Valores oscuros: Alta vulnerabilidad

Figura N° 1
VULNERABILIDAD DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIHUE
TODO PROPIETARIO A TEMPERATURA MÁXIMA (IZQ) Y TEMPERATURA MÍNIMA ALTA (DER)

Cuadro N° 5
CAMBIOS EN RENDIMIENTOS POR HECTÁREA ESPERADOS POR ROTACIÓN
EN ESCENARIO FUTURO A2:2070-2100

Región	Roble-Rauli-Coihue (%)
Maule	+ 0.36
Bío Bío	+ 0.32
La Araucanía	+ 0.24
Los Ríos	+ 0.35

(Fuente: Bahamondez *et al.*, 2009)

Se concluye que las especies de este tipo forestal presentan mecanismos de respuesta de base genética que aseguran su adaptación frente a condiciones futuras. Destaca entre las especie estudiadas *Nothofagus alpina*, por su mayor tolerancia a las altas temperaturas, no así a la pérdida de humedad del suelo.

En sentido opuesto, *Nothofagus obliqua* sería más tolerante a la pérdida de humedad del suelo y no tanto a las altas temperaturas como *N. alpina*. En ambos casos se mantuvo una eficiencia fotosintética óptima hasta los 35°C, pero a los 40°C se produce la mortalidad de la especie (Molina y Obando, 2008). Vergara (2011) sugiere que *N. obliqua* puede tener mejores posibilidades de adaptarse a futuros cambios climáticos a través de la selección natural, el mejorador puede obtener grandes ganancias genéticas mediante la selección de las procedencias correctas y los mejores individuos.

Si bien esta capacidad de respuesta fue probada y comprobada bajo condiciones de laboratorio (Fitotron) en plántulas de regeneración (Molina y Obando, 2008), se debe corroborar mediante ensayos de conservación *in situ* y *ex situ*, de forma mantener un monitoreo que provea antecedentes continuos de las tendencias de cambios, para ello debería tomarse en consideración las vulnerabilidades propuestas por la metodología antes descrita.

Ampliación del Modelo de Conservación de RGF *Ex Situ* a otras Especies

La totalidad, o una parte importante, de la distribución de las especies consideradas en este análisis será afectada por el cambio climático. En particular, se puede mencionar que se estima que hacia finales de siglo XXI en la zona centro-sur de Chile (31° - 45° LS) se experimentarían disminuciones en las precipitaciones de entre un 25 y 40% en el periodo de primavera y verano, respectivamente.

En la misma zona, las estimaciones indican que las temperaturas medias subirían entre 2 y 4°C en el escenario más severo (CONAMA, 2006). Para seleccionar las especies forestales más vulnerables al cambio climático se ha procedido a seguir la metodología establecida por St. Claire y Howe (2011). En el Cuadro N° 6 se indica los criterios para la selección de las especies.

En todas las especies indicadas en el Cuadro N° 6 se verifica que debido al cambio climático las poblaciones extremas de las distribuciones geográficas se verán afectadas, lo que para una especie puede implicar procesos de alteración que generan a su vez fragmentación y aislamiento que, sumados a pequeños tamaños poblacionales, bajas densidades de individuos maduros o de regeneración, amenazan la permanencia de la especie en estos sitios (Pastorino *et al.*, 2006).

En los estudios de casos propuestos por Magni *et al.* (2012b), *Morella pavonis*, *Polylepis tarapacana*, *Polylepis besseri* (sinónimo *Polylepis rugulosa*) y *Drymis winteri*, se señala que respecto de la primera no existe información sobre su presencia en unidades del SNASPE, en tanto las otras se encuentran protegidas en toda su distribución.

Sin embargo, no se dispone de información sobre la representatividad en superficie efectiva de protección para las tres especies, siendo similar el caso para *Aristotelia chilensis*, *Jubaea chilensis*, *Prosopis chilensis* y *Beilschmiedia berteriana*.

Para el caso de *Aristotelia chilensis*, existe una adecuada protección de sus poblaciones en 22 unidades del SNASPE, pero no existe información disponible acerca de la superficie de protección efectiva.

En el mismo estudio se indica que *Quillaja saponaria*, está distribuida desde la Región de Coquimbo a la de La Araucanía y se encuentra protegida en 6 unidades del SNASPE, con un total de 13.468 ha, lo que solo equivale a un 1,03% de toda la superficie en la cual se encuentra presente la especie.

Otros casos similares son *Austrocedrus chilensis*, presente en una superficie total nacional de 44.996 ha, con solo el 6,4% de esta protegida y *Beilschmiedia miersii*, con una superficie de 198.584 ha y solo un 1% protegido.

Prosopis chilensis, cuya superficie nacional abarca 20.866 ha ubicadas desde la Región de Tarapacá a la de O'Higgins, es un especie protegida en 5 unidades del SNASPE (2 Reservas Nacionales, 1 Parque Nacional y 2 Monumentos Naturales).

Respecto del género *Nothofagus*, se destaca a *N. alpina* como la especie con mayor representatividad en el SNASPE (96,5%) y, por el contrario, a *N. glauca* con solo un 0,1% de representatividad.

En relación a la distribución de las especies del género, *N. pumilio* abarca el mayor rango de distribución y *N. alessandrii* presenta la distribución más limitada, ambas poseen 100% de presencia en el SNASPE para toda su distribución.

En el caso de *Quillaja saponaria*, *Jubaea chilensis*, *Nothofagus obliqua* y *N. alpina*, sus poblaciones septentrionales no tienen protección, lo que puede implicar la no conservación de importantes RGF.

Las especies identificadas en el Cuadro N° 6 serán sometidas durante los próximos 15 años a un proceso de adaptación al cambio climático, considerando el modelo de conservación *ex situ*, establecido para *N. alpina* y *N. obliqua*.

Cuadro N° 6
RGF CHILENOS VULNERABLES Y PRIORITARIOS

Formación Vegetacional / Especies	a	b	c	d1	d2	d3	e	f	g	h
Matorral Altoandino										
<i>Polylepis tarapacana</i>	x	x		x			x	x	x	x
<i>Polylepis besseri</i>	x	x		x			x	x	x	x
<i>Morella pavonis</i>	x	x	x	x			x	x	x	x
Espinosos										
<i>Prosopis chilensis</i>	x							x	x	x
Esclerófilos										
<i>Jubaea chilensis</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Quillaja saponaria</i>	x	x		x*				x	x	x
<i>Aristotelia chilensis</i>		x		x						
Coníferas										
<i>Austrocedrus chilensis</i>	x						x	x	x	x
Bosques Templados										
<i>Nothofagus alessandrii</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nothofagus glauca</i>	x						x	x	x	x
<i>Nothofagus obliqua</i>	x						x	x	x	x
<i>Nothofagus alpina</i>	x						x	x	x	x
Laurifolio										
<i>Beilschmiedia miersii</i>	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Beilschmiedia berteriana</i>	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Drymis winteri</i>	x			x*				x	x*	x

(Fuente: Adaptado de St. Claire and Howe, 2011)

* En los extremos de su distribución.

- a) Largos intervalos generacionales
- b) Especies localmente adaptadas o genéticas especializadas
- c) Especies con limitada plasticidad fenotípica
- d) Especies o poblaciones con baja variabilidad genética (1 poblaciones pequeñas, 2 especies con cuellos de botella, 3 especies endogámicas)
- e) Especies o poblaciones con baja dispersión (baja capacidad de colonización, alta fragmentación o disyuntas)
- f) Distribución en el borde del cambio climático
- g) Poblaciones sin opciones de desplazamiento (ausencia de un hábitat cercano adecuado)
- h) Poblaciones amenazadas.

Brechas de Investigación Económicas e Institucionales para Implementar una Estrategia de Conservación de RGF *Ex Situ* en Chile

Dada la magnitud del esfuerzo que se debe desplegar para iniciar una estrategia de conservación de recursos genéticos forestales en el país, es necesario realizar un diagnóstico certero de las actuales limitaciones existentes. En este sentido se pueden mencionar en una primera instancia:

- Falta de conocimiento/información de la sociedad chilena respecto de la importancia actual y futura de los recursos genéticos forestales, lo que a su vez implica una baja prioridad política.
- Comunicación deficiente entre científicos y/o técnicos asociados a la gestión de los bosques en el país.
- Reducido valor e importancia económica de los RGF nativos, asociado a un uso productivo marginal de estos en los últimos treinta años
- Información genética insuficiente a nivel de especies chilenas.

PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES EN CHILE

Estrategia de Conservación

En general, cuando se diseña una estrategia de Conservación de RGF, surgen dos restricciones; primero, se debe establecer una fuente estable de fondos para sostener e implementar los programas de conservación, esto depende en gran medida de decisiones políticas. Una segunda limitación, que impone severas restricciones, es la ausencia de coordinación entre los distintos instrumentos y/o la existencia de estructuras redundantes.

Para lograr los objetivos de la estrategia es imprescindible que los técnicos y encargados de la gestión del medio natural (Ministerio del Medio Ambiente) y del manejo forestal (CONAF - Ministerio de Agricultura) tengan una formación específica sobre los principios de la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales.

Las acciones deben estar fundamentadas sobre el conocimiento de la estructura genética de las especies forestales. De no disponerse de esta información, han de ser prioritarias las actividades de investigación encaminadas a su estudio.

Se han identificado diversas líneas de investigación (MIMAN, 2006) relacionadas con los factores determinantes de la estructura de las especies forestales seleccionadas y la diversidad genética de ellas, que es necesario desarrollar para tener conocimientos suficientes para aplicar la estrategia de conservación.

Estos estudios también han de permitir que las especies y/o poblaciones identificadas puedan integrarse al Programa de Inventario Continuo de Ecosistemas Forestales, Fase II Monitoreo de Biodiversidad de los Recursos Genéticos Forestales, que lleva a cabo INFOR y que permitirá evaluar los factores más determinantes para desarrollar los planes de conservación y uso de estos recursos.

En consecuencia, las líneas que deben apoyarse de forma prioritaria son las siguientes:

- Estudio de la estructura de la diversidad genética en caracteres neutrales y adaptativos, utilizando aproximaciones multidisciplinarias.
- Estudio de la diversidad genética dentro de las poblaciones y de los factores que la determinan, en poblaciones de especies amenazadas o en poblaciones de tamaño reducido y de distribución dispersa.
- Aplicación de nuevas tecnologías para la evaluación y seguimiento de los recursos genéticos forestales y su estado de conservación.
- Identificación del potencial evolutivo de las poblaciones seleccionadas como materiales de reproducción.

Los planes que se recomienda desarrollar en tanto son:

- Plan Nacional de Poblaciones Vulnerables (y/o amenazadas y/o endémicas).
- Plan Nacional de Mejoramiento Genético de Especies Comerciales

Para estas especies se requiere aumentar el conocimiento sobre la diversidad genética, tanto en caracteres neutrales como adaptativos, así como en otras líneas que aborden el estudio del potencial evolutivo de las poblaciones o de los procesos que tienen lugar en poblaciones de tamaño reducido.

El Sistema Nacional de Evaluación y Seguimiento de los Recursos Genéticos Forestales se plantea también como un medio para estimar los cambios en la distribución y la estructura genética de las especies forestales, así como los cambios significativos en los procesos que actúan sobre ellas.

La identificación de procedencias de área restringida puede ser extendida al resto de especies, ya que muchas de esas poblaciones son susceptibles de formar parte del Plan Nacional de Poblaciones Vulnerables.

Entre las principales necesidades de investigación se han de situar la consolidación de redes de seguimiento a largo plazo, el estudio de las interacciones entre factores ambientales y especies, y la determinación de niveles mínimos de tolerancia en aquellos sistemas vulnerables.

Así, áreas principales que deben apoyarse de forma prioritaria son las siguientes:

- Aplicación de nuevas tecnologías para la evaluación y seguimiento de los recursos genéticos forestales y su estado de conservación.
- Efectos de la fragmentación y el cambio climático.
- Programas de adaptación
- Programas de migración asistida de acuerdo a O'Neill *et al.* (2008).

Dado el papel central de la identificación de las amenazas para priorizar las especies, poblaciones y actuaciones, es necesario establecer una red de seguimiento de los recursos genéticos forestales, entre cuyas actividades figura la elección de las especies más adecuadas para evaluar el estado, la presión o la respuesta frente a diversas intervenciones y la definición de amenazas y necesidades.

Los efectos del cambio climático, ya discutido en el Modelo de las especies *N. alpina* y *N. obliqua*, y la fragmentación de poblaciones, se mencionan como líneas prioritarias de investigación, al igual que la búsqueda de tecnologías para realizar el seguimiento del estado de conservación de los recursos.

En este sentido, líneas principales que deben apoyarse son las siguientes:

- Eficacia de las estrategias de conservación de recursos genéticos forestales.
- Estrategias específicas para especies vulnerables o amenazadas.

El Plan Nacional de Conservación de Recursos Genéticos Forestales ha de contemplar estrategias de conservación dinámica, combinando métodos *in situ* y *ex situ*, e incluso *circa situ*, y el Plan de Poblaciones Vulnerables ha de basarse en la conservación *in situ* (o mantenimiento *ex situ*) de estas poblaciones. Se debe considerar poblar una base de datos con las Unidades de Conservación, que debe incluir la información sobre la Red de Unidades de Conservación *Ex Situ*, de reciente creación por el Ministerio de Agricultura. El compromiso de utilizar el sistema GRIN-GLOBAL facilitará este proceso.

Será necesario regular el registro y la catalogación de tales unidades, así como los requisitos necesarios para su definición, los organismos responsables y las normas de gestión. Para esto recientemente se ha firmado un compromiso liderado por la Subsecretaría de Agricultura del Ministerio de Agricultura y fundamentalmente sus servicios, además de algunos entes privados, para definir derechos y deberes.

El Banco de Germoplasma en Red es la principal herramienta prevista en la estrategia de RGF para la conservación *ex situ*. Está constituido como un centro en Red, con una institución que

actúa como nodo central, que corresponde al Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), y el conjunto de centros integrantes, que aportan sus colecciones.

Se plantean líneas de investigación sobre la eficacia de las estrategias de conservación y sobre estrategias específicas para especies amenazadas y/o endémicas, entre otras.

Atendiendo al usuario final, de forma reglamentaria solo cabrá prohibir la comercialización de un determinado material forestal cuando su uso pueda tener repercusiones negativas en la silvicultura, el medio ambiente, los recursos genéticos o la diversidad genética de las especies en todo o parte del territorio chileno. En estos casos es preciso que tales prohibiciones estén avaladas por ensayos o investigaciones científicas o se deriven de resultados obtenidos de la práctica forestal.

La estrategia de RGF establece el desarrollo de varias herramientas orientadas a cubrir las necesidades y las lagunas de conocimiento relativas al uso de los materiales forestales de reproducción. Los ensayos de evaluación genética y comparativa se deben incluir en la Red Nacional de Ensayos Genéticos para definir las zonas de utilización de los materiales. Se debe establecer un laboratorio virtual de evaluación de recursos genéticos forestales, el que debe considerar infraestructuras con un alto grado de control ambiental para el estudio de los recursos bajo distintas condiciones de evaluación, y viveros para la evaluación temprana y estandarizada.

En consecuencia, las líneas a considerar serían:

- Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento (manejo de huertos semilleros, cruzamientos controlados, otros)
- Uso de nuevas tecnologías para inventariar y caracterizar materiales de la población base y de reproducción.
- Métodos de evaluación temprana y en condiciones controladas+ de diversos caracteres de importancia para la adaptación ante el cambio climático.
- Técnicas de reproducción de especies forestales.

Es necesario establecer criterios para el uso de los materiales forestales de reproducción, prestando especial atención al uso de material adaptado a las condiciones del medio o a los objetivos de la reforestación, y para la protección de poblaciones de interés para la conservación, evitando riesgos de contaminación genética. Asimismo, se han de elaborar criterios orientadores para la inclusión del material de base, cuando el objetivo sea la conservación de recursos genéticos. Los criterios e indicadores han de ser divulgados entre los técnicos y encargados de la conservación de RGF para asegurar su aplicación práctica.

Recientemente se han constituido redes temáticas para coordinar la actividad de estos grupos de investigación, fomentando las interrelaciones entre los mismos. Los grupos de investigación

en Chile, que trabajan en el desarrollo de herramientas de conservación de recursos genéticos forestales, usan fundamentalmente las herramientas de la biotecnología y del mejoramiento genético para diversas aplicaciones en el ámbito del uso y la conservación de recursos genéticos forestales (Red RGF: <http://www.rgf.cl>).

La necesidad de aumentar la coordinación entre grupos para abordar los retos planteados por la estrategia, intentando aprovechar y potenciar las infraestructuras existentes, es recogida través de la creación de la Red Nacional de Bancos de Germoplasma, financiada por la Subsecretaría de Agricultura de MINAGRI y bajo el amparo de la Red RGF. Además, se ha creado un grupo google interactivo denominado CHILEGEN, donde investigadores e interesados podrán conversar sobre los RGF de Chile, las herramientas y tecnologías, y eventualmente compartir infraestructura, para así optimizar los recursos que posee el país.

Las técnicas del mejoramiento genético y de la biotecnología forestal ofrecen herramientas para la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales (caracterización de material, propagación de individuos para su conservación, seguimiento de los recursos genéticos). Por ello, dentro de las actividades de investigación se considera importante promover el desarrollo de estas herramientas para las especies objeto de la estrategia.

La investigación forestal, particularmente en materia de mejora y conservación forestal, se lleva a cabo fundamentalmente desde tres tipos de centros:

- Organismos Gubernamentales: Instituto Forestal, Corporación Nacional Forestal, Servicio Agrícola Ganadero, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Universidades: Universidad de Chile, Universidad Austral, Universidad de Talca y Universidad de Concepción, entre otras. Estos centros de investigación centran sus líneas de investigación en las especies de interés local.
- Organismos No Gubernamentales (ONG)

Actualmente están operativas varias redes temáticas relacionadas con la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales:

- REFORGEN: Red de mejora y conservación de recursos genéticos forestales de FAO.
- LAFORGEN: Red de Recursos Genéticos Forestales de América Latina. Esta red fue creada por Bioversity International y el Centro de Investigación Forestal del Instituto Nacional de España para la Agricultura y Tecnología de los Alimentos (CIFOR-INIA).
- RGF: Red nacional que es manejada por el Instituto Forestal, con la colaboración de instituciones públicas y privadas, y que fue creada bajo el auspicio de CORFO, INIA, ODEPA, CONAF y Universidades.

- CHILEGEN: Foro-chat de la Red RGF, creado por el Grupo de Conservación y Mejoramiento Genético del Instituto Forestal de Chile.

En relación a actividades de investigación, desarrollo e innovación, Chile no cuenta con un Plan Nacional de I&D+i que privilegie la realización de actividades de prospección, evaluación y caracterización de los recursos genéticos forestales. Se hace necesario que exista una instancia de este tipo que ponga especial atención en el mantenimiento de colecciones y su documentación, así como en la determinación y mantención de la variación genética de las especies forestales.

Consideraciones Económicas

El enfoque económico de la conservación de recursos genéticos ha estado presente en forma permanente en la producción alimentaria mundial. La identificación y conservación de variedades silvestres de los principales cultivos alimentarios en el mundo es una práctica extendida y que, en mayor o menor grado, cuenta con apoyo estatal en diferentes países. De esta manera se asegura la existencia de una fuente de variabilidad genética que puede ser utilizada eventualmente en la generación de nuevas variedades comerciales de importancia económica.

En Chile, el banco de semillas del Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), localizado en la Región de Coquimbo, se orienta principalmente a este objetivo; una conservación *ex situ* de recursos genéticos de uso potencial en la actividad agrícola. Así, Chile estará en condiciones de mantener su condición de actor relevante en los mercados de alimentos, manteniendo una base genética dinámica y diversa (MINAGRI, FIA y Banco Mundial, 2011).

En el caso de los recursos genéticos forestales la situación está menos desarrollada. La incorporación productiva de los recursos forestales nativos en Chile es marginal y ha visto sistemáticamente disminuida su participación desde mediados del siglo XX, desplazada por las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento y buena adaptación a terrenos degradados. Pese a que desde 2008 existe legislación de fomento al respecto, no hay seguridad para suponer que los recursos forestales nativos cobrarán relevancia económica en los próximos años.

Dado lo anterior, una justificación económica para la implementación de una estrategia de conservación genética de los recursos forestales nativos (IPGRI, 2006) debe basarse al menos en tres aspectos:

- El valor de opción futura de los bosques.
- El valor de uso actual asociado a la provisión de servicios ambientales, cada vez más valorados por la sociedad.
- El valor económico asociado a los productos forestales no madereros del bosque, de creciente interés comercial y que, a su vez, están directamente relacionados con la mantención de la biodiversidad presente en los bosques nativos. No obstante, esto es válido siempre y cuando dichos recursos se gestionen con criterios de sustentabilidad y no como mera colecta.

Respecto al valor de uso actual asociado a la provisión de servicios ambientales, Figueroa (2010) estimó que el sistema de áreas protegidas genera para el país a través de este concepto beneficios valorizados en US\$ 2.048 millones anuales.

Respecto al valor económico asociado al uso no maderero de los recursos forestales, Honeyman *et al.* (2008) señalan para el bosque esclerófilo que de 16 especies que se identifican con usos ancestrales, actuales y potenciales, las con mayores capacidades son el espinino, el peumo y el algarrobo. Estas tres especies representan en conjunto, un número de 41 usos y aplicaciones (madereras y no madereras) que han sido señaladas, de un total de 86 aplicaciones que se describen para las 16 especies identificadas como productivas o de interés.

Del total de 86 usos potenciales de las especies identificadas, solo cuatro constituyen actualmente productos con mercado formal y de solo tres especies: Corteza de quillay, Biomasa de quillay, Hojas de boldo y Carbón de espinino.

Esto concuerda con la afirmación realizada por FAO, respecto a que los bosques en el mundo albergan el 80% de la biodiversidad terrestre, lo que implica que son el reservorio de los principales recursos genéticos, fitoquímicos y farmacéuticos para abastecer la demanda mundial futura. El mercado de la identificación de principios activos de origen natural crecerá en el tiempo, reemplazando la utilización de principios activos sintéticos. El uso no maderero del bosque a través del aprovechamiento sostenible de su biodiversidad intrínseca es la principal justificación para la implementación urgente de una estrategia de conservación genética de los recursos forestales.

Por otra parte, la estrategia de conservación *in situ*, a través de la afectación por parte del Estado de terrenos para el establecimiento de áreas silvestres protegidas, será cada vez más difícil de implementar, debido al alto costo de oportunidad de los terrenos y a que los ecosistemas con mayor déficit de protección son aquellos establecidos en áreas con mayor densidad poblacional y presión de uso y, por lo tanto, más costosos de afectar para la protección.

Es urgente por lo tanto, desde el punto de vista de la eficiencia económica de las acciones de conservación, orientar la afectación de porciones de territorio para la protección hacia un enfoque genético que optimice, a través del análisis de la diversidad genética de las poblaciones, la superficie protegida, pasando de un sistema actual de conservación ecosistémica "ciego", desde el punto de vista del conocimiento de la composición genética de las poblaciones, a un sistema de determinación genética de las prioridades de conservación. Esto permitirá optimizar el gasto público en conservación de los recursos naturales y darles una orientación genética que asegure la conservación dinámica de las especies.

El gasto público en conservación *in situ* a través de un SNASPE con enfoque genético, debe complementarse con un efectivo sistema de conservación *ex situ*, del que se carece en la actualidad.

Por otra parte, la estrategia de conservación de los recursos genéticos fuera de las áreas silvestres protegidas debe estar orientada a la implementación de prácticas sostenibles de desarrollo en

las actividades productivas que impactan su entorno. Las actividades minera, agrícola, ganadera y forestal deben cumplir estándares de sostenibilidad a través de regulación ambiental específica y regulación voluntaria (sellos de certificación). En ambos casos, los planes de protección y conservación de especies vulnerables o amenazadas deben incorporar un análisis a nivel de la composición genética de las poblaciones.

En resumen, el enfoque económico para una estrategia de conservación de recursos genéticos forestales debe basarse en la importancia de la utilización de la biodiversidad, como recurso estratégico futuro, y de la gestión genética de la biodiversidad, como la principal herramienta para asegurar una conservación dinámica y adaptativa que responda a los desafíos que impondrá el cambio climático y la creciente presión de uso sobre los recursos naturales.

Consideraciones Institucionales

Los inicios de la conservación de los recursos forestales en Chile se pueden ubicar a principios del siglo XX y están asociados a la labor del científico alemán Federico Albert.

La naturaleza productiva de los recursos forestales y la competencia por el uso del suelo con la actividad agrícola, han hecho que los arreglos institucionales para su gestión hayan sido complejos desde un comienzo. La dualidad conservación-producción asociada a los bosques ha tensionado históricamente su gestión, lo que se refleja en las continuas modificaciones a la institucionalidad que ha regido estas materias. En efecto, la institucionalidad forestal durante las primeras décadas del siglo XX se caracterizó por sufrir una serie de cambios de dependencia, pasando desde el Ministerio de Industria y Obras Públicas al Ministerio de Agricultura, Industria y Colonización. Posteriormente pasó por el Ministerio de Fomento y por el Ministerio de Propiedad Austral, para terminar en el Ministerio de Tierras, Bienes Nacionales y Colonización (Camus, 2006).

No fue hasta el año 1960 que se le entregó al Ministerio de Agricultura la responsabilidad sobre la protección de todos los recursos naturales renovables. Estos temas quedaron entonces radicados en el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). En forma complementaria se estableció el año 1970 la COREF (Corporación de Reforestación), con el objetivo de participar activamente en la repoblación forestal y el manejo de las masas boscosas, aportando asistencia técnica y financiera. En 1972 COREF pasó a denominarse CONAF (Corporación Nacional Forestal), la que terminó constituyéndose en el servicio forestal del país, hasta la fecha.

Desde su creación, y en ausencia de instituciones netamente ambientales en el aparato público, CONAF se constituyó, de hecho, en el organismo de protección ambiental del Estado. En esta labor asumió un liderazgo hasta el año 1994, año en que se promulgó la Ley 19.300 de Bases del Medio Ambiente y se creó la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). En la actualidad, con la creación del Ministerio del Medio Ambiente el año 2010, las temáticas de conservación del patrimonio natural y la dictación de normativa de regulación recaen en dicho Ministerio, siendo CONAF quien resguarda el patrimonio forestal del país. Esta gestión conjunta no ha estado exenta de problemas; los que se acentuaron durante la discusión en el Congreso del proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas, continuador legal del actual SNASPE.

Este contexto debe entenderse antes de definir un arreglo institucional para una estrategia nacional de conservación de recursos genéticos forestales. A la superposición de atribuciones entre los Ministerios de Medio Ambiente y Agricultura, debe sumarse la propia relación interna de los servicios del agro, quienes desarrollan sus funciones en el mismo territorio. Los bosques, sus ecosistemas asociados y los recursos genéticos de especies arbóreas y arbustivas; no responden a limitaciones administrativas, lo que hace más compleja su gestión. Es así como deben quedar claras las atribuciones sobre la gestión de los recursos naturales en instituciones como la Corporación Nacional Forestal y el Servicio Agrícola y Ganadero, o bien entre los organismos de investigación como INIA e INFOR.

Como ejemplo, el SNASPE, como principal programa de conservación *in situ*, no posee base jurídica en la actualidad (Ley 18.362 no vigente) y se discute en el Congreso su futura dependencia administrativa. Esto ya permite proyectar que el establecimiento de una estrategia de conservación de recursos genéticos en estas condiciones, tendrá una gestión institucional incierta.

Bajo el escenario descrito, existen dos opciones institucionales:

- **Un arreglo institucional horizontal:** Sea como una red de instituciones públicas y privadas, o bien como una cooperativa. Esta alternativa presenta ventajas y desventajas. Por una parte permite incorporar a la estrategia todas las acciones que los distintos organismos públicos y privados ya vienen desarrollando, potenciando de esta manera el alcance de estas, y facilita lograr una cobertura territorial y taxonómica más amplia, asociada a la cobertura de actuación de los distintos grupos de interés. Entre las desventajas, está la dificultad de coordinar y orientar los esfuerzos de la estrategia hacia objetivos específicos, que pueden ser cercanos o bien lejanos a los propios objetivos de cada servicio o entidad.
- **Un arreglo institucional vertical:** Mediante la creación de un nuevo servicio público exclusivo para la gestión de la Estrategia o bien la designación de un servicio ya existente como responsable principal. La ventaja es lograr una administración más ejecutiva de las acciones vinculadas a la estrategia, ya que la administración se radicaría en un solo organismo. Su desventaja está en la dificultad o factibilidad de lograr imponer verticalmente una estrategia de conservación genética a los distintos organismos involucrados.

Finalmente, es relevante revisar la actual normativa que regula el uso, protección y conservación de los recursos forestales y analizar su impacto sobre la conservación genética de dichos recursos. En este sentido es importante conocer el potencial impacto sobre la estrategia de cuerpos legales como la Ley 20.283 de Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, la posible extensión del DL 701, el proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas; la ratificación pendiente del Protocolo de Cartagena o la tramitación del proyecto de Ley que regula los derechos sobre obtenciones vegetales y deroga la ley N°19.342.

REFERENCIAS

- Allendorf, F.; Leary, R.; Spruell, P. y Wenburg, J., 2001.** The problems with hybrids: setting conservation guidelines. Volume 16, Issue 11, Pp. 613–622. [en línea]. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016953470102290X>>. [Consulta: 4 abril 2012].
- Allnutt, T. R.; Newton, A. C.; Lara, A.; Premoli, A. C.; Armesto, J. J.; Vergara, R., y Gardner, M., 1999.** Genetic variation in *Fitzroya cupressoides* (alerce) a threatened South America conifer. *Molecular Ecology*, 8, 975–987.
- Araya, L. y Oyarzun, V., 2000.** Descripción de los Bosques de *N. alpina* y *N. obliqua* de Chile. En: Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart V. Universidad Austral de Chile/Instituto Forestal. pp. 25–42.
- Armesto, J. J.; Rozzi, R.; Smith-Ramirez, C. y Arroyo, M., 1998.** Conservation targets in South American temperate forests. *Science* 282, 1271–1272.
- Bahamondez, C.; Martin, M.; Muller-Using, S.; Pugin, A.; Vergara, G. y Rojas, Y., 2008.** Método de estimación de vulnerabilidad en bosques. Reporte Técnico, Instituto Forestal. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.
- Bahamondez, C.; Martin, M.; Müller-Using, S.; Pugin, A.; Vergara, G. y Rojas, Y. 2009.** Estimación de vulnerabilidad en Bosques en Chile. Proyecto Integrado de Riesgo Climático en el sector Silvoagropecuario Consorcio INIA-INFOR-CIREN. INFOR Valdivia, Chile.
- BCN, 2009.** Decreto N°68. Nómina de especies arbóreas y arbustivas originarias del país. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [en línea]. <<http://www.leychi-le.cl/Navegar?-idNorma=1008674&idVersion=2009-12-02>>
- Bekessy, S. A.; Allnutt, T. R.; Premoli, A. C.; Lara, A.; Ennos, R. A.; Burgman, M. A.; Cortes, M. y Newton, A. C., 2002.** Genetic variation in the vulnerable and endemic Monkey Puzzle tree, detected using RAPDs *Heredity* (2002) 88, 243–249. DOI: 10.1038/sj.hdy.6800033.
- Benoit, I., 1989.** Red list of Chilean Terrestrial flora (Part one). Chilean Forest Service (CONAF). Santiago, Chile. 151 p.
- Burdon, R. D., 1995.** Future directions in tree breeding: Some questions of what we should seek, and how to manage the genetic resource. In: Proceedings of 25th Meeting, Canadian Tree Improvement Association, Part 2. CTIA / WFGA Conference “Evolution and Tree Breeding: Advances in Quantitative and Molecular Genetics for Population Improvement”, J. Laverneau (ed). Victoria, BC, 28 Aug – 1 Sept 1995. pp. 24–39.
- Burns, S.; Cellini, J. M.; Lencinas, M.; Martínez, G. y Rivera, S., 2010.** Descripción de posibles híbridos naturales entre *Nothofagus pumilio* y *N. antarctica* en Patagonia Sur (Argentina). Bosque (Valdivia), Valdivia, V. 31, n. 1. [en línea]. <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071792002010000100002&lng=en&nrm=iso&ignore=-.html>. [Consulta: 6 noviembre 2013].
- Camus, P., 2006.** Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile. 1541-2005. Centro de Investigaciones Diego Barros Arana. Ediciones Lom. 383 pp.
- CBD, 1992.** The Convention on Biological Diversity. Article 2. Convention on Biological Diversity. UNEP 1992.
- CONAF, 2011.** Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Monitoreos de Cambios y Actualizaciones. Periodo 1997-2011. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile.
- CONAF-CONAMA, 1999.** Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Corporación Nacional Forestal y Comisión Nacional del Medio Ambiente. 88 p.
- CONAMA, 1999.** Primera comunicación nacional bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 156 p.
- CONAMA, 2003.** Estrategia Nacional de Biodiversidad. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Chile.
- CONAMA, 2006.** Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 63 p.

Donoso, C., 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación Estructura y Dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria. 483 p.

Donoso, C. y Landrum, L. C., 1979. *Nothofagus leonii* Espinosa, a natural hybrid between *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. and *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. New Zealand Journal of Botany, Vol. 17: 353-60. [En línea]. <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/0028825X.1979.10426908>>. [Consulta: 7 noviembre 2013].

Donoso, C. y Atienza, J., 1983. Hibridación natural entre especies de *Nothofagus* Siempreverdes en Chile. Bosque (Valdivia), Vol.5, N°1 [citado 03 Abril 2012], p.21-34. [en línea]. <<http://mingaonline.uach.cl/pdf/-bosque/v5n1/art03.pdf>>. [Consulta: 7 noviembre 2013].

Donoso, C.; Morales, J. y Romero, M., 1990. Hibridación natural entre roble (*Nothofagus obliqua*) (Mirb.) Oerst y raulí (*N. alpina*) (Poepp. & Endl.) Oerst, en bosques del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Vol. 63: 49-60. [En línea]. <http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1990/1/Donoso_et_al_1990.pdf>. [Consulta: 8 noviembre 2013].

Echeverría, C.; Coomes, D.; Salas, J.; Rey-Benayas, J. M.; Lara, A. y Newton, A., 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. Biological conservation, 130(4), 481-494.

Eriksson, G., 2001. Conservation of noble hardwoods in Europe. Can. J. For. Res., 31:577-587.

Eriksson, G.; Namkoong, G. y Roberts, J., 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. For. Ecol. Manage. 62: 15-37.

FAO, 2013. Proyecto de prioridades estratégicas para la acción en favor de la conservación, la utilización sostenible y el desarrollo de los recursos genéticos forestales. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. CGRFA-14/13/11. 37 p.

Figuerola, E., 2010. Valoración Económica detallada de las Áreas Protegidas de Chile. Informe Técnico Proyecto GEF-MMA-PNUD Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera y operacional". 232 pp.

Fuentes-Ramirez, A. ; Pauchard, A. ; Marticorena, A. y Sanchez, P., 2010. Relación entre la invasión de *Acacia dealbata* Link (Fabaceae: Mimosoideae) y la riqueza de especies vegetales en el centro-sur de Chile. Gayana Bot. 67 (2): 176-185.

Gutiérrez, B. e Ipinza, R., 2012. Orientaciones para la conservación y uso sustentable de los recursos genéticos forestales. En: Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. Ed: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. R. y Torres, J. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago, abril 2012. Pp: 167-186.

Honeyman, P.; Cruz, P.; Schulze, C.; Hube, C.; Urrutia, J. y Ravanal, C., 2008. Modelo de Gestión Forestal para el Uso Sustentable de los Bosques Mediterráneos Chilenos. Revista Virtual REDESMA Agosto 2009. Vol. 3(2). pp. 61-79

IPGRI, 2006. Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Summary report of the workshop. Paris, France, 15-16 March 2006. 14 p.

Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V., 1998. Estrategia de Mejoramiento y Ganancias Genéticas Esperadas de un Programa de Mejoramiento Genético para *Nothofagus obliqua* (Mirb. et Oerst.) y *N. alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst. en Chile. Actas Primer Congreso Latinoamericano IUFRO. El Manejo Sustentable de los Recursos Forestales. Desafíos del Siglo XXI. 22 al 28 de Noviembre de 1998. Valdivia, Chile.

Ipinza, R., 2000. Modelo Básico de Mejora Genética. En: Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble., Editores: Roberto Ipinza Carmona, Braulio Gutierrez Caro y Veronica Emhart Schmidt. Universidad Austral e Instituto Forestal. pp. 197-213.

Johnson, R.; St. Clair, J. y Lipow, S. R., 2001. Genetic Conservation in Applied Tree Breeding Programs. Proceedings: International Conference on *Ex situ* and *In situ* Conservation of Commercial Tropical Trees. p. 215-30.

Langdon, B.; Pauchard, A. y Aguayo, M., 2010. *Pinus contorta* invasion in the Chilean Patagonia: Local patterns in a global context. Biological Invasions 12: 3961-3971.

Ledig, F. T., 1986. Conservation strategies for forest gene resources. *Forest Ecology and Management* 14: 77-90.

Luebert, f. y Pliscoff, P., 2006. Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 316 p.

Luers, A. L.; Lobell, D. B.; Sklar, L. S. y Adams, C. L., 2003. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 13 (2003) 255-267.

Namkoong, G., 1997. Diversity, Adaptation and Conservation. Paper for FORGEN News. IPGRI. Roma, Italia.

Magni, C. R.; Abarca, B. y Torres, J., 2012a. Capítulo 4. Caracterización de recursos genéticos forestales en Chile. En: Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. Ed: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. R. y Torres, J. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago, abril 2012. 2012. 91-112pp.

Magni, C. R.; Abarca, B. y Poch, P., 2012b. Capítulo 5: Presencia de recursos genéticos forestales en áreas protegidas de Chile: Conservación in situ. En: Recursos genéticos forestales de Chile. Catastro 2012. Ed: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B.; Magni, C. R. y Torres, J. FIA-INFOR. ISBN: 978-956-318-078-7. Santiago, abril 2012. 2012. 91-112pp.

MIMAM, 2006. Estrategia de Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales. DGB. Madrid, 81 pp.

MINAGRI, FIA y Banco Mundial, 2011. Chile's Agricultural Innovation System: An Action Plan Towards 2030. 52 p.

Molina, M. y Obando, M., 2008. Informe Interno: Desarrollo de modelos preliminares ecofisiológicos para *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Nothofagus alpina*, *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus dombeyi*. Estudio específico: Análisis de Respuestas Ecofisiológicas de Especies Forestales frente a Aumento de Temperaturas. En: Proyecto Integrado sobre riesgo Climático y su prevención en el sector silvoagropecuario. INIA-CIREN-INFOR. 26 pág.

MMA, 2013. Historia de la Clasificación de Especies según Estado de Conservación en Chile. [En línea]. <http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/lista_especies_nativas_según_estado_conservacion.html>. Ministerio del Medio Ambiente. Chile. [Consulta: 11 noviembre 2013].

O'Neill, G. A.; Ukrainetz, N. K.; Carlson, M. R.; Cartwright, C. V.; Jaquish, B.C.; King, J. N.; Krakowski, J.; Russell, J. H.; Stoehr, M. U.; Xie, C. y Yanchuk, A. D., 2008. Assisted migration to address climate change in British Columbia: recommendations for interim seed transfer standards. B.C. Min. For. Range, Res. Br., Victoria, B.C. Tech. Rep. 048. www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Tr/Tr048.htm

Pastorino, M.; Farina, M.; Bran, D. y Gallo, L., 2006. Extremos geográficos de la distribución natural de *Austrocedrus chilensis* (Cupressaceae). *Bol. Soc. Argent. Bot.* vol.41, n.3-4 [En línea]. <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722006000200011&lng=es&nrm=iso>. [Consulta: 11 noviembre 2013].

Pliscoff, P. y Fuentes, T., 2008. Análisis de Representatividad Ecosistémica de las Áreas protegidas Públicas y Privadas en Chile. Informe Final, GEF PDF B Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile. Santiago.

Premoli, A. C.; Kitzberger, T. y Veblen, T. T., 2000. Isozyme variation and recent biogeographical history of the long-lived conifer *Fitzroya cupressoides*. *Journal of Biogeography* 27: 251-260.

Rodríguez, R.; Ruiz, E. y Elissetche, J., 2006. Árboles en Chile. Editorial Universidad de Concepción, Concepción. 183 p.

Rogers, D.; Matheson, C.; Vargas-Hernández, J. J. y Guerra-Santos, J. J., 2006. Genetic conservation of insular populations of Monterey Pine (*Pinus radiata* D. Don). *Biodivers. Conserv.* 15:779-798.

Salazar, E.; León, P.; Rosas, M. y Muñoz, C., 2006. Estado de la conservación *ex situ* de los recursos fitogenéticos cultivados y silvestres en Chile. Boletín INIA N° 156. Santiago, Chile. [En línea]. <http://www.inia.cl/recursosgeneticos/descargas/Boletin_INIA_156.pdf>

Schulz, J. J.; Cayuela, L.; Echeverría, C.; Salas, J. y Rey Benayas, J. M., 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*, 30(3), 436-447.

Seguel, L. I., 2008. Segundo informe país sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Chile. [En línea]. <<http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Chile.pdf>>. [Consulta: 22 febrero 2012].

Sierralta, L.; Serrano, R.; Rovira, J. y Cortés, C. (Eds), 2011. Las áreas protegidas de Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 35 pp.

Simonetti, J., 2008. Informe país. Estado del Medio Ambiente en Chile. Capítulo 4: Diversidad biológica. GEOCHILE. Universidad de Chile, Instituto de Asuntos Públicos. pp 175-220.

Skogsstyrelsen, 2012. The state of forest genetic resources in Sweden. Report to FAO. RAPPORT, 12 • 2012. 67 p.

Smith-Ramírez, C., 2004. The Chilean coastal range: a vanishing center of biodiversity and endemism in South American temperate rainforests. *Biodiversity & Conservation*, 13(2), 373-393.

St. Clair, J. B. and Howe, G. T., 2011. Strategies for conserving forest genetic resources in the face of climate change. *Turkish Journal of Botany*. 35: 403-409.

Steconni, M.; Marchelli, P.; Puntieri, J.; Picca, P. y Gallo, L., 2004. Natural Hybridization between a Deciduous (*Nothofagus antarctica*, Nothofagaceae) and an Evergreen (*N. dombeyi*) Forest Tree Species: Evidence from Morphological and Isoenzymatic Traits. *Annals of Botany* 94: 775-786. [En línea]. <<http://aob.-oxfordjournals.org/content/94/6/775.full.pdf>>. [Consulta: 5 noviembre 2013].

Torres, J. y Magni, C., 2012. Conservación *ex situ* de Recursos genéticos Forestales. En: Recursos Genéticos Forestales en Chile. Catastro 2012, Eds. por Roberto Ipinza, Santiago Barros, Braulio Gutiérrez, Carlos Magni, y Julio Torres. pp 151-164.

Vergara, R., 2011. Neutral and adaptive genetic structure of the South American species of *Nothofagus* subgenus *Lophozonia*. Natural history, conservation, and tree improvement implications. A dissertation presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. University of Florida. 169 p.

Yanchuk, A. y Lester, D., 1996. Setting priorities for conservation of the conifer genetics resources of British Columbia. *For. Chron.* 72: 406-415.

Yanchuk, A., 2001. A quantitative framework for breeding and conservation of forest tree genetic resources in British Columbia. *Can. J. For. Res.* 31. 566-576.

Capítulo 9

INCENDIOS FORESTALES Y SU IMPACTO SOBRE LOS RECURSOS GENÉTICOS

Julio Torres Cuadros¹

Miguel Castillo Soto²

INTRODUCCIÓN

Los incendios pueden alterar severamente la estabilidad de los ecosistemas forestales, modificando la estructura y composición de especies, afectando las dinámicas sucesionales, y perturbando interacciones ecológicas, factores que sumados se traducen en una pérdida de funcionalidad del ecosistema de difícil recuperación. Además, algunos incendios, especialmente los de gran extensión y severidad, o repetidos en un corto espacio de tiempo, pueden dejar profundas huellas en el ecosistema y desencadenar procesos de erosión y degradación que pueden incrementar notablemente la magnitud y duración de los impactos provocados por estos siniestros (Fernández *et al.*, 2010).

Especialmente grave es el impacto de los incendios forestales sobre la provisión de servicios ambientales de los bosques y su capacidad para aportar al bienestar humano. Además, los cambios en estructura y composición de los bosques a raíz de los incendios reducen la variabilidad genética de estos ecosistemas, amenazando su adaptación a escenarios cambiantes y complejos como es el cambio climático (FAO, 2014).

A nivel de país, una estrategia de gestión de los recursos genéticos forestales (RGF) debe considerar los impactos ocasionados por disturbios, como los incendios forestales que estos recursos han enfrentado en el pasado y los desafíos que en esta materia, tanto en el ámbito de la conservación como del uso sostenible, enfrentarán en el futuro a raíz del cambio climático.

RESEÑA HISTÓRICA DE OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES

El proceso de destrucción de bosques nativos en Chile se hizo presente con mayor fuerza durante el período de 1850 - 1950, con los extensos procesos de colonización de tierras que ocurrieron en el Sur y la Patagonia. En esos años los bosques se concebían como un recurso natural inagotable y al mismo tiempo como un obstáculo para la expansión de tierras para la ganadería

1 Ingeniero Forestal, Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Académico Departamento Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. jtorresc@uchile.cl

2 Ingeniero Forestal, Magíster en Geografía, Doctor en Recursos Naturales y Sostenibilidad. Académico e investigador del Laboratorio de Incendios Forestales. Universidad de Chile. migcasti@uchile.cl.

y la agricultura. Los incendios ocasionados en esa época, sin ninguna previsión respecto a sus consecuencias, se sucedieron constantemente, expandiéndose por todo el sur de Chile.

En algunos casos estos grandes incendios devastaron cientos de miles de hectáreas sin control más que el opuesto por la naturaleza misma. En esas condiciones se quemaron valiosos bosques del tipo forestal siempreverde en Osorno y Llanquihue, milenarios alerzales entre Puerto Varas y Puerto Montt, quedando a su paso terrenos ñadis que resultaron inútiles para el establecimiento de cultivos. Miles de hectáreas de lenga ardieron entre 1850 y 1860, al igual que extensos bosques de robles y raulíes ubicados en la región centro-sur de Chile. Los incendios en la Araucanía fueron de tal magnitud que el fuego arrasó con la mayoría de los bosques del Valle Central y de las dos cordilleras, hasta una altitud de 700 a 1.000 msnm. Al término del siglo XIX, más de 260 mil hectáreas de alerces habían sido arrasadas en el período de la colonización.

Una de las zonas de Chile más afectada fue la región de Aysén. En esta zona, colonizada a partir de inicios del siglo XX, habrían ocurrido los más grandes incendios de bosques registrados en Chile, consumiéndose alrededor de 3.000.000 de hectáreas (Bizama *et al.*, 2011). Estos grandes incendios pueden haber sido determinantes en la pérdida de conectividad de los bosques remanentes, debido a que habrían generado una alta pérdida y fragmentación de la cobertura vegetal original. Los procesos de sucesión ecológica y la dinámica evolutiva natural de estos bosques fueron afectados, quedando extensas superficies quemadas expuestas a la acción de agentes externos, entre ellos la actividad humana, que repercutieron directamente en la variabilidad genética de las poblaciones que lograron sobrevivir a los efectos del fuego.

El retroceso del área boscosa original, dio paso a alteraciones en los mecanismos naturales de recuperación, tanto de la masa boscosa como del suelo y paisaje. Durante este largo proceso hubo indudablemente variaciones en la estructura y composición de especies, en donde la flora y vegetación experimentaron cambios en la capacidad de recuperación y en la expresión de sus mecanismos de adaptación a ecosistemas alterados por episodios recurrentes de incendios.

A nivel de paisaje, los últimos 150 años de intensa actividad en áreas de bosques generaron procesos erosivos de enormes proporciones, tal como lo describe Otero (2006) al señalar que, además del profundo daño a los bosques, en el período 1850-1950 se perdieron enormes cantidades de suelo fértil que cambiaron para siempre los paisajes australes de Chile, y con ello la composición genética de las poblaciones originales de vegetación nativa, que tuvieron que adaptarse a condiciones ambientales muy distintas a las originales.

No existen referencias científicas que hayan estudiado la relación de ganancia, pérdida o evaluación del material genético de especies forestales nativas en Chile en relación a los incendios. No obstante, mediante los estudios que vinculan al estado de degradación del bosque nativo y los disturbios ocasionados por el fuego, se pueden establecer inferencias y demostrar con datos fidedignos, que es posible asociar el estado actual de diversidad con las posibilidades de supervivencia en el tiempo. Es el caso de los principales tipos forestales nativos que se encuentran tipificados en el actual catastro de recursos vegetacionales de Chile, su contenido señala datos respecto al tipo de estructura, cobertura y dominancia de especies, lo cual refleja en forma indirecta el gradiente de estados en que se encuentran los actuales bosques.

Desde la mirada de los incendios, es posible establecer estudios respecto a los patrones espaciales y biológicos de recuperación post fuego. Esto se ha usado en diversos estudios dendrocronológicos y paisajísticos, incorporando posteriormente la variable de severidad o grado de intensidad del fuego. En este último caso existen referencias en Chile Central para paisajes vegetales mediterráneos con predominio de palma chilena y bosque esclerófilo (Castillo, 2006). En ambos tipos forestales se dan las condiciones para establecer estudios respecto al potencial genético de sus especies asociadas, porque existen importantes avances en técnicas de silvicultura clonal, ensayo de especies y viverización.



(Fotos: Miguel Castillo).

Ejemplares de palma chilena afectados por un incendio de matorrales, fenómeno recurrente en laderas y cerros de Valparaíso y Viña del Mar (izq.). Chaguales quemados después de un intenso incendio en matorral y arbolado nativo (der. arriba). Ladera de exposición norte afectada por un incendio, seis meses después del paso del fuego (der. abajo).

Figura N° 1
ALGUNOS EJEMPLOS DEL EFECTO DEL FUEGO

ESTADÍSTICAS DE INCENDIOS EN VEGETACIÓN NATIVA. LIMITACIONES PARA UN ANÁLISIS GENÉTICO DEL IMPACTO

Las estadísticas referidas a número de incendios y superficie quemada proviene de dos fuentes principales: la Corporación Nacional Forestal (CONAF) a través de sus direcciones regionales de Manejo del Fuego, y el consolidado de empresas forestales a través de sus programas locales de protección contra incendios.

La información incluye número de incendios forestales y superficie afectada, lo que permite llevar un registro histórico confiable en cuanto a niveles de ocurrencia y severidad, pero carece de un mayor detalle que permita discriminar el tipo forestal afectado por el fuego. La separación según tipos vegetacionales que realiza CONAF se limita a distinguir entre arbolado nativo, matorral o pastizal.

Aun cuando se pudiera llegar al nivel de tipo forestal en el futuro, esta información no incluiría antecedentes por especies y mucho menos información de variación intraespecífica, como procedencias, en caso que esta información estuviera disponible.

Lamentablemente la dificultad para evaluar el impacto de los incendios forestales sobre la composición genética de las poblaciones, especies y procedencias afectadas, se explica por la ausencia de estudios sistemáticos respecto a la variabilidad genética de las especies forestales nativas. Si bien existen estudios preliminares asociados a proyectos de investigación que han desarrollado programas de mejoramiento genético en algunas especies, aún queda mucho por realizar en esta materia (Donoso *et al.*, 2004).

En el caso de las empresas forestales existe un detallado registro genético de sus plantaciones productivas, ya que el patrimonio forestal está estructurado en plantaciones familiares y plantaciones clonales, ambas de origen genético conocido, y porque además las empresas promueven e invierten fuertemente en este tipo de actividades, dado que constituyen una garantía de la vigencia y permanencia de su producción basada en la exigencia de los mercados y en los procesos de certificación.

En vista de lo anterior, el desarrollo de una programa nacional de conservación de recursos genéticos forestales debe considerar el desarrollo de programas de monitoreo de la biodiversidad a escala genética, que permita mejorar las estrategias de conservación *in situ*, así como cuantificar de manera más precisa los impactos a nivel genético de las pérdidas producidas por incendios forestales u otros disturbios.

De hecho, uno de los objetivos de la conservación de recursos genéticos forestales es preservar la integridad del acervo genético de las especies a través de la protección de variantes genéticas únicas, centros geográficos de variación genética y patrones de flujo génico interpoblacional (Donoso *et al.*, 2004). Son estos valores los que se ven amenazados ante disturbios tan dañinos como son los incendios forestales.

INCENDIOS FORESTALES Y RECURSOS GENÉTICOS

Los ecosistemas forestales son importantes reservorios de biodiversidad. Contienen una amplia variedad de especies, las cuales dependen directamente de los bosques. Cerca del 90% de la biodiversidad terrestre se encuentra en los bosques.

De acuerdo con Fernández *et al.* (2010), aún existe controversia respecto a la existencia de

regímenes de fuego naturales en Chile. Si bien se ha planteado que algunos ecosistemas pueden haber estado sujetos a la acción del fuego antes de la llegada del hombre, la frecuencia no parece haber sido suficientemente alta como para causar presiones evolutivas, impidiendo que hoy en día existan ecosistemas dependientes del fuego en Chile. A diferencia de otros ecosistemas, donde efectivamente su dinámica de propagación se beneficia de los efectos del fuego, esta situación no ocurre en el caso chileno.

Pese a que los bosques han evolucionado en interacción permanente con agentes perturbadores de origen natural, en la actualidad el principal agente modificador es el ser humano (Fernández *et al.*, 2010). El cambio climático constituye una seria amenaza a los bosques y su biodiversidad. El incremento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, sequías, la aparición de nuevas plagas y enfermedades y el incremento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales, configuran un complejo escenario para la conservación genética asociada a los recursos forestales. Por lo mismo, la efectiva gestión de conservación de los recursos genéticos forestales cobra mayor importancia en este escenario climático, ya que permitirá mantener e incrementar la variabilidad genética sobre la cual actuará la selección natural y artificial, facilitando la adaptación a las cambiantes condiciones (FAO, 2014).

Pese a este escenario probable de incremento de disturbios provenientes de incendios forestales, en Chile no existe una política acerca de los recursos genéticos forestales que incluya un análisis de riesgo de pérdida de RGF por el efecto de disturbios. Se carece también, como ya se ha mencionado, de información base que permita cuantificar el impacto de las pérdidas de RGF asociado a incendios forestales u otros disturbios.

Los impactos sobre los recursos forestales están cuantificados en los procesos de actualización del catastro vegetal que realiza CONAF, pero solo a nivel de superficie y tipo forestal (CONAF, 2011). Lara *et al.* (2013) indican que la tasa de afectación de incendios forestales sobre bosque nativo se ha mantenido a través de los últimos años en alrededor de 10.000 ha anuales, para un promedio anual de 50.000 ha si se considera la superficie total afectada.

Otras referencias reportan cifras similares a las señaladas por Lara *et al.* (2013), situando las afectaciones a un nivel mayor, especialmente en la composición de matorral nativo de la zona central de Chile. Lo preocupante de las cifras de ocurrencia de incendios es que el aumento de los niveles de severidad producto, entre otros factores, del cambio climático, repercuten también directamente en los procesos naturales de dispersión de material genético, entre ellos las semillas.

Aunque gran parte de las especies del bosque esclerófilo pueden sustentar sus poblaciones sobre la base de los procesos de regeneración vegetativa, otras especies de alto valor como la palma chilena, basan su continuidad evolutiva en la regeneración por semillas. Este último fenómeno se ha visto severamente afectado por la creciente presión del efecto borde en áreas recurrentemente afectadas por la presión del hombre expresada en la recolección de frutos de palma, y por los cada vez más intensos incendios de matorral y arbolado nativo, que impiden el proceso natural de latencia y germinación. Por lo anterior, el acervo genético de esta

especie ancestral y representativa de la historia colonial de Chile Central, se ha resguardado en la proliferación de cultivos viverizados, intentando mitigar de esta manera el proceso de degradación de sus poblaciones naturales en el tiempo.

La Situación de las Plantaciones Forestales

Como ya se mencionó, las empresas forestales que han implementado programas de mejoramiento genético forestal, poseen un registro detallado de la composición genética de su patrimonio plantado. Ya sea el origen familiar o clonal, el patrimonio genético está identificado y resguardado en bancos, ensayos genéticos y laboratorios, de manera que la pérdida de plantaciones operacionales por disturbios como incendios no significa la pérdida del material genético original de dichas plantaciones. De hecho, los recursos genéticos forestales de origen exótico son los mejor conservados mediante la modalidad *ex situ*, a través de los programas de mejoramiento genético de las empresas forestales. No obstante, esta representación está acotada solamente a las especies de alto valor económico que cultivan dichas empresas (Torres y Magni, 2012).

Una situación particular la constituye el bosque nativo en patrimonio de las empresas forestales. Las empresas poseen cerca de 500.000 ha de vegetación nativa como parte de su patrimonio forestal. Gracias a las iniciativas de certificación ambiental (FSC), se han identificado en el patrimonio de las empresas áreas de alto valor de conservación (AAVC), las que consideran concentraciones significativas de valores de biodiversidad (áreas protegidas, especies amenazadas y en peligro, especies endémicas), como también áreas que cuenten con recursos forestales fundamentales para satisfacer las necesidades básicas de comunidades locales.

En el caso particular del proceso de certificación FSC de Forestal Arauco, durante la identificación de sus AAVC se encontraron 22 especies de flora en alguna categoría de amenaza en su patrimonio, así como 59 plantas vasculares con usos medicinales. Las AAVC declaradas por las empresas deben contar con un plan de conservación, en el que se identifiquen las posibles amenazas a los valores ahí declarados. En el caso de los incendios forestales, particular preocupación deben tener las empresas para evitar que estas áreas se vean afectadas, especialmente sectores de reducida superficie y alta vulnerabilidad a pérdidas de los recursos genéticos ahí presentes por efecto del fuego. Es el caso de aquellas áreas con presencia de ruil (*Nothofagus alessandrii*), altamente vulnerables a pérdidas por incendios, dada su situación de adyacencia a plantaciones forestales. Para estos casos los planes de conservación de las AAVC contemplan dentro de sus acciones una priorización en el programa de combate de incendios forestales de la empresa (Reska, 2013).

Los Impactos de los Incendios Forestales sobre el Bosque Nativo. La Fragmentación

La pérdida de hábitat y la fragmentación se han convertido en las más importantes amenazas para el mantenimiento de la biodiversidad en todos los ecosistemas terrestres (Herreras y Benítez-Malvido, 2005). Se denomina fragmentación del hábitat al proceso mediante el cual un área extensa y continua de hábitat es reducida y dividida en dos o más fragmentos. Estos fragmentos difieren del hábitat original por cuanto poseen mayor proporción de borde y porque

sus centros se encuentra más cerca de los bordes que en el hábitat original (Primack *et al.* citado por Fernández *et al.*, 2010).

Además de las consecuencias en el componente biótico (flora y fauna), los procesos de fragmentación generan importantes modificaciones de los factores abióticos (medioambiente físico (Bustamante y Grez, citado por Fernández *et al.*, 2010). Otro efecto de la fragmentación es el aislamiento progresivo de las poblaciones que habitan estos fragmentos, que dependerá tanto de la conectividad de los fragmentos como de la adversidad de la matriz que los rodea (Bizama *et al.*, 2011).

Como se mencionó anteriormente, durante el período de 1850-1950, se produjo una situación de destrucción de bosques nativos en Chile a partir de los extensos procesos de colonización de tierras que ocurrieron en el sur y la Patagonia, trayendo consigo la apertura de mosaicos de vegetación y la entrada de agentes de perturbación, que con el paso del tiempo fueron acentuando el efecto borde de paisajes, y con ello el cambio en el uso del suelo. Las quemas descontroladas permitieron cambiar en pocos años las estadísticas sobre composición de las clases de uso. Los suelos de aptitud preferentemente forestal fueron perdiendo terreno por cuanto la disminución de la productividad fue evidente conforme fueron expresándose los procesos de erosión y sedimentación, especialmente en paisajes escarpados de muchas zonas de precordillera en el sur de Chile.

De esta manera, los incendios forestales, producto de la colonización del sur en el pasado, así como los incendios que persisten en la actualidad sobre el bosque nativo (10.000 ha anuales), han generado una dinámica de fragmentación de los ecosistemas forestales.

La pérdida y fragmentación de los bosques debido a los incendios forestales, conlleva una reducción de las poblaciones de plantas y animales presentes en los bosques, y la posterior disminución del tamaño efectivo de cada población en condiciones reproductivas (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005). La fragmentación del hábitat altera la estabilidad de las poblaciones y en casos extremos puede llevar a extinciones locales y regionales de algunas especies, especialmente aquellas especies que ya poseen problemas de viabilidad debido a, por ejemplo, una limitada capacidad de dispersión o escasa variabilidad de las poblaciones remanentes (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005).

Entre los efectos producidos por la fragmentación de los bosques se encuentran: (i) los efectos demográficos, que alteran los parámetros de nacimiento, mortalidad y crecimiento de las poblaciones naturales; (ii) los efectos de desplazamiento de especies por competencia, debido a que los hábitat fragmentados son especialmente favorables para el ingreso de especies invasoras; y (iii) los efectos genéticos, debido a que la reducción en el tamaño de las poblaciones, a causa de que la fragmentación crea barreras genéticas, donde los individuos remanentes son solo una muestra del total de los genes que había en la población (Raijmann *et al.*, citado por Herrerías y Benítez-Malvido, 2005). Las poblaciones pequeñas pueden presentar un incremento en la deriva génica, endogámica o depresión exogámica y una reducción del flujo génico (Raijmann *et al.*, 1994; Young *et al.*, 1996; Nason y Hamrick, 1997; Aldrich y Hamrick, 1998; citados por Herrerías y Benítez-Malvido, 2005).

La pérdida en la variación genética a causa de la fragmentación del hábitat puede tener consecuencias adaptativas en el largo plazo, e incluso puede tener efectos a corto plazo con cambios a nivel genético que alteren la adecuación y la viabilidad de las poblaciones remanentes. La extinción local o regional puede ser una consecuencia de esta clase de escenario (Herrerías y Benítez-Malvido, 2005):

- La población se reduce a un tamaño pequeño por la fragmentación del hábitat.
- La deriva génica tiene un gran efecto en la diversidad genética de poblaciones pequeñas.
- La proporción de sexos puede no mantenerse en una población pequeña.
- El tamaño efectivo de la población se acerca a cero.

Recuperación de los Ecosistemas Forestales Tras los Incendios

El tamaño y forma de las áreas afectadas por el fuego incide de manera directa sobre los mecanismos de recuperación y adaptación de especies frente a los incendios forestales, principalmente por el efecto borde que se genera en el entorno quemado y por el cambio de las condiciones microclimáticas post incendio. Esto tiene directa relación con el grado de afectación e intensidad del daño.

Castillo (2006) realizó un seguimiento multitemporal de cinco años (2002-2006) a bosques de palma chilena (*Jubaea chilensis*), frecuentemente afectados por incendios en las zonas de Valparaíso y Viña del Mar, región de Valparaíso. Mediante seguimiento basado en el conteo de especies con y sin daño aparente por fuego, también de las especies acompañantes del matorral esclerófilo y las condiciones locales de crecimiento, determinó que los patrones de recuperación de la vegetación original se expresan desde un gradiente de leñosas altas a leñosas medias y bajas, generándose al mismo tiempo una mayor actividad biológica en el crecimiento de plantas exóticas que coexisten con el matorral nativo.

En el estudio se aprecia el retroceso en estructura leñosa y la ruptura de procesos naturales de repoblación que caracteriza a especies de clima mediterráneo, cuya continuidad de poblaciones se basa esencialmente en regeneración por rebrote vegetativo. Es el caso del litre (*Lithraea caustica*), quillay (*Quillaja saponaria*) y peumo (*Cryptocarya alba*), principalmente. En cuanto a indicadores espaciales, el estudio muestra que no existen cambios evidentes en las superficies antes y después de incendio en cuanto a cobertura vegetal luego de la regeneración, aun cuando la intensidad del fuego limita la creación de parches en desigual estado de recuperación. No obstante la recurrencia de fuegos en un mismo lugar repercute directamente en la variabilidad genética de las poblaciones naturales, acentuado esto además por el efecto borde producido por sectores sin vegetación y la conectividad propia que se produce en ecosistemas cercanos a grandes sectores poblados.

En síntesis, el estudio concluye que en el caso de la palma chilena y otras especies nativas acompañantes, decae su vigor y velocidad de crecimiento, los que en cierta medida son aspectos que podrían atribuirse a daños en la composición genética y capacidad adaptativa ante la reiteración de disturbios severos de incendios, muy superiores a los ciclos naturales de fuegos que existen en ecosistemas de tipo mediterráneo.

Por otra parte, Julio *et al.* (2012) estudiaron patrones de fragmentación post incendios en distintos ecosistemas de bosque esclerófilo en Chile Central, basado en una escala de niveles de intensidad del fuego y en la estructura y composición de especies mediante la evaluación de parcelas con afectación y su comparación con áreas testigo (sin daño aparente). Los resultados indicaron que la variación en intensidad de daño a la vegetación incide directamente en el vigor de la regeneración y en los patrones de recubrimiento del terreno, siendo los niveles de afectación más altos, los que están asociados a pérdida de horizontes orgánicos de suelo.

El incendio en Sierras de Bellavista en 1999 (sector La Rufina, Región de O'Higgins), quizás sea uno de los registros más recientes de los cuales se posee detalles del daño directo ocasionado por el fuego, con cerca de 25 mil hectáreas quemadas de bosque adulto y renovales. En tal evento los niveles de severidad del fuego alcanzaron niveles extremos, lo cual se vio reflejado en los testimonios de daños al suelo y en restos carbonizados que quedaron como evidencia en los árboles adultos que sobrevivieron al avance descontrolado del fuego. Castillo (2013) reafirmó estos resultados en ecosistemas de similares características, mediante la evaluación post fuego mediante escalas de afectaciones basadas en la intensidad de calor y los daños a los tejidos vegetales en extensas superficies. Aun cuando se estableció indicadores de daños, no es posible inferir en forma directa que la acción del fuego haya ocasionado un deterioro evidente en la diversidad de las poblaciones y en su acervo genético.



(Foto: Miguel Castillo).

Fotografía de un predio localizado en Nancagua (región del Maule).

Grados de afectación alto a severo. A gran escala y recurrencia de eventos de fuego.

Figura N° 2
BOSQUE ESCLERÓFILO DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE,
RECURRENCIA DE INTENSOS INCENDIOS

CONCLUSIONES

Una revisión a los últimos 150 años de procesos de cambio en el territorio de Chile centro sur y austral, muestra con total claridad y con evidencias documentadas, que los incendios forestales afectaron severamente la continuidad espacial y estructural de poblaciones de bosque nativo, lo cual trajo consigo consecuencias en la variabilidad intraespecífica y patrones genéticos de adaptación frente a escenarios de cambios en el paisaje.

Se carece de estudios sistemáticos que permitan cuantificar el impacto genético de los incendios forestales en ecosistemas forestales nativos, en términos de pérdida de variabilidad, alteración del flujo génico, entre otros parámetros poblacionales que inciden en la adaptabilidad.

Los cambios generados por los incendios forestales se han acentuado por la cada vez más

evidente presencia del cambio climático, cuya expresión ambiental se ha visto reflejada en el aumento de las condiciones de peligro, la predisposición de la vegetación a la combustión y con ello, en un aumento sostenido de los niveles de severidad que se instalan como una seria amenaza para la conservación del acervo genético que aún poseen las especies del bosque nativo, afectadas no solo por los incendios sino por distintos cambios de uso del suelo.

El proceso de fragmentación producto de reiterados incendios y el consecuente cambio en el uso del suelo ha traído consigo la presencia de un paisaje consolidado hacia la ocupación formal de tierras para la ganadería, agricultura y agroindustria, quedando el bosque confinado a zonas más alejadas y acotadas a los espacios protegidos por el Estado. La fragmentación es la evidencia más clara del impacto genético de los incendios forestales sobre la vegetación nativa.

La ocurrencia de incendios no ha variado sustantivamente en Chile desde que se tienen registros confiables. Sin embargo, lo que ha cambiado negativamente ha sido el elevado nivel de conflictividad en el comportamiento del fuego, que se expresa con mayor gravedad en los bosques nativos por cuanto no existen las condiciones favorables de accesibilidad, tal como si ocurre en las plantaciones forestales de privados. Ello trae consigo que los daños a la vegetación natural se exprese indudablemente en profundas alteraciones a los procesos de recuperación y con ello en la continuidad genética de las poblaciones vegetales.

El cambio climático, los procesos de certificación ambiental y los protocolos de acuerdo para fortalecer las estrategias de biodiversidad son temas que se instalan con mayor fuerza en Chile, toda vez que surgen iniciativas gubernamentales y emprendimientos de privados que consideran la sostenibilidad de los recursos naturales como un patrimonio de la conservación genética de especies con alto valor biológico y ancestral de Chile. Los incendios forestales entran en la lista de factores de amenaza que ciertamente deben ser incorporados para la formulación de futuros proyectos de investigación que se promuevan para articular los conocimientos de protección y al mismo tiempo de evaluación y conservación de material genético de los bosques nativos.

El catastro vegetacional que ejecuta CONAF debe incorporar mejores niveles de detalle. Por ejemplo, incorporar instrumentos de monitoreo de la biodiversidad de los bosques nativos, a partir de parámetros que permitan implementar programas de conservación de recursos genéticos forestales. Solo de esta manera se estará en condiciones de preservar la integridad del acervo genético de las especies nativas, a través de la protección de variantes genéticas únicas, centros geográficos de variación genética y patrones de flujo génico interpoblacional.

REFERENCIAS

Bizama, G.; Torrejón, F.; Aguayo, M.; Muñoz, M.; Echeverría, C. y Urrutia, R., 2011. Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia-Chile) durante el siglo XX. *Revista de Geografía Norte Grande*, Santiago, N°49, sept. 2011. Revisado el 06 oct. 2014. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071834022011000200008&lng=es&nrm=iso

Castillo, M., 2013. Integración de variables y criterios territoriales como apoyo a la protección contra incendios forestales. Área piloto: Valparaíso – Chile Central. Tesis Doctoral. ETSIAM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba – España. 247 p.

Castillo, M., 2006. El cambio del paisaje vegetal afectado por incendios en la Zona Mediterránea Costera de la V Región. Tesis para optar al Grado de Magíster en Geografía. Universidad de Chile. 155 p.

CONAF, 2011. Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, Monitoreo de Cambios y Actualizaciones, Período 1997- 2011. CONAF, Julio 2011

Donoso, C.; Premoli, A.; Gallo, L. e Ipinza, R., 2004. Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. 427 p.

FAO, 2014. El Estado de los recursos genéticos forestales a nivel mundial. Comisión de recursos genéticos para la agricultura y la alimentación. FAO. Roma.

Fernández, I.; Morales, N.; Olivares, L.; Salvatierra, J.; Gómez, M. y Montenegro, G., 2010. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad católica de Chile. 149 p.

Herrerías, Y. y Benítez-Malvido, J., 2005. Las consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas. En: Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología, México. 257 p.

Julio, G.; Castillo, M.; Fuentes, J. P. y Garfías, R., 2012. Estudio de impactos de incendios forestales en la Zona Central de Chile - Propuestas de acciones de restauración y mitigación. Informe Final del Grupo de Trabajo del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile en el Proyecto FONDECYT N° 1095048. Santiago, 177 p.

Lara, A.; Reyes, R. y Urrutia, R., 2013. Capítulo 3: Bosques Nativos. En: Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile 2012. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile.

Otero, L., 2006. La Huella del Fuego. Historia de los Bosques Nativos/Poblamiento y Cambios en el Paisaje del Sur de Chile. Pehuén/Imprenta Salesianos. Santiago. 171 p.

Reska, M., 2013. Informe público de la evaluación del manejo forestal según estándar FSC (STDPL-201205 / 311209) Forestal Arauco S.A. Revisado el 06 oct. 2014. Disponible en: http://www.arauco.cl/_file/file_7705_15272-2013-ma-forestal-arauco-sa-004173-informe-publico-final-espanol-mr.pdf

Torres, J. y Magni C., 2012. Capítulo 6. Conservación ex situ de RGF en Chile. En: Recursos Genéticos Forestales de Chile. Catastro 2012. FIA-INFOR. 271 p.

IV.- PRÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Capítulo 10

CONSIDERACIONES PARA EL MUESTREO Y COLECTA DE GERMOPLASMA EN LA CONSERVACIÓN *EX SITU* DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

Braulio Gutiérrez Caro¹

INTRODUCCIÓN

Conservación *ex situ* de germoplasma es la mantención fuera de su hábitat natural de material genético con capacidad de regeneración. En efecto, el concepto de germoplasma, como material genético con capacidad de regeneración, involucra a cualquier material capaz de transmitir los caracteres hereditarios de una generación a otra, de modo que en el caso de los árboles forestales puede incluir distintas estructuras vegetales, incluyendo sus células y compuestos con información genética.

Establecido que existen diversas formas de germoplasma, se reconoce que la semilla es por excelencia la estructura que mejor y más directamente responde a esta definición. Ellas son las estructuras más representativas y evolucionadas para la perpetuación de las plantas superiores, constituyendo además los agentes de dispersión más frecuentes, eficaces y con mayor capacidad para regenerar plantas vasculares completas.

En tales términos, la conservación de germoplasma forestal, aunque no se limita exclusivamente a semillas forestales, sí se trata principal y mayoritariamente de ellas. Análogamente, los centros encargados de conservar la biodiversidad contenida en el germoplasma, denominados bancos de germoplasma o bancos genéticos, son fundamental, aunque no exclusivamente, bancos de semillas. En efecto, estos bancos pueden incluir además de semillas, colecciones con otros tipos de material vivo; cultivos *in vitro*, muestras de ADN y otras.

En consecuencia, el muestreo y colecta de germoplasma para conservación *ex situ* de recursos forestales, es en gran medida muestreo y colecta de semillas forestales destinadas a conservación *ex situ*.

La conservación *ex situ* puede hacerse de muchas formas, tales como bancos de germoplasma, colecciones plantadas en campo y almacenamiento de tejidos en instalaciones especiales (*in vitro*, criopreservado). Sin embargo, los bancos de semilla son los centros más familiares para este tipo de conservación. Ellos disponen de la infraestructura, equipamiento y capacidades para garantizar la mantención en el largo plazo de las colecciones de semillas almacenadas. Sin

¹ Ingeniero Forestal. Instituto Forestal, Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

embargo, el valor de la colección no está determinado por las características del banco, sino que se deriva de la calidad y representatividad de las muestras que se obtuvieron durante las campañas de colecta de germoplasma, del valor de conservación de la especie representada, y también de la información asociada que acompaña a cada muestra colectada.

Consecuentemente, en este capítulo se abordan las consideraciones para el muestreo de germoplasma (principalmente semillas), de modo de obtener muestras que cumplan con ser representativas de la variabilidad genética de las especies y poblaciones objetos de la conservación.

Complementariamente se presentan consideraciones técnicas y orientaciones para efectuar priorización de las especies a conservar, así como las consideraciones generales para implementar las labores de colecta de germoplasma propiamente tal, y una síntesis de la información que debe adjuntarse a cada muestra colectada.

QUÉ RECOLECTAR

Priorización de Especies a Conservar

La primera decisión en materia de conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales es la definición de las especies a considerar en el programa, por cuanto no es posible ni práctico conservarlo todo, y porque además debe existir concordancia entre las características de las especies seleccionadas y los objetivos del programa de conservación. Consecuentemente, será necesario identificar y priorizar las especies a conservar de modo de planificar adecuadamente las campañas de colecta de germoplasma y las labores posteriores asociadas a su conservación.

De acuerdo con Bacchetta *et al.* (2008), la estrategia de selección de prioridades florísticas para la conservación *ex situ* debe tener en cuenta, al menos, los siguientes factores: (i) las fronteras geográficas de actuación; (ii) las prioridades políticas vigentes; (iii) la información botánica disponible; y (iv) la capacidad logística para el desarrollo de los proyectos de conservación.

Aunque en líneas generales, el interés por conservación de especies silvestres se concentra en especies amenazadas, raras o endémicas, los objetivos de conservación pueden ser muchos otros, como especies estructurales de hábitats amenazados, taxones relictos o en su límite de distribución, taxones emparentados con plantas de interés económico, etc. Los criterios para la valoración de estas prioridades pueden ser muy variables, en función de los parámetros que se consideren de mayor interés o la información disponible.

Por ejemplo, se ha propuesto utilizar criterios mixtos de valoración de prioridades, incluyendo factores como los costos de conservación de los taxones objetivo o su grado de conservación efectiva, además de otros parámetros relacionados con la importancia biológica o el propósito de conservación. También se ha desarrollado un sistema de valoración de poblaciones de plantas de interés utilizando factores de accesibilidad y viabilidad del material germinativo (Bacchetta *et al.*, 2008).

En términos simples y concretos, para efectos de la conservación de germoplasma, la priorización de las especies a considerar puede basarse en la combinación de criterios de distinta naturaleza. En general se trata de criterios biológicos y ecológicos, entre ellos el grado de amenazas que se ciernen sobre la especie o población, su interés científico, el valor de uso, la accesibilidad y otros. En el Cuadro N° 1, Gold *et al.* (2004) resumen los principales criterios utilizados para este efecto.

Cuadro N° 1
CRITERIOS PARA SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LAS ESPECIES CONSIDERAR EN PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA

CRITERIO	ALTERNATIVAS
Tipo de semilla para efectos de almacenamiento	Ortodoxa / recalcitrante
Estado de conservación	En peligro de extinción /Vulnerable /Insuficientemente conocida /Fuera de peligro
Rol ecológico	Pioneras/ claves/ ecológicamente asociadas con especies raras o útiles/ dominantes
Origen	Endémicas/ nativas/ exóticas
Distribución geográfica	Restringida/ media/ amplia
Unidad taxonómica	Familia monoespecífica/ género monoespecífico/ género multiespecífico/ familia multiespecífica
Uso actual o potencial	Uso actual reconocido/ uso potencial reconocido/ sin uso conocido

(Fuente: Gold *et al.*, 2004)

Definición de Germoplasma a Conservar

Las semillas son la forma más práctica de recolectar, representar y conservar recursos genéticos forestales, ya sea almacenándolas en banco o usándolas para viverizar y establecer una colección de plantas en terreno.

Gold *et al.* (2004) indican que los bancos de semillas representan uno de los métodos más efectivos de conservación *ex situ*, el cual consiste en secar las semillas hasta bajos niveles de humedad y almacenarla a temperaturas bajo cero. No obstante lo anterior, este procedimiento solo resulta apropiado para aquellas especies cuyas semillas toleran la desecación (semillas ortodoxas) y no resulta de utilidad en el caso de aquellas especies de semilla recalcitrante, que pierden su viabilidad al secarse. En este último caso la conservación *ex situ* de estas especies debe efectuarse mediante métodos alternativos que pueden clasificarse en dos grupos.

El primero hace uso de la semilla para transformarlas en plantas y posteriormente proceder a la conservación de las plantas propiamente tales, ya sea como explantes *in vitro* o criopreservados o plantadas como colecciones en terreno o en jardines botánicos.

El segundo grupo corresponde a los métodos de conservación que consideran el uso de germoplasmas distintos a la semilla propiamente tal, como es el caso de la conservación de polen o de propágulos vegetativos establecidos como explantes *in vitro* o criopreservados. Estos últimos son las formas menos difundidas de conservación a largo plazo, de modo que las semillas, ya sea directamente almacenándolas en bancos, o indirectamente utilizándolas para producir plantas para establecerlas como colecciones en terreno, continúan siendo el germoplasma por excelencia utilizado para efectuar conservación *ex situ* de especies forestales.

MUESTREO

Las colecciones de germoplasma pueden tener distintos propósitos, por lo mismo el muestreo que se realice para su obtención debe definirse en función del uso que se le dará al material recolectado.

En consecuencia, la elección de la región de colecta, las especies a recolectar y las poblaciones donde se hará el muestreo variarán dependiendo de si la colección se destinará a conservación, restauración, mejoramiento genético, aprovisionamiento de material para intercambio con otros bancos, etc.

Normalmente en el caso de recursos cultivados, como puede ser el caso de algunas especies forestales plantadas comercialmente, los programas de recolección se concentran en individuos particulares o ejemplares sobresalientes que puedan ser usados en programas de mejoramiento genético.

También puede ocurrir que los recursos forestales, al igual que otros recursos vegetales silvestres, se muestreen con la finalidad de representar la máxima diversidad genética de las poblaciones o especies consideradas.

Gold *et al.* (2004) establecen que para la mayoría de las especies silvestres, una sola población puede contener gran parte de la diversidad genética, de modo que una colección de este tipo podría ser usada directamente para recrear la población original, ser almacenada en bancos de germoplasma como una forma de conservación *ex situ* y también ser utilizada en un amplio rango de investigaciones.

No obstante, atendiendo a las diferencias genéticas desarrolladas como consecuencia de las distintas presiones de selección que se manifiestan en poblaciones aisladas que se desarrollan en ambientes distintos, se hace necesario tomar muestras representativas de las distintas poblaciones (procedencias) a lo largo de toda, o gran parte, de la distribución natural de la especie en cuestión. Esta última opción permite capturar material genético con mayor diversidad.

En efecto, las especies forestales presentan una gran variabilidad intraespecífica. Dentro de sus áreas de distribución pueden existir complejos poblacionales con grandes diferencias entre las poblaciones de una misma especie, que ocupan distintas zonas geográficas.

Si bien esas diferencias corresponden, en alguna medida, a variación fenotípica desarrollada en

respuesta a las condiciones ambientales locales (plasticidad), existe también otra proporción importante que tiene una base genética, como consecuencia de los procesos de selección natural y adaptación durante numerosas generaciones (Gutiérrez, 2012). Por lo mismo, la distribución geográfica de la especie objetivo, así como la información sobre la diversidad de hábitat donde esta se encuentra, resultan ser aspectos fundamentales para diseñar el muestreo genético.

Consecuentemente, la definición de procedencias o regiones de procedencia resulta un elemento fundamental para distribuir los puntos de muestreo y planificar la recolección de germoplasma propiamente tal.

Las regiones de procedencia corresponden a zonas o grupos de zonas sujetas a condiciones ecológicas relativa y suficientemente uniformes, en las cuales se desarrollan poblaciones que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes (Alía *et al.*, 2009; Agúndez *et al.*, 1995).

En la Figura N° 1 se presenta una definición de zonas de procedencia efectuada por Vergara (2000), la cual fue utilizada para efectuar un muestreo genético para las especies *Nothofagus obliqua* (roble) y *Nothofagus alpina* (rauli).

Para esos efectos, durante la ejecución del proyecto FONDEF D96 I1052 Mejoramiento Genético para Especies de *Nothofagus* de Interés Económico, efectuado por INFOR y la Universidad Austral de Chile, se definió en cada zona de procedencia 3 puntos de muestreo y en cada uno de ellos se colectó semillas de aproximadamente 10 árboles no emparentados.

Un esquema análogo se utilizó también para obtener colecciones de *Nothofagus dombeyi* (coigüe) y de *Laurelia sempervirens* (laurel) en el curso de otros proyectos similares.

En estos casos las colecciones de semillas fueron viverizadas y sus plantas establecidas en terreno, como ensayos de procedencias y progenies en los que se representa y conserva *ex situ* a gran parte de la variabilidad de las especies consideradas.

La representación geográfica de las poblaciones, o de la procedencia de los árboles, es un concepto central que hay que considerar cuando se diseñan estrategias de muestreo para la conservación *ex situ*.

En este sentido, aunque no exista una definición precisa de las procedencias o poblaciones, por cuanto es difícil fijar fronteras en un continuo genético, estas deben igualmente considerarse al momento de documentar las colecciones de germoplasma obtenidas en el muestreo y recolección.

Sobre este particular Yanchuk y Hald (2007) enfatizan la importancia de las procedencias y especifican que estas ayudan a cumplir los objetivos del muestreo genético para conservación *ex situ*, debido a que permiten dividir el muestreo entre poblaciones para optimizar la cantidad de variación genética, y porque además ayudan a mantener el número y el tamaño de las muestras dentro de límites razonables.

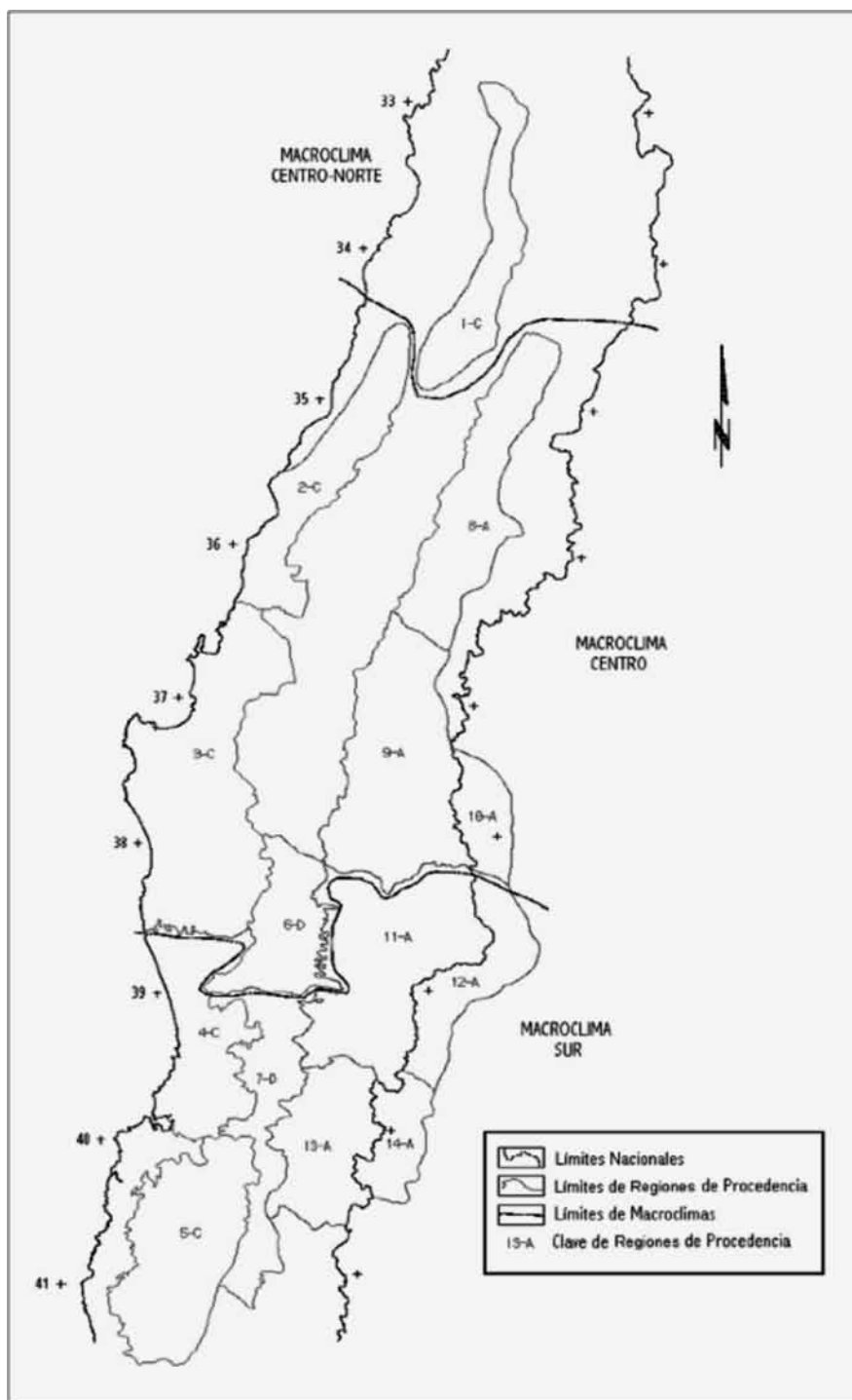


Figura N° 1

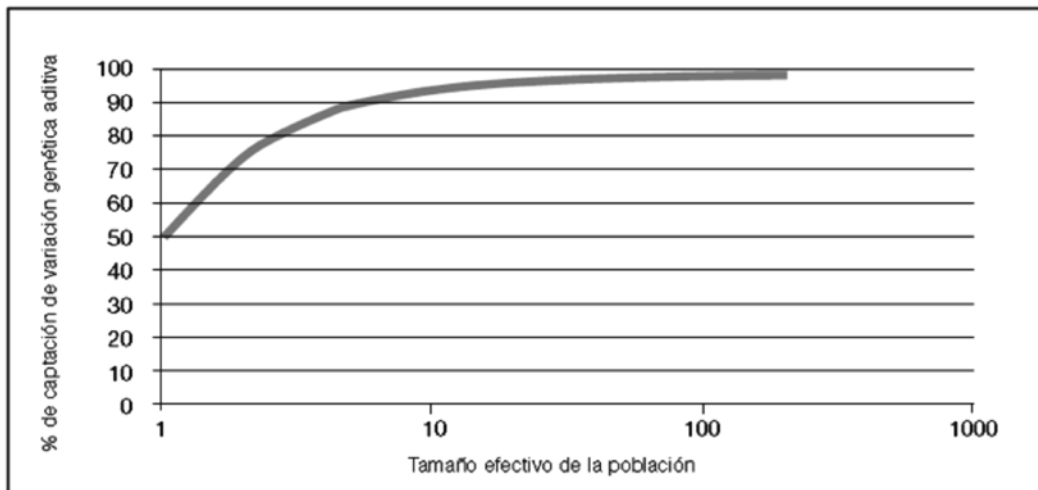
DEFINICIÓN DE ZONAS DE PROCEDENCIAS PARA MUESTREO GENÉTICO DE ROBLE Y RAULÍ

Tamaño de las Muestras

Las especies forestales, y las poblaciones dentro de las especies, varían mucho en cuanto a los niveles y modelos de variación genética, lo que sugiere que se necesitan diferentes estrategias de muestreo a fin de captar el máximo de diversidad genética. Sin embargo, para muchas especies la estructura genética de las poblaciones no es conocida antes del muestreo, por lo mismo este ha dependido generalmente de predicciones a partir de modelos teóricos. Afortunadamente, en la actualidad los estudios moleculares pueden proporcionar una información importante para estrategias de muestreo e incluso sobre el diseño de reservas para la conservación tanto *ex situ* como *in situ*.

Existen muchos métodos de estimación y, por tanto, una extensa variedad de recomendaciones sobre el tamaño de muestra requerido para conservar cierto nivel de variación genética, reconociéndose que los dos componentes clave de una estrategia de muestreo son el tamaño del área muestreada y el número de individuos muestreados. En términos muy simples se pueden reconocer dos enfoques para determinar los tamaños muestrales; por una parte se puede recurrir a fórmulas estadísticas, y por otra a los denominados “números mágicos”. Estos últimos corresponden a valores estándares que comúnmente se han usado en programas de conservación, respecto de los cuales existe cierto consenso de que resultan adecuados para representar la variabilidad genética de determinadas especies o poblaciones.

En el primer caso, la expresión $100 \times (1 - 1/(2N_e))$, graficada en la Figura N° 2, estima la proporción aproximada de heterozigosidad o variación genética aditiva captada en una muestra de tamaño efectivo N_e , donde N_e es el número de árboles muestreados no emparentados (Yanchuk y Hald, 2007). La variación genética adaptativa (aditiva) es la variación más importante para el mejoramiento genético de las características adaptativas de crecimiento y evolutivas.



(Fuente: Yanchuk y Hald, 2007).

Figura N° 2
PORCENTAJE DE VARIACIÓN GENÉTICA ADITIVA CONSERVADA (HETEROZIGOSIDAD) EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO EFECTIVO DE LA MUESTRA EMPLEADA (NÚMERO DE ÁRBOLES NO EMPARENTADOS)

De la fórmula mencionada y de la figura anterior se desprende que solo se requieren algunas decenas de genotipos para captar un gran porcentaje de la variación genética de la población. Así, con una muestra de 50 árboles no emparentados se puede representar el 99% de la variación genética aditiva de esa población. Sin embargo, una muestra de 50 individuos tendrá pobremente representados a los alelos de baja frecuencia (que están presentes en menos del 10% de los individuos de la población). De igual forma la representación de los alelos raros, de muy baja frecuencia y presentes en muy escasos individuos, probablemente no estarán representados en una muestra de 50 árboles.

En efecto los tamaños muestrales comúnmente utilizados en muestreos genéticos para conservación forestal varían entre 50 y 5.000 árboles, dependiendo de la biología reproductiva, la estructura genética actual de la especie, y otros muchos factores relacionados con los objetivos de la conservación.

Particularmente, Brown y Hardner (2000, *cit. por* Yanchuk y Hald, 2007)) sugieren que la región o área donde se encuentra la especie se divida en zonas ecogeográficas distintas y que en cada una de ellas se recolecte al azar un número limitado de individuos (aproximadamente unos 50 por población y se identifiquen del orden de 50 poblaciones). Esta intensidad de muestreo permite la inclusión al menos de una copia del 95% de los alelos que existen en la población elegida con una frecuencia $>0,05$. La recolección de muestras procedentes de unos 50 sitios asegurará el muestreo de al menos una copia de todos los alelos comunes ($P > 0,05$) que existen en más del 5% de las poblaciones, con una probabilidad aproximada del 90%.

Independientemente de la metodología de muestreo propuesta, debe tenerse en cuenta que no necesariamente todas las poblaciones de la especie deben muestrearse con la misma intensidad; generalmente en el área de distribución de una especie las poblaciones periféricas poseen mayor variabilidad que las poblaciones centrales y por lo mismo requieren muestrearse con mayor intensidad, involucrando más superficie y más individuos en la recolección de germoplasma.

Un ejemplo a este respecto es aportado por Gapare (2003, *cit. por* Yanchuk y Hald, 2007), quien tras analizar con marcadores moleculares la variabilidad de *Picea sitchensis* en poblaciones centrales y marginales de su distribución, concluyó que en las centrales una muestra de 150 árboles, con un espaciamiento interno mínimo de 30 - 50 m., muestreada en aproximadamente 280 ha., sería adecuada para captar el 95% de la riqueza alélica, pero que para conseguir la misma representación en poblaciones periféricas, el área muestreada tendría que ampliarse por lo menos hasta 400 ha para incluir algo más de 200 árboles.

En algunas especies forestales de alto valor económico se han efectuado colectas de germoplasma que involucren una gran intensidad de muestreo. Por ejemplo, en *Pinus radiata* se ha recolectado germoplasma de cerca de 2.000 árboles por población; específicamente de pequeños rodales nativos de California y México, aislados y amenazados por la creciente urbanización el pastoreo y las enfermedades. En *Pinus taeda*, la Cooperativa de Mejora de Árboles del Golfo Occidental está conservando en bancos clonales aproximadamente 3.000 selecciones de primera generación (Byram *et al.*, 1998, *cit. por* Yanchuk y Hald, 2007), porque representan una gran inversión en la

selección de árboles parentales, habiéndose acumulado con el tiempo una valiosa información de los ensayos.

En programas más pequeños de mejoramiento genético, con menores capacidades institucionales, se pueden mantener menos árboles y aún así conservar unos altos niveles de variación genética; no obstante, es importante tratar de documentar qué niveles de conservación genética se pueden mantener mediante el programa de muestreo y conservación.

RECOLECCIÓN DE GERMOPLASMA PARA CONSERVACIÓN *EX SITU*

Una vez definida la especie a conservar, el tipo de germoplasma a recolectar e identificados su poblaciones y forma de muestreo, se debe desarrollar la campaña de colecta propiamente tal. A continuación se presentan antecedentes relacionados con la colecta de distintas formas de germoplasma utilizadas con fines de conservación, reconociéndose y enfatizándose que la colecta de semillas, con las salvedades antes explicadas, constituye la principal fuente de germoplasma utilizada para estos fines.

Colecta de Semillas

Existen diversos métodos para recolectar semillas y frutos de especies forestales (Figura N° 3). Su elección depende de diversos factores, principalmente del tipo de frutos/semillas y de la altura a la que estos se encuentran, de modo que el procedimiento de colecta más adecuado será aquel que permita obtener la mayor cantidad de semillas maduras y de calidad, en el menor tiempo posible, con el menor esfuerzo y costo y a su vez que implique el menor riesgo.

En ocasiones las semillas están al alcance de la mano por lo que la recolección es una tarea de poca dificultad, sin embargo en la mayoría de los casos que se coleccionan semillas de especies forestales es necesario recurrir a pértigas, varas u otros accesorios que permitan alcanzar semillas ubicadas en altura, o recurrir a escaladores profesionales que trepen al árbol para efectuar la colecta en la copa de los mismos.

Como norma la semilla recolectada para efectos de conservación debe colectarse directamente de los árboles, ya sea tomándola directamente desde las ramas, o sacudiendo estas para recogerlas sobre una lona extendida en el piso bajo la copa.

Se debe evitar la recolección desde el suelo, por tratarse de semilla de árboles no identificados, correspondientes a distintas temporadas de producción y cuya calidad no es la más apropiada.

En muchos casos las semillas se deben coleccionar junto con los frutos que las contienen, de este modo se evita interrumpir el proceso de maduración fisiológica y se favorece en las semillas la adquisición de la tolerancia a la deshidratación. En estos casos, los frutos carnosos deben ser recogidos en un estado de maduración óptimo, por cuanto una recolección anticipada puede proveer de materiales con bajo poder de germinación, mientras que una colecta tardía puede

ocasionar pérdidas de material debidas a la dispersión natural. En frutos secos (no carnosos) las semillas de los primeros estados de desarrollo no toleran la deshidratación (no pueden almacenarse), por lo mismo, la recolección debe efectuarse en una fase posterior, cuando la semilla es capaz de absorber agua y, por lo tanto, tolera la deshidratación (Bacchetta *et al.*, 2008).



(Foto: Rodrigo Olave)

Figura N° 3
COLECTA DESEMILLAS DE LENGA (*Nothofagus pumilio*)
MEDIANTE ESCALAMIENTO DE ÁRBOLES

De acuerdo con León-Lobos *et al.* (2013), la época y la duración de las expediciones de colecta de semillas dependen de varios factores, entre los que se cuentan la distancia y tamaño de las poblaciones, el número de especies priorizadas y la experiencia del equipo de trabajo, entre otros factores.

Como primer paso es necesario planificar salidas de prospección, cuyo objetivo es ubicar las poblaciones de las especies que serán recolectadas, de modo de describirlas y georreferenciarlas para poder volver a ellas cuando las semillas estén en condición de ser cosechadas.

De acuerdo al estado fenológico en el que se encuentren las distintas especies, se puede estimar la fecha probable de recolección aunque, si se tiene suerte, algunas de las salidas de prospección podrían servir para recolectar las primeras muestras de semillas de aquellas especies de dispersión más temprana. Después de seleccionar la población que se va a muestrear, Bacchetta *et al.* (2008) sugieren examinar una primera muestra de las semillas mediante una prueba de corte, por cuanto este simple análisis preliminar permite realizar una estimación bastante aproximada de la calidad del material, la cantidad de semillas vacías o estropeadas y el momento óptimo para la recolección.

Durante la recolección es importante tener en cuenta el estado de maduración de los frutos y semillas. Para reducir el riesgo de pérdida de semillas maduras, la recolección debe desarrollarse a lo largo de todo el periodo de dispersión de las semillas, registrando de manera individual cada recolección. Se puede utilizar la información biológica disponible para estimar cuando se producirá la dispersión de las semillas, aunque por lo general se dispondrá solo de referencias bibliográficas o empíricas a un periodo de fructificación. En estos casos, no convendría ir al inicio del rango, ya que es posible que la semilla aún no esté madura. Las salidas de recolección deben entonces ser previstas para la época de dispersión de semillas, para obtener semillas fisiológicamente maduras.

Al respecto, el momento oportuno de colecta, determinado por la fenología de la especie puede variar entre temporadas, siendo común que se observen diferencias en el momento de maduración de frutos entre años. Estas diferencias se asocian principalmente a diferencias de precipitación y temperatura. Por otra parte atendiendo al clima y fisiografía del país, en Chile las semillas de una misma especie tienden a madurar primero en el norte que en el sur y en el valle antes que en la costa y la cordillera. Esta diferencia puede observarse además dentro de una misma población, en algunos casos atribuida a diferencias microclimáticas, pero principalmente a la diversidad genética de los individuos, generando heterogeneidad en la maduración (León-Lobos *et al.*, 2013)

Como norma general, debería recogerse aproximadamente el mismo número de semillas (o frutos) de cada árbol, en el mismo estado de maduración y justo antes del momento de la diseminación.

La cantidad de semillas a recolectar debe ser suficiente no solamente para cumplir con los objetivos de la recolección, sino que también se debe contar con semillas para conservación, evaluación (pruebas de corte en laboratorio, viabilidad y germinación), investigación, programas de restauración y posterior monitoreo de la calidad de las semillas. Una orientación respecto de la cantidad de semillas a colectar para poder cumplir distintas finalidades asociadas a la conservación *ex situ* se presenta en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
NÚMERO DE SEMILLAS A RECOLECTAR EN FUNCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE RECOLECCIÓN

SEMILLAS (N°)	USO POTENCIAL
<300	Colectas excepcionales de especies extremadamente raras o amenazadas.
500	Para germinación, propagación, identificación y para muestrario.
1.000	Cantidad mínima para conservación y para llegar a establecer una población potencial representativa de la población original.
2.000	Para desarrollar además protocolos de germinación.
5.000	Para monitoreo de viabilidad de la muestra conservada a largo plazo.
10.000	Además para duplicado de la accesión en un segundo banco de semillas.
20.000	Además para distribución de muestras para fines de investigación o para multiplicación y posterior reintroducción del material

(Fuente: León-Lobos *et al.*, 2013)

Las pruebas de germinación pueden consumir bastantes semillas, en especial cuando existe poca información previa, son semillas de difícil germinación, o que no han sido cultivadas con anterioridad. Muchas veces es necesario probar diversos tratamientos pregerminativos antes de encontrar las condiciones adecuadas para la germinación de semillas. Las semillas también se utilizan para estudiar las condiciones de cultivo, en el caso de que se requiera, como son sustratos, sombra, respuesta a estreses, entre otras evaluaciones que puedan hacerse a las plantas de vivero. Finalmente, dado el alto valor que pueden tener las muestras, siempre conviene dejar duplicados de las accesiones en otros bancos de semillas (Gold, 2004; León-Lobos *et al.*, 2013).

También debe tenerse en cuenta durante la recolección de semillas para fines de conservación *ex situ*, o para cualquier otro fin, que por ningún motivo debe comprometer la conservación de las poblaciones. Por esta razón, la extracción de semillas no debe superar el 20% de las semillas viables disponibles en la población en el momento de la recolección, de esta forma quedan suficientes semillas para la regeneración de la población y así no alterar su dinámica natural, ni comprometer la situación de otros organismos que hacen uso de esa semilla con distintos fines. Esto puede resultar extremadamente importante en caso de especies amenazadas o en peligro, donde la extracción indiscriminada de semillas podría constituirse en una fuerte amenaza que comprometa la supervivencia futura de la población.

Una vez terminadas las campañas de colecta y obtenidas las semillas, estas deben someterse a una serie de actividades de manejo post cosecha antes de ser definitivamente ingresadas a la cámara de conservación definitiva. Estas acciones se analizan y describen en el Capítulo 11 siguiente sobre Almacenamiento de Colecciones de Germoplasma *Ex Situ*.

Colecta de Propágulos Vegetativos

El cultivo y mantenimiento *in vitro* es una vía bastante más costosa, pero que podría presentarse como la única alternativa para especies cuyas semillas no pueden ser almacenadas, presentan problemas de germinación o corresponden a poblaciones pequeñas con muy escasa o nula producción de semillas. En estos casos el uso de técnicas de propagación vegetativa puede tener una gran utilidad en los programas de conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales. Ella permite el establecimiento de bancos clonales que pueden manejarse *in vitro* o plantarse en terreno. También existe la posibilidad, por cierto menos utilizada, de criopreservar directamente los propágulos vegetativos.

En general, los mismos principios aplicados al muestreo y colecta de semillas se aplican a la recolección de propágulos vegetativos con fines de conservación.

La colecta de propágulos vegetativos (estacas para enraizamiento, púas para injertación o segmentos nodales y yemas para cultivo *in vitro*) suelen colectarse a fines de invierno, antes de que se inicie la temporada de crecimiento vegetativo (Figura N° 4). Este tipo de propágulos es especialmente susceptible a la deshidratación, situación que obliga a extremar las precauciones en su manipulación y a minimizar el tiempo entre su recolección y uso. Idealmente no deben pasar más de 24 a 48 horas desde que se recolecta hasta que se injerta, o se establece en cama de enraizamiento. De igual forma si los propágulos se destinarán a obtención de explantes para establecimiento *in vitro* se deben considerar las mismas precauciones y adicionalmente implementar medidas adicionales para reducir su carga de contaminantes, remojándolos en soluciones fungicidas y bactericidas.



(Foto: Luigi Solís)

Figura N° 4

COLECTA DE PROPÁGULOS VEGETATIVOS DE LENGUA PARA INICIAR CULTIVOS IN VITRO

Un protocolo de recolección de propágulos vegetativos de lenga para iniciar cultivos *in vitro* indica que se deben extraer con tijeras de podar porciones de ramas con abundantes yemas latentes a punto de brotar. Estas se agrupan en manojos identificados con la información del árbol donante. Posteriormente los manojos se desinfectan en forma preliminar con remojos o aspersiones de soluciones fungicidas y bactericidas, para en el paso siguiente envolverlos en esponjas húmedas y disponerlos junto con abundante hielo en cajas térmicas desinfectadas con alcohol. Posteriormente se despachan en forma inmediata a laboratorio para su procesamiento e inducción de brotación. Una vez brotadas las yemas en laboratorio, se extraen en forma aséptica y se establecen *in vitro* para iniciar su cultivo (Gutiérrez, 2006).

Colecta de Polen

La colecta de polen suele hacerse en forma indirecta, colectando flores o mejor aún porciones de ramas que porten yemas florales para posteriormente en laboratorio inducir su apertura y extraer el polen. Los principios generales y consideraciones de muestreo para recolección de polen son equivalentes a los empleados para semillas, con las salvedades y especificidades que a continuación se mencionan.

De acuerdo con Bacchetta *et al.* (2008) lo normal es recolectar porciones de ramas con abundantes flores o yemas florales, particularmente masculinas en el caso de flores con sexos separados. Estas pueden recolectarse a lo largo de todo el periodo invernal y ser conservadas en recipientes con agua, manteniéndolas en ambiente controlado a temperaturas próximas a 20°C y una humedad relativa del 70%. No obstante, la mayor cantidad de polen se obtiene de ramas recolectadas en estadios próximos al momento de brotación de la planta en condiciones naturales (Figura N° 5).



(Foto: Patricio Rojas)

Figura N° 5
EXTRACCIÓN DE POLEN DESDE FLORES DE *Eucalyptus spp.*

La recolección del polen se puede efectuar de distintas formas; directamente de las anteras en el momento de la dehiscencia natural o alternativamente a partir de flores masculinas recolectadas al final de su desarrollo y secadas de manera artificial (24 h a 25°C y 40% de humedad relativa). En ambos casos resulta de utilidad el uso de pinceles para extraer el polen, de tamices para filtrarlo, de papel con parafina o papel de aluminio para recibirlo y de tubos ependorf para contenerlo y almacenarlo.

También se pueden disponer las flores individualmente boca abajo sobre el papel de colecta. En otros casos se pueden extraer los anillos estaminales de las flores, secarlos, agitarlos y pasarlos por un tamiz con mallas algo mayores que el diámetro del polen, para conseguir su extracción. Este último procedimiento se ha usado exitosamente en el Instituto Forestal para extraer polen de especies de *Eucalyptus*

A diferencia de las semillas, la viabilidad del polen es más difícil de determinar. Todavía no se dispone de suficiente información sobre la correlación entre la viabilidad del polen y su capacidad de fecundar. Este último parámetro se estima de manera indirecta mediante análisis de germinación de polen, o mediante la cantidad de semilla producida tras la fecundación de flores femeninas. En cualquier caso es frecuente que incluso con pólenes de baja germinación se logre una polinización adecuada.

Información Asociada a la Colecta y Conservación de Germoplasma

De acuerdo con FAO-IPGRI (1994) los datos de las accesiones de una colección de germoplasma para conservación *ex situ* son un componente fundamental de la misma, por cuanto una información correcta no puede sino redundar en una mayor utilidad del germoplasma. Por lo mismo, la información sobre las distintas partidas de entrada (accesiones) deberá ser lo más detallada posible.

Sobre este particular Gold *et al.* (2004) y León-Lobos *et al.* (2013) mencionan que la colecta de semillas, y de germoplasma en general, involucra no solo al material físico que se colecta sino que también a la información asociada tanto a los individuos como a las poblaciones de la especie recolectada, a las condiciones ambientales y a la vegetación asociada. La información mínima que según estos autores debe registrarse para una accesión de germoplasma, se resumen en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
INFORMACIÓN QUE DEBE ACOMPAÑAR A LAS MUESTRAS DE GERMOPLASMA
PARA CONSERVACIÓN *EX SITU*

INFORMACIÓN	ANTECEDENTES
Taxonómica	Familia, género y especie que se está recolectando; nombres comunes, si se conocen; nombre del recolector e identificación de la muestra de herbario correspondiente (esta muestra de herbario permitirá posteriormente confirmar la identificación realizada en terreno).
Geográfica	Región, provincia, comuna y localidad, lo más preciso posible; coordenadas geográficas (GPS); características topográficas generales del lugar (pendiente, tipo de suelo y exposición); información acerca de las preferencias de hábitat (por ejemplo, a orillas de cursos de agua, o bajo el dosel, etc.).
Ecológica	Tipo de vegetación; especies acompañantes; hábitat utilizado por la especie; dominancia, etc.
De la población	Tamaño estimado de la población (en extensión y número de individuos); estado fenológico; estado sanitario; otras observaciones (Por ejemplo regeneración natural, estado sanitario de la población, evidencia de predación, herbivoría, etc.)
De recolección	Nombre de los recolectores; número de recolección; número asociado a la muestra de herbario; cantidad de plantas muestreadas; calidad de las semillas; superficie muestreada; tipo de fruto; número de semillas por fruto; número estimado de frutos por planta; método de recolección utilizado.

(Fuente: Gold *et al.*, 2004; León-Lobos *et al.*, 2013)

Cuando las muestras de germoplasma ingresan al banco, se realiza el denominado Registro. Este corresponde a la asignación de un código único de identificación, o número de accesión, para identificar a cada una de las muestras recibidas en el banco, de modo de distinguirlas inequívocamente de cualquier otra accesión administrada por el banco.

Documentar la información recibida junto con cada muestra es un aspecto clave del Registro. La información que se documenta corresponde a los datos de pasaporte que proveen la información básica para la identificación, individualización y manejo de cada accesión. Parte de esta información se genera al coleccionar las muestras o viene adjunta en las muestras que se obtienen desde otras fuentes, mientras que otra información adicional se genera en el mismo banco durante los análisis del germoplasma.

El uso de lista de descriptores internacionalmente aceptados para documentar la información de pasaporte permite simplificar el intercambio de material e información entre bancos. Al respecto se pueden usar una lista estándar de descriptores de pasaporte para multicultivos desarrollado por FAO e IPGRI (Rao *et al.*, 2006), más recientemente se ha experimentado una tendencia a usar los descriptores del sistema Grin Global para este mismo efecto.

CONCLUSIONES

La actividad de conservación *ex situ*, tal y como se entiende actualmente, se dirige hacia la creación de colecciones ordenadas y organizadas de muestras de germoplasma representativos de la variabilidad genética de una especie o población prioritaria de conservación. El valor de estas colecciones está determinado por la calidad del germoplasma representado, fundamentalmente por el grado en que representa la variabilidad genética de la especie o población muestreada y por la información descriptiva de las muestras obtenidas.

En forma tradicional los bancos de conservación *ex situ* se han materializado fundamentalmente como bancos de semillas, no obstante su utilidad se ve severamente limitada como consecuencia de la existencia de semillas no ortodoxas o recalcitrantes, que pierden rápidamente su viabilidad y por lo tanto no son almacenables. En este contexto, a pesar de las décadas de investigación sobre métodos de almacenamiento de semillas recalcitrantes, solo se han hecho progresos limitados, de modo que para el almacenamiento de las especies no ortodoxas se requiere utilizar otras formas de almacenamiento o de conservación. Una opción es recurrir a esquemas de conservación *in situ* o alternativamente de colecciones plantadas en campo, donde la longevidad de los árboles puede “asegurar” su conservación por muchos años, ofreciendo producciones anuales de semilla fresca. Otra opción es conservar material genético distinto a la semillas, en un banco especializado y *ad hoc* al tipo de material a almacenar (crioconservación, conservación *in vitro*, conservación de polen y/o conservación de ADN).

REFERENCIAS

- Agúndez, D.; Martín, S.; De Miguel, J.; Galera, R.; Jiménez, M. y Díaz-Fernández, P., 1995.** Las regiones de procedencia de *Fagus sylvatica* en España. ICONA. Madrid, España. ISBN 84-8014-139-5. 104 p.
- Alía, R.; Mancha, J.; Sánchez de Ron, D.; Barba, D.; Climent, J.; García del Barrio, J.; Notivol, E. e Iglesias, S., 2009.** Las regiones de procedencia de las especies forestales en Europa. En: Revista de la Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales, Foresta N° 64. Pp: 44-48.
- Bacchetta, G.; Bueno-Sánchez, A.; Fenu, G.; Jiménez-Alfaro, B.; Mattana, E.; Piotto, B. y Virevaire, M. (Eds), 2008.** Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.
- Gold, K.; León-Lobos, P. y Way, M., 2004.** Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro regional de Investigación Intihuasi. La Serena Chile. Boletín INIA N° 110. 62 p.
- FAO-IPGRI, 1994.** Normas para Bancos de Genes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma Italia, 14 p.
- Gutiérrez, B., 2006.** Cultivo *in vitro* de lenga. Síntesis de los resultados del proyecto INNOVA 02C8FT-05 “Masificación de genotipos de interés comercial de lenga en la XI región”. Instituto Forestal. Concepción Chile. ISBN 956-8274-84-7. 76 p.
- Gutiérrez, B., 2012.** Transferencia de semillas y definición de zonas de procedencia para especies forestales nativas. En: Quiroz, M; Gutiérrez, B. y García, E. Bases para un reglamento de semillas y plantas de especies forestales utilizadas en Chile. Instituto Forestal. Documento de Divulgación N° 35. Capítulo 3, Pp: 41-52.

León-Lobos, P.; Sandoval, A. C.; Bolados, G.; Rosas, M.; Stark, D. y Gold, K., 2013. Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. 89 p.

Rao, N. K.; Hanson, J.; Dulloo, M. E.; Ghosh, K.; Nowell, D. and Larinde, M., 2006. Manual of seed handling in genebanks. Handbooks for Genebanks No. 8. Bioversity International, Rome, Italy. 147 p.

Vergara, R., 2000. Regiones de procedencia de *Nothofagus alpina* y *N. obliqua*. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds). Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble. Universidad Austral de Chile-Instituto Forestal. ISBN 956-288-691-3. Capítulo 9. Pp: 121-132.

Yanchuk, A. y Hald, S., 2007. Estrategias de muestreo para la conservación *ex situ*. En: FAO, FLD, Bioversity International. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: En plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. Pp: 9-17.

Capítulo 11

ALMACENAMIENTO DE COLECCIONES DE GERMOPLASMA *EX SITU*

Braulio Gutiérrez Caro¹

Carlos Magni Díaz²

Paulina Gutiérrez Berbelagua³

INTRODUCCIÓN

En su concepción general, la conservación de la biodiversidad involucra preservar la variación en tres niveles; diversidad genética, diversidad de organismos y diversidad de ecosistemas. La conservación *in situ* de los ecosistemas y de los organismos en sus hábitats naturales se reconoce como el mecanismo más efectivo y eficiente, aunque de la misma forma existe consenso en que las técnicas de conservación *ex situ* también constituyen componentes críticos en los programas de conservación global (Iriondo, 2001).

Los sistemas de conservación *ex situ*, entendidos como la mantención de los organismos o germoplasma de los mismos fuera de su hábitat natural, surgen como una medida complementaria a los mecanismos de conservación *in situ* y buscan el resguardo de los recursos genéticos, fundamentalmente a través de operaciones de almacenamiento y propagación de colecciones de germoplasma representativos de la variabilidad que se desea preservar. El almacenamiento se lleva a cabo mediante el mantenimiento de colecciones de plantas y germoplasma. En el caso de las plantas estas se conservan en colecciones de campo y jardines botánicos, mientras que el germoplasma se mantiene en bancos de semillas, de polen, bancos *in vitro*, bancos de genes o de ADN (Seguel, 2001). Respecto a este último, si bien la biotecnología permite el aislamiento, secuenciación y transferencia de genes, en la actualidad continúa siendo lo más frecuente el hecho que los genes no se conservan individualmente, sino que formando parte de los organismos, partes de estos o del germoplasma que los contienen.

En el caso de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (CONAMA, 2003) se indica que es necesario desarrollar conservación *ex situ* como parte de los objetivos específicos, pero no se definen o explicitan, solo en el Plan de Acción de País para la Implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2004-2015, una de sus líneas sobre Regulación del Acceso al Patrimonio Genético menciona la necesidad de “fortalecer la creación y mantención de bancos de germoplasma como medios de conservación *ex situ*, aumentar el desarrollo biotecnológico nacional asociado a los recursos genéticos nativos y tener funcionando un sistema de autorización de la bioprospección” (CONAMA, 2005).

¹ Instituto Forestal, Sede Bio Bio. bgutierr@infor.cl

² Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. crmagni@uchile.cl

³ Estudiante Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Concepción. paulgutierrez@udec.cl

Una vez realizada la recolección del material a conservar, aspecto abordado en el capítulo 10 anterior, la conservación *ex situ* de recursos genéticos consta de dos elementos esenciales: (i) el procesamiento y acondicionamiento de las muestras de germoplasma obtenidas durante la campaña de recolección, también llamado manejo post colecta, donde se incluye la evaluación de la calidad física y biológica del germoplasma, y (ii) el almacenamiento o preservación propiamente tal de las muestras colectadas. También forman parte relevante de este proceso la documentación y la caracterización del germoplasma, y el monitoreo sistemático de las colecciones almacenadas.

En tal contexto, en el presente capítulo se abordan los elementos esenciales relacionados con el almacenamiento de colecciones de germoplasma para la conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales. A su vez, el objetivo de tal almacenamiento es garantizar la viabilidad y la información del material almacenado, permitiendo de esta forma que se disponga de un efectivo resguardo del germoplasma obtenido en las campañas de muestreo y recolección de las muestras representativas de la variabilidad genética de las especies y poblaciones que se hayan definido como prioritarias de conservar. Estas colecciones, adecuadamente almacenadas y administradas, permitirán además de conservar los recursos genéticos, mejorar el conocimiento de las características anatómicas, fisiológicas y bioquímicas del material almacenado, y proporcionar propágulos para su utilización en programas educativos, de investigación, de mejora genética, y de restauración entre otros.

MANEJO POST COLECTA DEL GERMOPLASMA ANTES DEL ALMACENAMIENTO

Generalmente, en el caso de las especies forestales, la colecta de germoplasma considera semillas, frutos u estructuras que los contengan, raramente se colectan propágulos de otro tipo como rizomas, esquejes, raíces, púas para injertación, etc. En efecto, las semillas son normalmente el germoplasma más utilizado para la conservación de recursos genéticos forestales. En el caso de especies involucradas en sistemas de producción intensiva y que poseen programas de mejoramiento genético, se considera además de las semillas la conservación de polen, normalmente con el objetivo de cruzamientos controlados o intercambio de germoplasma entre programas de mejora.

En términos generales, el procesamiento del germoplasma se debe realizar inmediatamente después de la colecta para asegurar la mantención de la calidad del material colectado. Los procedimientos siguientes están determinados por las características del material, así como por el estado de la muestra (Gold *et al.*, 2004; León-Lobos *et al.*, 2013).

Consideraciones Generales

Un aspecto fundamental asociado al procesamiento de colecciones de semillas que serán destinadas a conservación *ex situ* es el de mantener una adecuada identificación de las muestras desde su recolección hasta almacenamiento, y en todas las etapas intermedias de su procesamiento. Es fundamental mantener la trazabilidad a través de un buen etiquetado, con códigos de colecta estandarizados que identifiquen cada muestra o accesión.

Si los frutos se colectaron antes de su madurez, generalmente se recomienda brindarles un periodo bajo condiciones que favorezcan la maduración de sus semillas⁴. Para este efecto resulta apropiado disponer los frutos completos, sin extraer las semillas, en un ambiente fresco y bien ventilado, evitando que se deshidraten. En general, las condiciones de post-maduración que se aconsejan son temperaturas frescas de alrededor de 20°C, con alta humedad. Temperaturas más altas aceleran el metabolismo y por lo tanto aceleran el envejecimiento de semillas, reduciendo su viabilidad y por ende su calidad (Wang y Beardmore, 2004; León-Lobos *et al.*, 2013).

Extracción y Limpieza de Semillas

Antes de iniciar la extracción y limpieza de las semillas se deben realizar evaluaciones que permitirán conocer algunos parámetros básicos, como son el número de frutos por kilogramo y el número de semillas por fruto, además de la humedad de estos últimos. Lo anterior debido a que en algunos casos el contenido de humedad de los frutos tiene relación con su procesamiento y/o calidad de las semillas que contienen, lo que cambia sus perspectivas de conservación. La humedad de fruto puede ser relevante pues algunas semillas inician rápidamente sus procesos de germinación y/o entrada en latencia al iniciarse la pudrición de las estructuras del fruto, como es el caso de Peumo (*Cryptocarya alba*) o Belloto del sur (*Beilschmiedia berteriana*).

El proceso de limpieza de las semillas debe ser eficiente, cuidando de no dañarlas ni incurrir en desperdicio innecesario de muestras. Se puede realizar de manera manual o se pueden utilizar algunos equipos. Sin embargo se recomienda la limpieza manual, debido a que se minimizan los daños a las semillas y se mantiene la heterogeneidad propia de las muestras, evitando que semillas muy pequeñas o muy grandes sean descartadas. Según Gold *et al.* (2004) y León-Lobos *et al.* (2013), dependiendo del tipo de frutos que las contienen, la extracción de las semillas se puede efectuar de las siguientes formas.

- Extracción de Semillas desde Frutos Secos Dehiscentes

La extracción de semillas desde frutos secos dehiscentes es la más simple. Ellos normalmente se abren fácilmente durante el secado cuando están dispersos en una capa delgada con suficiente circulación de aire. La liberación física de las semillas de sus frutos varía según la especie. En algunas, un movimiento leve como rastrillarlas, sacudirlas o dejarlas caer es suficiente para que todas las semillas sean liberadas de los frutos, como en quillay u otras semillas aladas. Sin embargo, las semillas de ciertas especies, como algunas leguminosas, mantienen una unión más fuerte a través del funículo y las semillas pueden requerir extracción manual.

- Extracción de Semillas desde Frutos Secos Indehiscentes

Los frutos indehiscentes no se abren naturalmente para dispersar sus semillas, por lo que requieren que sean partidos, quebrados o triturados para liberarlas. Un secado inicial puede

⁴ Esto no siempre es así, existen especies como el boldo (*Peumus boldus*) donde la sobremaduración de los frutos induce latencia a las semillas que contienen.

facilitar la extracción, ya que los frutos normalmente se tornan más quebradizos. Esta tarea puede hacerse en forma manual por frotación, pisoteo o golpeteo. En algunos casos el uso de molinillos manuales o eléctricos puede facilitar la tarea, aunque se debe tener el cuidado de calibrar bien la máquina para que solo triture los frutos, sin dañar las semillas. Vainas indehiscentes de algarrobos y tamarugos (*Prosopis spp.*) deben estar bien secas para ser trituradas, ya que la goma pegajosa de los frutos dificulta su molienda en fresco. Una vez secos, de la molienda solo se genera una harina que es fácilmente separada de las semillas.

- Extracción de Semillas desde Frutos Carnosos

Los frutos carnosos son rápidamente perecibles, por lo mismo deben procesarse prioritariamente. En estos frutos al iniciarse la fermentación de la cubierta pulposa se corre el riesgo de que las semillas se deterioren.

El método de extracción de frutos carnosos puede variar según las características del fruto. Frutos más grandes, como drupas o bayas de mayor tamaño, pueden ser apretados, abiertos o cortados, dejando caer la pulpa con las semillas en un recipiente para luego ser separadas manualmente, como es el caso de la palma chilena, el chañar y el belloto del sur. Así, en esta primera etapa, se puede eliminar fácilmente la cáscara o cubierta del fruto, la que por su consistencia coriácea tiende a ser más difícil de eliminar en etapas posteriores.

Frutos más pequeños, blandos o pulposos como corcolenes, murtilla o arrayanes, pueden ser macerados completamente en forma manual en recipientes con agua. En ambos casos el resultado será una mezcla de pulpa con semillas que puede ser separada utilizando mallas, cribas o tamices. La pulpa puede ser fácilmente separada de las semillas, debido a que normalmente flota y puede ser eliminada junto con el agua, mientras que las semillas se van al fondo. Este lavado puede repetirse hasta que la mayor parte de la pulpa haya sido descartada. Frutos un poco más resistentes, pueden romperse apretándolos contra tamices bajo el agua.

Cualquiera haya sido la técnica usada, inmediatamente después de lavar las semillas, éstas deben ser secadas. Para ello las semillas deben ser esparcidas en capas delgadas sobre papel absorbente o periódico y dejadas a la sombra donde circule el aire, tratando de evitar el calor, hasta que se sequen. Si luego del secado, aún presentan restos de pulpa, entonces pueden seguir su procesamiento como semillas de frutos secos, soprándolas o separándolas usando tamices.

Evaluación de las Semillas

Una vez que las semillas están separadas de sus frutos se pueden evaluar tanto en sus parámetros físicos como biológicos. La calidad física puede evaluarse mediante pruebas de corte o de flotación, mientras que su viabilidad se determina fundamentalmente a través de ensayos de germinación, o alternativamente mediante pruebas de tetrazolium.

- Prueba de Corte

Es una prueba destructiva que consiste en cortar las semillas de una muestra en evaluación, con bisturí, tijeras u otra herramienta compatible con esta tarea, a efecto de poder observar a simple vista o con ayuda de algún aparato óptico, la apariencia general y estructuras internas de la semilla (embrión, cotiledones, endospermo, etc.). La prueba se basa en el principio general de que las semillas viables presentan una apariencia firme blanquecina y un contenido que llena toda la cavidad de la semilla.

- Prueba de Flotación

Es una prueba simple que mediante el remojo de una muestra de semillas en agua corriente permite separar por flotación a las semillas viables (se hunden) de las vanas (que flotan). La relación entre semillas hundidas y semillas totales da una idea orientativa de la calidad de las mismas. Es una prueba muy rudimentaria, que en general se utiliza más como una medida para facilitar la manipulación de las semillas antes de la siembra que como un indicador de viabilidad. Para este último propósito es preferible una prueba de corte, o mejor aún, un ensayo de germinación.

- Ensayo de Germinación

Consiste en poner a germinar un número conocido de semillas y determinar el porcentaje de ellas efectivamente capaces de germinar.

Existen muy diversas formas de efectuar ensayos de germinación, que varían desde la simple siembra en vivero de un número conocido de semillas y el posterior conteo de la emergencia de plántulas, hasta otras más complejas realizadas bajo condiciones controladas en laboratorio o bajo condiciones *in vitro*.

Si bien cualquiera de las metodologías puede resultar de valor para orientar respecto a la capacidad germinativa de las semillas, en rigor para fines de comparación y estandarización, el establecimiento de los ensayos de germinación se rige por rigurosas normas dictadas por la Asociación Internacional para el Análisis de Semillas, más conocida como ISTA⁵ por su sigla en inglés.

- Prueba de Tetrazolium

Es una prueba de naturaleza destructiva para evaluar la viabilidad de las semillas en forma más precisa que mediante la prueba de corte. Consiste en remojar una muestra de 50 a 100 semillas previamente embebidas de agua y cortadas, en una solución al 1% de 2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolium y posteriormente incubarlas en oscuridad a 30°C por 12 a 24 horas. Así, como resultado de la relación del tetrazolium con los iones hidrógenos resultantes de los procesos de reducción ocurridos en el interior de las células, se teñirán de color rojizo los tejidos metabólicamente activos. A mayor coloración mejor es el estado de los embriones en las semillas.

5 ISTA: International Seed Testing Association

Reducción del Contenido de Humedad

Previo al almacenamiento de las semillas se requiere disminuirles el contenido de humedad. Esto es un aspecto clave y fundamental para efectos de almacenamiento, por cuanto la baja humedad es esencial para prolongar la viabilidad de las semillas en el tiempo, incluso mucho más que la baja temperatura.

La disminución de la humedad de las muestras de semillas se puede realizar de diferentes formas (Bacchetta *et al.*, 2008), mediante la exposición al aire en ambientes secos, ventilados y sombríos, aunque generalmente los bancos de semillas utilizan cámaras de deshidratación que producen óptimos resultados.

El material destinado a la deshidratación se almacena en una cámara que, mediante deshumidificadores y aire acondicionado, mantienen valores de humedad relativa entre 10 y 15% y temperaturas entre los 10° y 25°C. Este tratamiento tiene una duración variable en función de las características de las semillas y puede oscilar entre 30 y 180 días. Es importante que los lugares donde se realiza la desecación permitan una buena circulación de aire, garantizando al menos 10 recambios de aire por hora.

Otra alternativa, más económica e igualmente eficiente, es la deshidratación de las semillas utilizando desecantes artificiales como el gel de sílice, poniéndolo en contacto con las semillas dentro de contenedores herméticos. Con su poder de absorción este compuesto disminuye el contenido de humedad interna de los lotes de semillas hasta valores que garanticen su conservación a mediano y largo plazo.

Una vez que se ha comprobado que el contenido de humedad este comprendido entre el 3,5% (para las semillas con un alto contenido en aceites) y el 6,5% (para las semillas con bajo contenido en aceites), las semillas estarán preparadas para la conservación a largo plazo a bajas temperaturas (Bacchetta *et al.*, 2008). Los aspectos propios de la conservación y almacenamiento de semillas se describen en los puntos siguientes.

ALMACENAMIENTO DE GERMOPLASMA

Existen variadas estrategias de conservación de recursos fitogenéticos, las cuales dependerán básicamente del tipo de germoplasma y de los objetivos de la conservación. Antes de definir el método de conservación es importante recordar que existe una gran cantidad de especies vegetales y por lo mismo distintos sistemas de reproducción que de alguna forma estarían indicando cual sería el método más eficiente de conservación.

Para fines de conservación *ex situ*, las semillas se clasifican en dos categorías principales: Ortodoxas y recalcitrantes. Las primeras conservan su viabilidad después de deshidratarse, pudiendo reducirse su contenido de humedad hasta menos de 4% y germinar sin problemas después de rehidratarse. Estas son las semillas idóneas para conservarse en banco por largos

periodos. Las semillas recalcitrantes en tanto, no toleran una deshidratación significativa respecto al contenido de humedad presente en el momento de la diseminación (generalmente entre el 30% y 50%), por lo mismo no pueden ser objeto de conservación como tales en bancos de semillas, situación que necesariamente obliga a usar otras formas de almacenamiento *ex situ*, entre ellas la conservación de plantas en campo, el cultivo *in vitro* o la criopreservación.

Consecuentemente, en la primera de las secciones siguientes se abordará el almacenamiento de colecciones de semillas ortodoxas, mientras que los sistemas alternativos para conservar especies de semillas recalcitrantes serán abordados en las secciones posteriores.

Almacenamiento de Semillas (ortodoxas)

Las semillas ortodoxas, también denominadas tolerantes a la deshidratación, son aquellas cuya conservación depende esencialmente del contenido de humedad y de la temperatura. Este grupo de semillas puede ser sometido sin problemas a bajos valores de contenido de humedad, incluso a niveles muy inferiores a los que se alcanzan en condiciones naturales, admitiendo que se las desequie hasta un 4-7% e incluso que se las ultra-seque hasta un 1-3%. En estas semillas su longevidad durante el almacenamiento aumenta al disminuir la temperatura y el contenido de humedad, siendo el bajo contenido de humedad en la semilla, el parámetro clave entre los que influyen sobre el éxito del proceso (Bacchetta *et al.*, 2008).

Atendiendo al efecto relevante del contenido de humedad en la conservación de semillas ortodoxas, los envases que se utilicen para este fin deben ser absolutamente herméticos, en el sentido de no permitir el paso de vapor de agua a su interior. Debe tenerse en cuenta que la humedad relativa en una cámara fría suele ser muy alta, y que las semillas secas son fuertemente higroscópicas, de modo que si el envase no es suficientemente hermético, a la larga la humedad de la semilla tenderá a equilibrarse con la humedad ambiental exterior, perdiéndose así la posibilidad de conservar su viabilidad en el largo plazo.

Tradicionalmente, el proceso de conservación de semillas ortodoxas en bancos de semillas consiste en secarlas hasta contenidos de humedad del 5 al 7%, depositarlas en envases herméticos y posteriormente disponerlas en cámaras de baja temperatura. Si bien un contenido de humedad de 4-5% puede bastar para la conservación efectiva de semillas ortodoxas, estas no se ven afectadas si se les sigue secando hasta un 1-3%.

Aun así, el uso de semilla ultradeseada, es decir con contenidos de humedad de entre 1 y 3%, es una práctica poco difundida, a pesar que involucra importantes ventajas, como la de no requerir temperaturas de conservación tan bajas como las usadas en el desecado tradicional, y conservar en mejor forma la viabilidad de las semillas. Idealmente en un banco que posee muchas accesiones no es recomendable individualizar los métodos de conservación, de modo que la ultradeseación puede aplicarse en forma generalizada. La ultradeseación puede conseguirse con distintos procedimientos, como las sustancias absorbentes de la humedad, la liofilización, la inmersión en gases secos o los filtros moleculares.

El uso de bajas temperaturas ha sido algo generalizado en la conservación de semillas a largo plazo, recomendándose generalmente valores de -18°C o inferiores. Actualmente los modernos bancos de semillas consideran la utilización de una cámara fría capaz de conseguir temperaturas de al menos -15° a -20°C . Sin embargo, y desgraciadamente, el poner énfasis en las bajas temperaturas puede llevar a descuidar el factor de baja humedad (sea por no deshidratar lo suficiente o por utilizar envases inadecuados), haciendo que la conservación de la viabilidad de las colecciones sea menos efectiva (Bacchetta *et al.*, 2008).

En efecto, distintos antecedentes parecen indicar que el contenido de humedad de las semillas, más que la temperatura de conservación de las mismas, determina en mejor forma el éxito de la conservación. Así, semillas ultradesecadas por liofilización y mantenidas a temperatura ambiente durante 10 años, han mostrado un mejor comportamiento que las conservadas a baja temperatura.

De igual forma, semillas ultradesecadas con gel de sílice y mantenidas 40 años en un armario a temperatura ambiente, no han tenido un comportamiento distinto al de otras con mayor contenido de humedad, pero almacenadas en cámara fría. No obstante, parece evidente que la baja temperatura se complementa con el bajo contenido de humedad, por lo que sería poco sensato prescindir de ella. Sin embargo, temperaturas moderadamente bajas, entre -5°C y 5°C , pueden ser más que suficientes para las semillas ortodoxas y ultradesecadas, ahorrándose con ello las enormes cantidades de energía requeridas para alcanzar y mantener temperaturas de almacenamiento más bajas (Bacchetta *et al.*, 2008).

En vez de controlar la humedad en los envases, es posible controlarla en la misma cámara de almacenamiento, convirtiendo las cámaras frías en cámaras secas. Así, al mantener una temperatura alrededor de 0°C no es difícil conseguir una humedad relativa de aproximadamente el 15%, de modo que esta solución resulta más eficaz que disponer de una cámara a -20°C donde se descuide la hermeticidad de los envases. Sin embargo, el control de la humedad dentro de los envases mismos con gel de sílice es a la larga más práctico, por cuanto permite alcanzar un mayor nivel de secado, permitiendo además un traslado rápido del material a otras cámaras, en caso de mudanza o problemas técnicos.

La ultradesecación con gel de sílice se consigue fácilmente poniendo las muestras en un envase cerrado en presencia de gel deshidratado y sustituyendo el gel por otro seco cada vez que cambie de color según sea el marcador de humedad. Solo cuando el gel no cambie de color, la semilla estará ultraseca, tendrá un contenido de humedad entre 1 y 3%, y se mantendrá en equilibrio con el gel indefinidamente, en la medida que el envase permanezca hermético.

Almacenamiento de Polen

Una vez colectado el polen, es necesario evaluar su viabilidad, pues dependiendo de esta el almacenamiento será más o menos exitoso. Una forma de verificar la viabilidad del polen es a través de pruebas de germinación (emisión de tubo polínico).

El almacenamiento de polen es en cierta forma similar al de semillas ortodoxas, por cuanto puede

secarse hasta contenido de humedad cercanos al 5% y conservarse a temperaturas inferiores a 0°C, aunque al igual que en las semillas, hay especies que producen polen recalcitrante (Wang y Beardmore, 2004).

Por otra parte, a diferencia de las semillas, el polen tiene una vida relativamente corta y sus ensayos de viabilidad son comparativamente más complejos que los de las semillas. Además, la experiencia sobre su supervivencia y capacidad de fertilización después de haber sido criopreservado, es escasa.

Otros inconvenientes que dificultan su utilización en programas de conservación *ex situ* son la pequeña cantidad de polen producido por muchas especies, la falta de transmisión vía polen de los genomas de los orgánulos subcelulares, la pérdida de genes vinculados con el sexo en especies dioicas y la falta de capacidad de regeneración de plantas, aunque hay indicaciones de que el polen puede desdiferenciarse y posteriormente formar planta completas mediante técnicas de cultivo *in vitro*. Por lo mismo, a pesar de ser una técnica útil para especies que producen semilla recalcitrante, el almacenamiento de polen ha sido escasamente utilizado en la conservación de germoplasma Theilade *et al.* (2007a).

En líneas generales, el polen se debe almacenar en pequeñas cantidades separadas, más que todo junto en un mismo contenedor, así se puede utilizar la cantidad necesaria sin interferir en el estado de conservación de todo el lote. Respecto a las formas de almacenamiento Bacchetta *et al.* (2008) reconocen las siguientes.

- Conservación a Bajas Temperaturas y Baja Humedad Relativa

Es el método más utilizado debido a su simpleza, pero solo permite conservar polen en forma segura por algunos meses. Para este efecto el polen se deposita en pequeños contenedores, como tubos eppendorf por ejemplo, los que se depositan dentro de un desecador que se maneja a temperaturas de -20 a +4°C, con una humedad relativa inferior a 10%. Para asegurar estas condiciones se coloca gel de sílice en el desecador, a la vez que este se ubica dentro de un frigorífico o de un congelador.

- Conservación a Bajas Temperaturas al Vacío

Este método involucra la congelación del polen a -60 a -80°C y la extracción gradual, aunque no completa, del agua por sublimación. Después de este tratamiento el polen se conserva a temperaturas algo inferiores a 0°C, permitiendo así conservar su viabilidad durante algunos años.

- Crioconservación

En este método se hace descender el contenido de agua del polen hasta un determinado umbral y después se sumerge y conserva en nitrógeno líquido. Es un procedimiento adoptado especialmente en los últimos años y que permite una correcta conservación a largo plazo.

- Conservación en Disolventes Orgánicos

Involucra la deshidratación del polen y su posterior almacenamiento en disolventes como acetona, benceno, éter de petróleo, xileno o tolueno, entre otros.

No es un procedimiento de uso muy difundido y ha sido probado en pocas especies. Sus ventajas son que evita la necesidad de mantener una humedad relativa específica, además permite que el polen pueda ser transportado de un lugar a otro sin necesidad de mantenerlo a baja temperatura.

Independientemente del método de conservación utilizado, resulta crítico el paso del polen desde las condiciones de almacenamiento a las condiciones ambientales o de laboratorio.

Si el polen ha sido conservado a bajas temperaturas, la descongelación y rehidratación debe hacerse lenta y gradualmente. Este último proceso se puede realizar colocando el polen en una superficie plana al interior de un recipiente con elevada humedad relativa, la que puede lograrse disponiendo dentro del recipiente trozos de papel filtro embebidos en agua, pero sin contacto físico con el polen. Antes de utilizar el polen conservado, es aconsejable verificar su viabilidad.

Almacenamiento In Vitro y Criopreservación

Tanto el cultivo *in vitro* como la crioconservación de germoplasma vegetal constituyen alternativas estratégicas para preservar especies con semillas recalcitrantes, e incluso las que presentan un comportamiento intermedio y que no pueden conservarse usando métodos convencionales para almacenamiento de largo plazo (bancos de semillas). Además, se deben considerar las especies de alto valor ecológico, económico o en peligro de extinción. Sin embargo, es indispensable establecer con antelación a los ensayos criogénicos un protocolo de cultivo *in vitro* que sea operativo para el explante seleccionado.

Consecuentemente, la participación de especialistas en el cultivo de tejidos vegetales es una condición requerida desde el inicio de un proyecto de crioconservación y durante todo su desarrollo (González y Engelmann, 2013). Esta dependencia o vinculación entre la crioconservación y el cultivo *in vitro*, sumada a la utilidad de ambas técnicas para efectuar conservación *ex situ* de colecciones de recursos genéticos, ha motivado que ambas sean tratadas conjuntamente en esta sección.

Todos los métodos de propagación y cultivo *in vitro* se basan en una propiedad de las plantas llamada totipotencia celular, la cual permite la regeneración de la planta completa, desde células individuales, o grupo de células contenidas en tejidos u órganos. Según Ortiz (2013) el cultivo *in vitro* puede realizarse mediante dos técnicas: Organogénesis somática y embriogénesis somática.

La organogénesis somática implica la formación de estructuras monopolares, de origen multicelular, que establecen conexión vascular con el tejido del cual derivan. El proceso organogénico involucra la diferenciación de brotes y raíces en períodos distintos durante el desarrollo de la vitroplanta. Como material de inicio de cultivo se suelen usar yemas, segmentos

de tallo o fragmentos de hoja. Normalmente, los brotes *in vitro* son inducidos sobre tejidos dispuestos en un medio enriquecido con citoquininas y posteriormente los explantes son enraizados en un medio enriquecido con auxinas. Los cultivos son mantenidos en frascos o envases sellados, durante todo el proceso de multiplicación, en ambientes controlados con iluminación artificial, fotoperiodo y temperatura. La organogénesis se encuentra influenciada por el genotipo, estado fisiológico del explante, edad y condiciones *in vitro* de luz, temperatura y constitución del medio nutritivo, en especial de las concentraciones hormonales (Ahuja, 1983). De acuerdo a Sabja (1988), dentro de la organogénesis, los sistemas más empleados en especies forestales corresponden a la producción de brotes axilares y brotes adventicios.

La micropropagación vía embriogénesis somática involucra el desarrollo de embrioides *in vitro*, a partir de una célula somática embriogénicamente competente, o desde un grupo de ellas. Como material de inicio de cultivos se suelen usar semillas o embriones cigóticos en distintos estados de madurez. A diferencia de la organogénesis, donde los brotes y raíces se desarrollan en diferentes medios nutritivos, la embriogénesis somática origina embriones bipolares (presentan un ápice caulinar y otro radicular), que generan en forma simultánea la parte aérea y radicular de una planta, a través de una serie de etapas similares a la formación de embriones cigóticos (Ahuja, 1983). A medida que se desarrollan los embriones somáticos, las células meristemáticas rompen cualquier conexión citoplasmática o vascular con las células circundantes y crecen como una estructura aislada, por lo que su aislación resulta relativamente sencilla. Los embriones aislados pueden ser un elemento de conservación de largo plazo, para lo cual se pueden encapsular en alginato de sodio y posteriormente criopreservar en nitrógeno líquido.

Las ventajas de la embriogénesis se relacionan con sus altos coeficientes de multiplicación y la posibilidad de automatización del proceso en bioreactores, ya que los embriones pueden ser cultivados en medio líquido. Se estima que un litro de cultivo embriogénico de coníferas puede contener aproximadamente 100.000 embriones somáticos (Becwar *et al.*, 1988).

Independiente de la técnica de cultivo, mientras el germoplasma *in vitro* se mantenga activo (en crecimiento) es necesario subcultivarlo sistemáticamente a medios frescos, de lo contrario experimenta senescencia y muere, pero como contrapartida, asociado a este subcultivo y largos periodos en reproducción puede producirse el fenómeno de variación somaclonal. Este consiste en cambios genéticos inducidos en el material vegetativo, los que pueden manifestarse como alteraciones en el número de cromosomas y también rompimiento de cromosomas, así como inserciones y supresiones. Por lo mismo, cuando se utilizan los cultivos *in vitro* para la preservación de germoplasma, la variación somaclonal puede tener consecuencias severas, debido a que el genotipo original puede no ser preservado. La manera de evitar la incidencia de este efecto es minimizar el número de reproducciones de los explantes conservados, idealmente inhibir totalmente su crecimiento como ocurre al criopreservarlos.

Los cultivos *in vitro* y sus propágulos pueden almacenarse por períodos cortos, medianos y largos. Durante un almacenamiento de corto plazo se promueve el crecimiento de los cultivos *in vitro*, en tanto que en el almacenamiento por plazos medianos y largos se busca reducir fuertemente el crecimiento o incluso inhibirlo (Wang y Beardmore, 2004).

- Almacenamiento *In Vitro* de Corto Plazo

El almacenamiento de corto plazo es de utilidad para mantener explantes activos mediante el subcultivo regular de los tejidos en medios frescos. Este método es práctico para multiplicar germoplasma, pero no es apropiado para fines de conservación *ex situ* de largo plazo, por cuanto conlleva el permanente peligro de contaminación de los cultivos, fallas de equipo, elevados costos de almacenamiento y trabajo intensivo. Adicionalmente el permanente subcultivo incrementa el riesgo de variación somaclonal.

- Almacenamiento *In Vitro* de Mediano Plazo

Los cultivos *in vitro* pueden almacenarse por plazos de mediana duración minimizando el crecimiento del tejido y por consiguiente reduciendo la frecuencia de los subcultivos. La reducción del crecimiento del germoplasma *in vitro* puede conseguirse por métodos variados, entre ellos, reduciendo la temperatura, la concentración de oxígeno o la intensidad de la luz.

También puede manejarse la composición de los medios (concentración de nutrientes, reguladores de crecimiento y otros) de forma tal que minimicen el crecimiento. Al respecto, altos contenidos de sacarosa y manitol han demostrado minimizar el crecimiento de los cultivos *in vitro*, sin embargo pueden conducir también a una reducción en la viabilidad del cultivo. Por otra parte, la adición de inhibidores, como el ácido abscísico, también pueden reducir el crecimiento e inducir latencia en el tejido, aunque en estos casos también suele ocurrir que los cultivos que han crecido algún periodo en presencia de inhibidores, posteriormente experimentan dificultades para su regeneración (Wang y Beardmore, 2004).

- Almacenamiento *In Vitro* de Largo Plazo (Criopreservación)

La criopreservación es un método apropiado para el almacenamiento a largo plazo de germoplasma vegetal, permitiendo en teoría almacenar el material en forma indefinida. Esta técnica hace uso del almacenamiento a temperaturas extraordinariamente bajas, normalmente en nitrógeno líquido (-196 °C), y según Theilade *et al.* (2007a), en combinación con el cultivo *in vitro*, representa con frecuencia la única opción segura y rentable para el almacenamiento de especies no ortodoxas.

La técnica, si bien puede aplicarse a polen y semillas ortodoxas (por cuanto requiere desecación antes del congelamiento), es aplicable también con algunas consideraciones especiales a cultivos *in vitro*. Su utilización ha sido mencionada en distintas especies forestales, entre ellas para conservar embriones cigóticos de *Quercus spp.*, *Aesculus hippocastanum* y *Juglans spp.*; líneas embriogénicas de especies de los géneros *Picea*, *Pinus* y *Acer*; y puntas de tallos de *Eucalyptus gunni* (Wang y Beardmore, 2004). En Chile, Bioforest SA, centro de investigación de Arauco SA, utiliza la criopreservación para almacenar embriones somáticos de *Pinus radiata*.

En la crioconservación la principal fuente de daños y pérdida de germoplasma se relaciona con la formación de hielo intracelular durante el congelamiento, lo cual produce la ruptura de las

membranas y muerte celular. Para evitar que esto se produzca se debe utilizar germoplasma con un muy bajo contenido de agua e, idealmente, con células pequeñas y densamente compactadas. En este sentido, el polen y las semillas ortodoxas con bajos contenidos de humedad, así como las yemas latentes de árboles acondicionados para el invierno, son capaces de sobrevivir a la criopreservación. Por el contrario, los explantes de germoplasma *in vitro*, debido a sus altos contenidos de humedad y a su incompatibilidad con la desecación, no resultan, en primera instancia, adecuados para criopreservarlos. En estos casos, la criopreservación de explantes *in vitro* requiere de la aplicación de pretratamientos que acondicionen el material para permitirle sobrevivir al congelamiento y mantener su viabilidad después del descongelamiento (Wang y Beardmore, 2004).

La tolerancia del tejido a la criopreservación puede incrementarse por métodos que disminuyen el contenido de agua del tejido, minimizando así la incidencia de formación de hielo intracelular. En el caso de los cultivos *in vitro*, al ser intolerantes a la desecación, deben someterse a la infusión de sustancias crioprotectoras, las que alteran la permeabilidad de la membrana celular, el punto de congelamiento y la respuesta del tejido al congelamiento. Según González y Engelmann (2013) la utilización exógena de estas sustancias clasificadas como crioprotectoras puede tener lugar mediante su adición a los medios de cultivo *in vitro*, o realizando tratamientos con soluciones que las contengan, con lo cual se propicia la penetración de algunos de ellos a las células y, a su vez, se contribuye a regular el equilibrio osmótico, a incrementar la viscosidad y a reemplazar las moléculas de agua eliminadas por la deshidratación. De esta forma, se ejerce un efecto protector celular, que disminuye el punto de congelación y que puede inducir la ocurrencia de la vitrificación, es decir de una condición en que el agua interna de las células adquiere una alta viscosidad que la asimila al estado sólido de un cristal amorfo, condición en la que no puede congelarse, por lo tanto no se produce cristalización de hielo que dañe los tejidos.

Los crioprotectores más usados en esta materia son el dimetil-sulfóxido (DMSO), glicerol, sorbitol o polietilen-glicol. El DMSO altera la permeabilidad de la membrana celular, permitiendo que otros crioprotectores también puedan minimizar el daño debido a la formación de hielo intracelular, protegiendo a las membranas celulares del daño por formación de hielo.

Una vez que el material a criopreservar ha sido acondicionado, se congela en un equipo programable, que permite reducir la temperatura a un ritmo predeterminado. Comúnmente, el material se enfría a razón de 1°C por minuto hasta llegar a -30 o -35°C, luego se mantienen a esta temperatura por aproximadamente 30 minutos, para después transferirlo a un tanque con nitrógeno líquido a -196°C.

Conservación de ADN

En la actualidad la extracción de ADN nuclear, mitocondrial o de cloroplasto es relativamente sencilla, de modo que el ADN y las secuencias de ADN o ARN se consideran recursos genéticos que pueden ser extraídos con relativa facilidad y conservados en BioBancos especializados (Dulloo *et al.*, 2006).

En este sentido, los BioBancos de ADN son una técnica emergente de conservación de recursos genéticos, que adquiere cada vez más importancia, reconociéndoseles como un método eficiente, sencillo y de largo plazo, para conservar gran cantidad de información genética requiriendo de muestras muy pequeñas. En el caso de plantas, los BioBancos tienen un enorme potencial para coleccionar y conservar una gran cantidad de información respecto a la biodiversidad global.

En los BioBancos el almacenamiento de ADN es esencialmente “almacenamiento de información” (Rice *et al.*, 2006). En efecto, a diferencia de los bancos de conservación tradicionales (de semillas, de polen, de explantes *in vitro*, etc.), los BioBancos de ADN no almacenan germoplasma propiamente tal, sino que información genética. El ADN que se conserva en el banco: (1) se extrae de las células y se purifica antes de almacenarlo, o (2) se almacena dentro de células para extraerlo después, cuando se saca de almacenamiento. En este segundo caso, en el banco de ADN las células y tejidos se almacena para extraer ADN y no para regenerar plantas.

Theilade *et al.* (2007a) son enfáticos en mencionar que el principal problema del almacenamiento de ADN es que no permite la regeneración de plantas completas. Para reconstituir plantas completas directamente del ADN, primero es necesario introducir artificialmente el material genético en células somáticas (mediante la transformación o la transducción de plásmidos o liposomas), recién después de este complejo proceso se pueden cultivar las células *in vitro* para producir plantas. Por lo mismo, los BioBancos de ADN deben estar relacionados con estructuras tradicionales de conservación de germoplasma o, mejor aún en el caso de recursos forestales, con colecciones establecidas en terreno (ensayos de progenies y procedencias de alta variabilidad), de modo de disponer de material viable para regeneración de plantas y estudios complementarios.

Para especies difíciles de conservar por medios convencionales, o que están altamente amenazadas en sus ambientes naturales, el almacenamiento de ADN puede representar la última opción para conservar la diversidad genética de sus poblaciones. En este sentido, los BioBancos de ADN pueden considerarse como un “medio complementario de conservación”, por cuanto no reemplazan a los bancos de germoplasma tradicionales. El almacenamiento de ADN hasta ahora se ha realizado con propósitos distintos a los de la conservación, generalmente para que el material genético sea fácilmente accesible y pueda utilizarse ya sea en aplicaciones moleculares o distribuirse para otras investigaciones. Sobre este particular Dullo *et al.* (2006) señalan que con solo cumplir la función de proveer ADN para la investigación, los bancos ya tienen justificada su razón de ser.

El almacenamiento de ADN en BioBancos posibilitaría el inicio de estudios de aislamiento, clonación y transferencia de genes. Por otra parte, además de constituir una estructura de complemento para las estrategias de conservación, Ebert *et al.* (2006) señalan que los BioBancos de ADN pueden proporcionar material que sirva de base para estudios de evolución y genómica comparativa; para estudios de asociación genética y selección asistida por marcadores; pueden facilitar el intercambio de información y muestras de ADN; pueden mejorar el rendimiento en caracterización de germoplasma y mejorar la gestión de bancos tradicionales. Adicionalmente, otros autores agregan que los BioBancos de ADN son estructuras de utilidad para estudios bio-

taxonómicos y de evolución; estudios de la evolución de una determinada estructura genética; facilitar el intercambio de datos e información; inventariar las entidades de interés particular; conservar información en el largo plazo; y certificar el origen o procedencia para material reproductivo forestal.

Conservación de Colecciones en Campo (terreno)

Como se ha indicado anteriormente, la conservación *ex situ* de especies cuyas semillas no son compatibles con el almacenamiento de largo plazo demanda el uso de técnicas alternativas de conservación. Una de ellas es la mantención de colecciones de plantas en campo, ya sea en jardines botánicos o en los denominados rodales de conservación *ex situ*.

En los jardines botánicos y arboretos las colecciones normalmente consisten de pocos individuos, mientras que los rodales de conservación *ex situ* se diseñan y establecen para representar a un número mucho mayor de ejemplares. Si bien en ambos casos la finalidad es mantener los recursos genéticos en un área segura para su utilización futura, en los rodales de conservación este objetivo de largo plazo suele estar combinado con otras finalidades prácticas, fundamentalmente con aquellas relacionadas con programas de mejoramiento genético (Theilade *et al.*, 2007b).

Ambos tópicos, jardines botánicos y rodales de conservación *ex situ*, se abordan *in extenso* en los capítulos 12 y 13 de este mismo libro. Consecuentemente, para los efectos de este capítulo, se ha creído suficiente limitarse a mencionarlos como otras de las alternativas para conservar colecciones *ex situ* de especies de semillas recalcitrantes y no se ha considerado necesario repetir antecedentes que el lector podrá encontrar mejor desarrollados en los capítulos específicos, correspondientes a cada uno de esos temas.

CONCLUSIONES

En la actualidad se considera que las técnicas de conservación *in situ* y *ex situ* constituyen aproximaciones complementarias para los fines de conservación de la biodiversidad.

Los diversos métodos de almacenamiento y propagación disponibles no deben identificarse como alternativas excluyentes, cada técnica de conservación posee ventajas e inconvenientes y por ello resulta interesante complementar e integrar varios métodos en un programa de conservación.

Los mecanismos de conservación *ex situ*, no se limitan a la obtención y posesión física de los materiales (recolección y almacenamiento) sino que además deben asegurar su existencia en el tiempo, en condiciones viables y con sus características genéticas originales.

En la conservación *ex situ*, el adecuado manejo de la información es un factor clave. Los bancos de germoplasma, colecciones en campo y jardines botánicos requieren una prolija recopilación y manejo de la información relativa a las colecciones, su identidad taxonómica y genética, su

estado fisiológico y sanitario, su ubicación en el centro y los datos de origen del material vegetal. Por todo ello, el éxito y los beneficios de los programas de conservación dependen en gran medida de este factor, que, en ocasiones, no es suficientemente considerado.

El almacenamiento de semillas es, en el caso de las especies de semilla ortodoxa, el principal método de conservación *ex situ* de colecciones de germoplasma.

En el caso de semillas recalcitrantes es necesario usar métodos alternativos. De ellos, el cultivo *in vitro* presenta importantes inconvenientes asociados a la necesidad de subcultivos y al riesgo de variación somaclonal, por lo mismo no resulta adecuado para conservación de germoplasma en el largo plazo, a menos que se combine con la técnica de criopreservación. Esta última se destaca como un método de enorme potencial, respecto del cual se requiere de más investigación para definir la combinación óptima de crioprotectores y para desarrollar procedimientos para mejorar la recuperación después de la crio-preservación.

La conservación de ADN en BioBancos no corresponde a una forma de almacenamiento de germoplasma propiamente tal, sino que de información genética. En tal sentido es de especial valor para efecto de estudios de diversa naturaleza, pero presenta una gran complejidad y limitaciones para efectos de regenerar plantas a partir del ADN almacenado.

En cuanto al establecimiento de colecciones en campo, resulta particularmente interesante como un método de conservación *ex situ* para colecciones de plantas forestales, debido a la longevidad de las mismas y a su compatibilidad con programas de mejoramiento genético.

REFERENCIAS

- Ahuja, M., 1983.** Micropropagation à la carte. In: Micropropagation of woody plants, Forestry Science. V.41. Ahuja, MR. (Ed). Kluwer Academic Publishers. Pp: 3-9.
- Bacchetta, G.; Bueno-Sánchez, A.; Fenu, G.; Jiménez-Alfaro, B.; Mattana, E.; Piotto, B. y Virevaire, M. (Eds), 2008.** Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.
- Becwar, M. R.; Wann, S. R.; Johnson, M. A.; Verhagen, S. A.; Feirer, R. P. and Nagmani, R., 1988.** Development and characterization of *in vitro* embryogenic systems in conifers. In: Ahuja MA, ed. *Somatic cell genetics of woody plants*. Kluwer Academic Publishers, 1-18.
- CONAMA, 2003.** Estrategia Nacional de Biodiversidad. Comisión Nacional de Medio Ambiente. Chile. 21 p.
- CONAMA, 2005.** Plan de acción de país para la implementación de la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2004-2015. Propuestas de país para avanzar mancomunadamente en la conservación y uso sostenible del patrimonio natural. Comisión Nacional de Medio Ambiente. Chile. 139 p.
- Dulloo, E.; Nagamura, Y. and Ryder, O., 2006.** DNA storage as a complementary conservation strategy. En: de Vicente, MC. and Andersson, MS. (Eds). 2006. DNA banks—providing novel options for genebanks?. Topical Reviews in Agricultural Biodiversity. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Capítulo 3, Pp: 11-40.
- Ebert, A. W.; Karihaloo, J. L. and Ferreira, M. E., 2006.** Opportunities, limitations and needs for DNA Banks. En: de Vicente MC and Andersson MS (Eds). 2006. DNA banks—providing novel options for genebanks?. Topical Reviews in Agricultural Biodiversity. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Capítulo 9, Pp: 61-68.
- Gold, K.; León-Lobos, P. y Way, M., 2004.** Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro regional de Investigación Intihuasi. La Serena Chile. Boletín INIA N° 110. 62 p.
- González, M. T. y Engelmann, F., 2013.** Consideraciones teóricas y prácticas para la crioconservación de germoplasma vegetal En: González, M. T. y Engelmann, F. (Eds.) 2013. Crioconservación de plantas en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola, IICA. San José, Costa Rica. ISBN 978-92-9248-446-0. 204 p. capítulo 4. Pp: 37-52.

Iriondo, J. M., 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). En: Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 16 (1): 5-24.

León-Lobos, P.; Sandoval, A. C.; Bolados, G.; Rosas, M.; Stark, D. y Gold, K., 2013. Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. 89 p.

Ortiz, O., 2013. Micropropagación de *Eucalyptus globulus*. En: Ipinza, R.; Barros, S.; Gutiérrez, B. y Borralho, N. (Eds). Mejoramiento genético de eucaliptos en Chile. Instituto Forestal- Fundación para la Innovación Agraria. Santiago, Chile.

Rice, N.; Henry, R. and Rossetto, M., 2006. DNA banks: a primary resource for conservation research. En: de Vicente, M. C. and Andersson, M. S. (Eds). DNA banks—providing novel options for genebanks?. Topical Reviews in Agricultural Biodiversity. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Capítulo 6, Pp: 41-48.

Sabja, A., 1998. Macro y micropropagación en especies forestales. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B. y Emhart, V. (Eds.). Curso Mejora Genética Forestal Operativa. Apunte N° 1. 16 – 21 noviembre de 1998 Valdivia Chile. 219 –232.

Seguel, I., 2001. Conservación de recursos fitogenéticos ex situ. En: PROCISUR. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. 12 p. http://www.fagro.edu.uy/~fitotecnia/docencia/materiales%20apoyo/Conservacion_de_recursos_Fitogeneticos.pdf. (Consulta: Noviembre, 2013).

Theilade, I.; Petri, L. y Engels, J., 2007a. Conservación *ex situ* mediante almacenamiento y utilización. En: FAO-FLD-Bioversity International. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: En plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. Capítulo 6, Pp: 51-65.

Theilade, I.; Yanchuk, A. y Hald, S., 2007b. Establecimiento y manejo de rodales *ex situ*. En: FAO-FLD-Bioversity International. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: En plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. Capítulo 5, Pp: 33-49.

Wang, B. y Beardmore, T., 2004. Almacenamiento y manejo de germoplasma. En: Vargas, J.; Bermejo, B. y Ledig, T. (Eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales, Segunda Edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco México. 109 p. Capítulo 8, Pp: 102-127.

Capítulo 12

ESTABLECIMIENTO Y ORDENACIÓN DE RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU* EN CHILE

María Paz Molina Brand¹
Roberto Ipinza Carmona²

INTRODUCCIÓN

En la Cumbre de la Tierra de Río, en el año 1992, junto a la adopción del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), se aprobó un acuerdo en el que se reconocía la necesidad de buscar soluciones para las cuestiones pendientes relativas a los recursos fitogenéticos y, en particular, al acceso a las colecciones *ex situ* no comprendidas en el Convenio y a los derechos del agricultor. Queda así de manifiesto la relevancia del material genético que se resguarda *ex situ* para su conservación, pero se destaca también la necesidad de acceso a ellos y del reconocimiento los derechos de quienes llevan a cabo esta labor, asunto que fue reafirmado y definido el año 2001 en el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA). Chile suscribió dicho tratado y a partir del año 2009 este espera su ratificación en el Congreso Nacional.

La conservación de material genético puede realizarse en tres formas *in situ*, *circa situ* y *ex situ*. El primero, como es sabido, se produce dentro del hábitat natural de la especie y en general corresponde a áreas aisladas de la actividad humana. En algunos casos, los menos, se realizan algún tipo de labores silvícolas para preservar la especie y su ecosistema. El sistema *circa situ* también se realiza en el hábitat natural de la especie y está asociado a un uso, muchas veces tradicional, por parte de los propietarios o comunidades establecidas en ese hábitat. La Conservación se realiza a través del uso racional o sostenible del ecosistema asociado a la especie. En estos primeros dos casos, el material genético permanece en el lugar y necesariamente queda expuesto a todas las eventualidades derivadas tanto de la naturaleza como de la acción humana, entre estas incendios y cambios de uso de la tierra. Más recientemente estos recursos están expuestos también a un clima cambiante, que en algunos casos puede ser lo suficientemente hostil como para disminuir o hasta eliminar poblaciones completas de una especie.

Una alternativa mitigante de lo anterior es la conservación *ex situ*, que corresponde a aquella realizada fuera del ambiente natural del recurso conservado, por ejemplo en bancos de germoplasma o en rodales de conservación establecidos artificialmente. Este último sistema es comúnmente utilizado en programas de mejoramiento genético para el establecimiento de poblaciones base, o de producción o de mejoramiento genético. Además, actualmente son un

¹ Ingeniero Forestal. Mg Cs Forestales. Instituto Forestal, Sede Biobío. mmolina@infor.cl

² Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal, Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

claro mecanismo para rescatar especies o poblaciones susceptibles de pérdida o bien evaluar la vulnerabilidad de algunos genotipos en algunos ambientes distintos al original.

En el presente capítulo se describen los tipos de estructuras o unidades de conservación genética *ex situ* de especies forestales, denominadas también Rodales de Conservación. Dentro de estos se pueden señalar, ensayos genéticos en general y unidades de producción de material de propagación. La información entregada corresponde principalmente a la experiencia adquirida por investigadores del Grupo Conservación y Mejoramiento Genético de INFOR en 30 años de implementación de programas de mejoramiento genético para especies exóticas y nativas dentro de las cuales destacan la de los géneros *Eucalyptus* y *Nothofagus*.

IMPORTANCIA DE LOS RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU*

La finalidad de los rodales de conservación *ex situ* es mantener los recursos genéticos en un área segura para su utilización futura. Una de las particularidades de la utilización sostenible de un recurso genético es la variabilidad genética que se resguarde. Cuando esta variabilidad es muy baja se le restan posibilidades adaptativas a la especie y en el sentido productivo acotan en demasía un programa de mejoramiento genético para determinada característica. En este sentido, algunos jardines botánicos y arboretos tienen colecciones valiosas de especies amenazadas, pero estas colecciones con frecuencia consisten en muy pocos individuos, motivo por el cual no están considerados como rodales de conservación dado que por lo mismo tampoco tienen un sentido utilitario de largo plazo.

Los rodales de conservación *ex situ*, que consideran una variabilidad genética amplia de la especie pasan a ser por sí mismos bancos de germoplasma, en este caso *in vivo* porque lo que se resguarda es el árbol con su expresión fenotípica enfrentada a un medio que puede ser distinto a su medio original. Los bancos de germoplasma tradicionales, de semillas, explantes micropropagados o criopreservados, de ADN u otros que consideran partes del árbol con potencial reproductivo, no permiten predecir cuál será el comportamiento o desempeño del árbol en terreno enfrentado a condiciones ambientales no controladas, por lo tanto en ningún caso se tiene asegurada su supervivencia que es el objetivo primario de la conservación *ex situ*.

La mayor parte de las definiciones de conservación *ex situ* señalan que esta procura la supervivencia de algunas especies, pero en realidad y en especial en los ecosistemas forestales, puede hablarse de la supervivencia de varias especies, tanto animales como especies fúngicas o vegetales, entre otras que se asocian a la o las especies que se quiere conservar. No es inapropiado pensar que en un corto plazo se hable de la conservación *ex situ* de ecosistemas forestales completos.

Lamentablemente, en el tema ecosistémico se carece de la suficiente investigación para tomar las mejores decisiones al momento de conservar y este tipo de conservación implicaría altos costos.

En resumen, a través de la conservación *ex situ* se salvaguardan la supervivencia, la adaptación y la evolución continua de una especie en un ambiente en permanente cambio. Según Eriksson (2000) el objetivo de la conservación genética es salvaguardar el potencial de adaptación.

EXPERIENCIAS DE CONSERVACIÓN *EX SITU* A TRAVÉS DE RODALES

Ensayos de Fundadores de Raulí

En Chile los recursos forestales nativos han estado históricamente sometidos a procesos de degradación que han mermado su variabilidad genética, fragmentado sus poblaciones y reducido su potencial productivo. Dentro de este escenario se encontraba raulí (*Nothofagus alpina*), especie emblemática de los bosques nativos chilenos. A partir de los años 90 el Instituto Forestal y la Universidad Austral de Chile, con el apoyo de la Corporación Nacional Forestal e importantes empresas forestales implementaron programas de I&D financiados por el Estado, los cuales se han orientado al conocimiento la variabilidad de la especie, al mejoramiento genético y a la masificación clonal de genotipos superiores.

La estrategia se basó en el método de mejoramiento denominado Selección Recurrente para la Aptitud Combinatoria General (SR/ACG), buscando como objetivo de primera generación el mejorar caracteres de propósito general a través de la selección de árboles de excelente forma y crecimiento.

El programa consideró en su fase inicial una estratificación en regiones de procedencias de la distribución natural, para mejorar el muestreo genético y priorizar las zonas de mayor interés. En cada región de procedencia se definieron puntos de muestreo desde los cuales se colectó semilla de árboles individuales para representarlos en ensayos de procedencia y progenies. También se colectó semillas de los árboles superiores o *plus* que se seleccionaron para incorporarlos en los huertos semilleros. Se estableció una batería de 4 pruebas de procedencias y progenies, caracterizada por ser la colección más extensa y completa para representar la variabilidad genética exhibida por raulí en Chile (alrededor de 125 familias de 7 regiones de procedencias). Tales pruebas brindarán información crucial para orientar el programa de mejoramiento genético en el futuro.

A partir de los árboles seleccionados (62 candidatos y 29 seleccionados como *plus*) se establecieron huertos semilleros clonales y se les representó en pruebas de progenies. Estos mismos árboles fueron posteriormente masificados clonalmente mediante técnicas de cultivo *in vitro*, se evaluó la fidelidad genética del material micropropagado mediante marcadores moleculares y finalmente fueron establecidos en 6 ensayos clonales en terreno de modo de evaluar su desempeño.

La existencia y conocimiento de la variabilidad genética de la especie que está representada en los ensayos de procedencia progenie y ensayos clonales que conforman los rodales de conservación de la especie han contribuido a avanzar en el mejoramiento genético, incluso a través de clones de alta productividad, y a recuperar el real potencial productivo de la especie.

Ensayos de Progenie de *Eucalyptus globulus*

En el año 1988 el Instituto Forestal (INFOR) adquirió una importante colección de semillas de *E. globulus*, conocida como la colección de Gardiner y Crawford de 1988, la que es representativa

de gran parte de la distribución natural de esta especie en Australia y que estuvo constituida por 215 progenies distribuidas en 35 procedencias. A partir de 1989 se estableció un conjunto de cuatro ensayos de procedencias y progenies (poblaciones base) en cuatro zonas del país. A estos ensayos se agregaron como testigos (controles) progenies de *E. globulus* actualmente denominados de raza local por ser individuos provenientes de semillas de antiguas plantaciones establecidas en el país.

Con posterioridad, en el año 1993, se amplió esta base genética de acuerdo a los resultados en los ensayos previamente establecidos. El total de las progenies introducidas destaca a esta base genética como una de las mayores fuera de Australia.

En gran parte como consecuencia de investigaciones de INFOR desde los años 60, las plantaciones de eucaliptos se han incrementado rápidamente desde los años 80, existiendo hoy más de 500 mil hectáreas plantadas con *Eucalyptus globulus*, más de 200 mil hectáreas plantadas con *Eucalyptus nitens* y superficies menores plantadas con otras especies del género. Estas plantaciones son destinadas fundamentalmente a celulosa de fibra corta, sin intervenciones de manejo y en cortas rotaciones.

Su uso para productos de madera sólida de mayor valor, como madera aserrada y chapas, en rotaciones algo más largas y con intervenciones de raleos y podas, está aún restringido a la espera de un mayor desarrollo de técnicas de aserrío y secado apropiadas para superar los problemas dados por las tensiones de crecimiento que presenta su madera. A esto se suma el precio que ha mantenido la madera para pulpa y el corto plazo de producción de esta, aspectos muy atractivos principalmente para pequeños y medianos propietarios, para quienes los bosques de *E. globulus* se constituyen en una interesante fuente de ingresos por la venta de metros ruma para la producción de pulpa o de leña, sin necesidad de reforestar posteriormente dado el vigoroso rebrote de tocones en el caso de *Eucalyptus globulus*.

Eucalyptus globulus presenta una limitante de relativa importancia dada por su baja resistencia al frío que restringe su uso en extensas áreas de suelos de aptitud forestal localizadas en zonas donde las heladas son frecuentes. Esta limitación promovió la utilización de *E. nitens*, especie de alta productividad y gran resistencia a frío, aunque con un relativo menor rendimiento en el proceso de pulpaje. En los años noventa se introdujo a Chile colecciones de progenies de *E. globulus* de mayor tolerancia al frío, provenientes de procedencias de Tasmania en Australia y otras de programas de mejoramiento genético de Estados Unidos. Sin embargo, los resultados con esta nueva colección no fueron los esperados, por lo que se amplía la introducción de *Eucalyptus nitens* a partir del año 1995 con el fin de generar una población base más amplia, que permitiera seleccionar individuos de la especie que se acercaran a los rendimientos pulpables alcanzados con *E. globulus*, pero no se encontraron individuos con estas características. La resistencia a frío y las ventajas de mayor crecimiento de *E. nitens* llevaron a que en las plantas de celulosa de las grandes empresas forestales del país, a inicios del presente siglo, se hicieran adaptaciones tecnológicas importantes y de alta inversión para mejorar el aprovechamiento de *E. nitens* para celulosa.

No obstante, no se desechó la idea de identificar progenies o individuos de *E. globulus* tolerantes al frío, y con este fin INFOR y la CMG (Cooperativa de Mejoramiento Genético) desarrollaron un proyecto, apoyado por fondos concursables del Estado chileno (FONDEF) que involucró la selección masal de alrededor de 1.500 individuos tolerantes al frío, que se localizaban en rodales establecidos en áreas límites de temperatura para *E. globulus*, los cuales fueron sometidos a pruebas de clonación a partir de enraizamiento de estacas, lográndose en no más del 10% de ellos tasas de propagación que hicieran rentable su uso. Este material genético, se encuentra en pruebas clonales dentro del patrimonio forestal de las empresas asociadas a la CMG.

Otro factor que limita las plantaciones de *E. globulus* son las restricciones hídricas. En una primera instancia INFOR desarrolló un proyecto de hibridación de la especie con otras del género de probada tolerancia a la sequía. Más recientemente, INFOR junto a INIA desarrolló un proyecto, apoyado por INNOVA Chile de CORFO (Corporación de Fomento de la Producción), donde se generó una raza de *E. globulus* tolerante a la sequía, proveniente de una selección masal en zonas evidentemente marginales para la especie, desde la región de Coquimbo hasta las zonas de secano de las regiones del Maule y del Bío Bío. Este material fue evaluado en su capacidad de clonación y actualmente se encuentra en pruebas clonales en terreno.

Adicionalmente, INFOR estableció pruebas de progenies de polinización abierta con esta raza local de *E. globulus* y progenies de alta productividad, correspondientes a clones de árboles seleccionados en ensayos de progenie existentes con antelación, las que fueron establecidas a partir de la primera colección que se introdujo de Australia. También se estableció un ensayo de progenies de polinización controlada, donde se hibridaron padres de la raza local mencionada (aportando polen) con madres correspondientes a clones de alta productividad.

Todos estos ensayos se establecieron en zonas de secano interior de la región del Bío Bío, donde *E. globulus* tiene limitado su crecimiento debido a restricciones hídricas. Al comparar las progenies de polinización abierta de *E. globulus*, definidas en los grupos de alta productividad y de secano, se encontró que en ambos ensayos las selecciones efectuadas en el secano tuvieron una mayor supervivencia, pero con valores muy cercanos al primer grupo. Por otra parte, todas las progenies que se obtuvieron a partir de polinización controlada son significativamente diferentes y superiores a las progenies de polinización abierta en todas las variables de crecimiento evaluadas.

Al revisar cómo se han manejado los recursos genéticos introducidos para *Pinus radiata* y *E. globulus*, es importante recalcar que el programa de esta segunda especie contempló varias estrategias de mejoramiento genético orientadas a incorporar otros áreas o suelos, aparentemente menos productivos, a plantar con la especie. En los logros obtenidos con *E. globulus* ha sido fundamental la mantención de una amplia base genética para resguardar posibles genes de interés en el futuro y permitir estudios complementarios sobre las distintas herramientas silvícolas y biotecnológicas, aspecto que otorga un importante valor agregado al programa de mejoramiento genético.

TIPOS DE RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU*

Los rodales de conservación son equivalentes a bancos *in vivo*, donde el material genético además de estar resguardado puede manifestar todo su potencial, ya sea adaptativo o bien para una o más características de interés comercial o ecológico.

Dado que se esperan ciertas respuestas de los individuos o árboles establecidos en los rodales de conservación, estos se establecen bajo un diseño estadístico u ordenación que permita posteriormente inferir información útil y certera a partir de ellos.

Dentro de los rodales de conservación se pueden encontrar aquellos que poseen la mayor variabilidad genética posible, poblaciones base o poblaciones de fundadores, hasta aquellos con una variabilidad restringida, puesto que estos últimos en su mayoría han sido focalizados para características productivas específicas y dentro de los cuales están los huertos clonales o jardines clonales. En categorías intermedias se encuentran los ensayos de progenies y los ensayos de procedencias.

A continuación se describen algunos tipos de rodales de Conservación comúnmente utilizados.

Poblaciones Base o Poblaciones Fundadoras

Este tipo de rodal incluye la mayor parte de las procedencias y poblaciones en donde se distribuye la especie en forma natural. El aseguramiento de la variabilidad recogida obedece a un muestreo planificado e implementado. En algunos casos existe información genética o molecular suficiente que ha permitido definir claramente cuáles son las procedencias y poblaciones de la especie y en base a esa variabilidad es posible planificar el muestreo de los árboles, es decir precisar los puntos de muestreo, número de árboles a muestrear por punto de acuerdo a la variabilidad existente en esa procedencia o población.

Sin embargo, en la mayoría de los casos de las especies nativas chilenas no existe información tan acabada, por lo mismo, es preciso predefinir procedencias y poblaciones que se espera que sean distintas debido principalmente a condicionantes topográficas o geográficas en general y donde se puede presumir el aislamiento existente entre poblaciones no combinables en forma natural. Esta metodología, desarrollada por Vergara (2000), fue la utilizada en los programas de Conservación y Mejoramiento Genético de INFOR para distintas especies nativas chilenas, entre las cuales se encuentran *Nothofagus alpina* (raulí), *Nothofagus obliqua* (roble), *Nothofagus dombeyi* (coigüe), *Nothofagus pumilio* (lenga) y *Laurelia sempervirens* (laurel).

En general, este tipo de poblaciones (Base o Fundadoras) no se focalizan en una característica o prototipo de individuo a muestrear sino que consideran extraer material de propagación de aquellos árboles que coinciden con el punto de muestreo, no importando sus características fenotípicas, salvo que se eligen árboles sanos, que no muestren daños bióticos principalmente (insectos o patógenos). El material de propagación que se extrae generalmente corresponde a semillas y en algunos casos específicos pueden ser púas para injertos o estacas para enraizamiento,

estas dos últimas técnicas de un costo mucho mayor para la producción de plantas, pero que son el sistema viable para especies que no producen semilla de calidad o poseen añerismo muy marcado. Aparte de lo anterior, las semillas sin duda son la mejor opción porque entregarán una mayor variabilidad genética a los rodales de conservación.

Ensayos de Progenie

Este tipo de rodal generalmente tiene menor variabilidad genética que el anterior porque se forma principalmente a partir de material seleccionado para determinada característica o un conjunto de estas. Sin embargo en algunos casos, sobre todo en especies introducidas o exóticas, estos ensayos pasan a ser poblaciones base. Este es el caso de los ensayos de progenies establecidos por INFOR desde fines de los años 80, para los cuales se compraron o se contrataron colectas especiales en Australia, de toda la distribución natural de varias especies del género *Eucalyptus*. La producción de plantas para estos ensayos es principalmente a partir de semillas, en los cuales los individuos de la misma familia por lo general son medios hermanos con madre conocida, eventualmente existen también ensayos de progenies donde los miembros de una progenie o familia son hermanos completos y se han obtenido a través de polinización controlada, con padre y madre conocidos.

El establecimiento de estos ensayos se realiza en diseños estadísticos apropiados que permiten determinar la cantidad y la naturaleza de la variación genética (aditiva y no aditiva, ambiental e interacciones) a partir de evaluaciones fenotípicas de cada árbol, es decir, evaluando su crecimiento (altura, diámetro de fuste, volumen, forma, características asociadas a la madera, entre otras) de modo de orientar adecuadamente las estrategias de mejoramiento genético donde estos ensayos tienen su máxima aplicabilidad.

Estos ensayos son de gran importancia debido a que son la base para la toma de decisiones, además de proporcionar el material y la información para el mejoramiento genético de generaciones sucesivas.

Si bien de la descripción de las unidades anteriores se desprende que existe un reguardo de variabilidad genética de algunas especies, ello dependerá de la determinación del número de muestras a capturar (Capítulo 10), del tipo de muestreo a utilizar y de la zonificación para cubrir efectivamente todos los nichos ecológicos posibles para determinada especie. No menos importante es que estos rodales de conservación deberían estar repetidos 2 o 3 veces a lo menos en distintas zonas y dependiendo de los objetivos.

Si efectivamente se quiere asegurar la supervivencia de los árboles, se los ubicará en sectores donde haya una concordancia de clima y suelo (zona edafoclimática) con los requerimientos ecológicos de la especie. También pueden utilizarse estos rodales para determinar la vulnerabilidad de las poblaciones de la especie a condiciones más extremas de su distribución natural, incluso fuera de ellas, por ejemplo zonas con restricciones hídricas o de temperatura para la especie.

La velocidad del cambio climático; cambios en temperatura a tasas más rápidas de lo esperado,

han traído consideraciones impensadas en otros tiempos. En el tema de la restauración de ecosistemas degradados la premisa fue siempre su recuperación con plantas producidas con semillas o propágulos lo más cercanos posible a la localidad. Sin embargo, si los cambios climáticos son tan inminentes y poco cuantificables, será o no recomendable restaurar con plantas o semillas producidas de varias poblaciones de la especie, incluyendo a la población local, lo que significaría nuevamente forzar la selección natural en la especie. Lamentablemente, cuando se habla de especies forestales, en la gran mayoría de los casos los plazos son demasiado extensos como para verdaderamente evaluar las consecuencias positivas o negativas que estas acciones tendrán para la supervivencia de la especie o de determinadas poblaciones de la misma.

En relación a lo anterior, es recomendable que los rodales de conservación de especies nativas, en las cuales se incluye la mayor variabilidad posible de la especie, no estén en contacto directo con poblaciones naturales para no alterar, a través de la polinización natural, el *pool* genético de poblaciones específicas.

Ensayos Clonales, Huertos Clonales y Jardines Clonales

Estos tipos de estructuras también son rodales de conservación y pueden ser el límite inferior en la variabilidad genética resguardada de determinada especie. En general tienen funciones distintas, pero todos ellos se asocian a programas de mejoramiento genético.

Los Ensayos Clonales representan un tipo de ensayo genético que pretende evaluar el desempeño de varios clones en determinados sectores y para una determinada característica productiva. El objetivo que persiguen es determinar la factibilidad técnica y económica de masificar plantaciones clonales. En este contexto, la evaluación de esta factibilidad se inicia con la evaluación de la capacidad de propagación clonal del árbol seleccionado, costo y tasa de multiplicación, y una vez superadas esas restricciones, costo aceptable y alta tasa de propagación clonal, se prueba su desempeño en terreno en condiciones de una plantación normal. Como es de esperar, en cada fase va disminuyendo el número de clones que permanecerán en el ensayo clonal y por ende también disminuirá la variabilidad genética.

Por su parte, los Huertos Clonales en general tienen una función de producción de material de propagación, principalmente producción de semillas. Un Huerto Clonal es una sub-población de genotipos de una población base, o de ensayos de progenies, o bien fenotipos seleccionados en poblaciones naturales, que son clonados, principalmente a través de injertación. En general representan una característica determinada que habitualmente responde a intereses productivos (crecimiento y adaptación). Comúnmente en estos huertos se representan entre 20 a 40 clones, en un número variable de repeticiones dependiendo de la necesidad de semilla que se requiera y de otras condiciones tales como la disponibilidad de terreno, número de rametos (copias de cada clon), grado de ganancia genética esperada y por último la eventual disminución de clones representados, producto de los resultados productivos que arroje el ensayo de progenies asociado a ese huerto. En general la tendencia es a la disminución de clones en el tiempo y por lo mismo pudiera disminuir la variabilidad genética contenida en ellos.

En el caso de los Jardines Clonales, su objetivo es principalmente resguardar material seleccionado que ha sido clonado. En general en este tipo de estructura existen copias en número variable de todas las selecciones realizadas en un programa de mejoramiento, tanto aquellas que están representadas en ensayos clonales o huertos clonales como aquellas que no tuvieron una capacidad de clonación suficiente para estar representada. En general estos jardines se manejan en vivero en contenedores de alta capacidad volumétrica y pueden cumplir funciones de donantes de material vegetativo o polen, sobre todo para aquellos clones que requieren un plazo mayor de estudio para optimizar su propagación masiva o evaluar su capacidad combinatoria específica y general con otros clones (reproducción sexual). En general los clones no tienen un mayor ordenamiento o un diseño estadístico dentro del jardín y pueden ser movidos para favorecer crecimiento de brotes o producción de flores entre otros fines. En la medida que un clon está bien representado en distintas unidades (productivas o plantaciones) es posible eliminarlo del Jardín clonal. Este tipo de estructura inicialmente puede tener una alta variabilidad, pero se debe considerar que no tiene fines productivos intrínsecos, la semilla que se pudiera producir es probable que tenga alto grado de endogamia dependiendo de la especie. Dado lo anterior, los jardines clonales deben ser considerados como estructuras temporales.

Aun cuando las estructuras clonales descritas anteriormente se encuentran principalmente relacionadas con programas de mejoramiento genético, pueden ser muy útiles para intervenir especies que presentan reducciones importantes de *pool* genético, es decir especies en peligro de extinción o grados de vulnerabilidad importante. Especialmente los Huertos y los Jardines Clonales. Los primeros, permiten generar nuevas combinaciones genéticas de pequeñas poblaciones aisladas, mientras que los jardines clonales permiten desarrollar investigaciones que tiendan a recuperar la especie, por ejemplo estudios de propagación, fenología y polinización entre otros.

MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU*

Existen consideraciones comunes al momento de establecer los distintos rodales de conservación *ex situ* descritos.

Producción de Plantas

Cada especie puede tener sus particularidades en esta fase. Es preciso conocer la mejor técnica de producción de plantas, de modo de alcanzar plantas vigorosas, sanas y lo más homogéneas posibles, especialmente en lo que se refiere a endurecimiento (acondicionamiento) de las plantas que van a plantación (lignificación de tallo por ejemplo).

Respecto de la homogeneidad, es muy probable que no se encuentre una homogeneidad en tamaño (altura y diámetro de cuello), hojas u otras características morfológicas dado que las plantas tienen distintos orígenes y es esperable una alta variabilidad incluso en la etapa de vivero.

Como se ha señalado, el mejor método de propagación es a partir de semillas, tanto porque entrega una mayor variabilidad genética como un menor costo asociado a la producción. El principal problema se presenta con especies que tienen un ciclo irregular de producción de semillas y ocurre que no se puede obtener semilla de todos los árboles muestreados al mismo tiempo. En este caso las opciones pueden ser almacenar la semilla de los árboles con semilla hasta cuando se hayan podido colectar todos los restantes, ello es válido en especies con semilla no recalcitrante. El proceso podría tomar años dependiendo de los ciclos de añerismo de la especie.

Otra alternativa utilizada es la instalación de ensayos conectados, es decir, en un primer año plantar todas las progenies disponibles, dejando de algunas progenies una provisión de semillas resguardada, y en años sucesivos plantar una sub-población de este primer ensayo más las nuevas progenies que se van incorporando. La sub-población mencionada pasará a constituir los conectores o familias conectoras. Dado que se espera que estos rodales puedan entregar información útil, las plantas que se establezcan cada vez deben tener la misma edad y condiciones de producción, por ese motivo es importante reservar semillas de las progenies producidas con antelación. Con esta técnica se pueden ir comparando los desarrollos de cada progenie en un sitio específico y será preciso evaluar qué es lo más conveniente en relación a costos de colecta de semilla, producción de plantas y contemplar que se requerirá una mayor superficie para el establecimiento del rodal de conservación.

La producción de plantas a través de métodos vegetativos, en especial enraizamiento de estacas, sin duda es un método mucho más complejo y de alto costo. Si bien existen especies que tradicionalmente se reproducen por estos métodos, como son las de los géneros *Salix* y *Populus*, en la mayoría de las especies forestales no se dominan las técnicas o bien existe una alta variabilidad de la respuesta a nivel clonal que impide llegar a una homogeneidad de plantas en cuanto a morfología y calidad del sistema radicular. Se recomienda utilizar esta técnica en caso puntuales donde la alternativa del uso de semillas es inviable.

Dentro de los sistemas de propagación vegetativa se encuentra la injertación, técnica que es principalmente utilizada para el establecimiento de Huertos Semilleros Clonales y cuyo fin principal es adelantar la producción de semillas de material genético seleccionado, además de resguardar ciertos árboles seleccionados o clones. También es una técnica de mayor costo que la propagación por semillas, involucra menor variabilidad genética y puede también presentar complejidades para algunas especies. Esta técnica sirve principalmente para resguardar material genético. El desarrollo de los individuos clonados no representa el desarrollo del árbol seleccionado en terreno por lo cual no serán comparables los individuos (o árboles) entre sí en cuanto a características morfológicas en el huerto clonal o rodal de conservación. Sí puede ser una estructura útil, además de para producir semillas, para la realización de estudios fenológicos o reproductivos de la especie.

Es importante señalar que cualquiera sea la técnica que se utilice para producir las plantas del rodal de conservación, estas deberán estar identificadas clara y permanentemente, de modo de facilitar su establecimiento en terreno y posterior evaluación.

Selección de Sitios

La localización dependerá del objetivo del rodal. En el caso de que este sea preservar los fenotipos y genotipos de determinada especie, la localización debe tener características climáticas y edáficas muy similares a las requeridas por la especie de modo de asegurar su supervivencia y posibilitar la expresión fenotípica en el menor plazo posible.

Por el contrario, si se busca conocer vulnerabilidades o fortalezas de procedencia o poblaciones de la especie, la localización puede estar en zonas extremas de su distribución o bien en condiciones ecológicas restrictivas para su desarrollo. Para cualquiera de los objetivos señalados se debe considerar al menos 3 sitios de establecimiento de estos rodales, los cuales serán lo más homólogos posible en cuanto a procedencias, poblaciones y familias o progenies representadas.

En esto se debe tener presente que es necesario coleccionar material de propagación suficiente para establecer el número de ensayos que se ha determinado.

En cuanto a las características propias del terreno donde se establecerán los rodales de conservación, la topografía es importante. Se debe preferir sitios planos o de pendientes suaves (no mayores a 5%). Esta condición otorga mayor validez a la información que se extraiga del rodal y además facilita las intervenciones para su manejo y mantención. Por otra parte, los costos del establecimiento serán menores en sitios planos.

En general, las poblaciones base o poblaciones de fundadores involucran una gran cantidad de familias y por ende también de árboles representados en cada repetición o bloque. Si existen antecedentes o se visualiza un cambio brusco de tipo de suelo o condición del terreno (quebrada, camino, sector inundable, entre otros) se debe procurar que un mismo bloque o repetición no quede en dos situaciones distintas. En general en los diseños conformados en bloques completos al azar se espera que haya diferencia entre bloques, pero no dentro de un mismo bloque. Muchas veces es muy difícil conseguir que se cumpla esta condición, porque es esperable que la homogeneidad de un terreno no sea superior a $\frac{1}{4}$ de hectárea, sin embargo existen diseños que contemplan esta posibilidad y están desarrollados para un gran número de tratamientos que en este caso serían las progenies o familias que conforman el Rodal de Conservación.

Dentro de los diseños se encuentra el denominado Lattice, que corresponde a un diseño de Bloques Incompletos, el que tiene parcelas experimentales de 3 a 6 árboles. Otro diseño que puede ser utilizado es el STP (Single Tree Plot), un árbol por parcela experimental. Todos los diseños tienen ventajas y desventajas, desde la facilidad para su implementación hasta la mayor o menor validez estadística. El diseño que se elija dependerá del objetivo final del Rodal de Conservación y de la disponibilidad de superficie para el establecimiento del mismo.

Dependiendo de la tolerancia a la sombra que tenga la especie a conservar o si se requiera algún tipo de protección inicial (lateral o superior), podrá elegirse un terreno sin cobertura o bajo algún tipo de dosel. También existen mecanismos que permiten emular o simular las características de protección que requieren las especies, pudiendo establecerse en terrenos abiertos, obviamente el generar estas condiciones aumenta los costos de establecimiento.

Entre los elementos que se utilizan para simular estas condiciones de protección están los denominados *shelter*, que pueden ser de polietileno o algún elemento biodegradable que protege o recubre cada planta individualmente, existen distintos formatos, pero en general tienen forma cilíndrica de diámetro y altura variable. En su interior generan un microclima con insolación y temperatura moderada que le otorga a la planta condiciones más favorables en cuanto a temperatura, humedad e iluminación.

Otro aspecto a considerar en la selección de sitios y que puede ser determinante, es la propiedad del sitio donde se establecerá el rodal de conservación. No todas las instituciones que trabajan con la conservación de los recursos genéticos forestales tienen terrenos propios que aseguren la permanencia en el tiempo de estos rodales, además que los plazos involucrados en el crecimiento de las especies forestales muchas veces traspasan el horizonte de vida de los investigadores. En general, el caso de especies forestales de un reconocido uso económico e idealmente de rotaciones cortas es atractivo para empresas o propietarios particulares y puede establecerse un compromiso mediante un convenio de colaboración por un plazo apropiado.

Lo más recomendable es que los rodales de conservación, incluso para fines de uso o con objetivos de evaluación productiva, se establezcan en sitios del Estado. Los plazos de la conservación y de la investigación van mucho más allá de lo que un particular (empresa o persona) pueda resguardar, aun cuando tenga mucho interés, dado que depende de muchos factores como son cambio de propiedad, cambio de uso del suelo e incluso de las variaciones del mercado.

Se recomienda siempre mantener una copia de un rodal de conservación en terrenos estatales o fiscales aun cuando exista un compromiso concreto de particulares.

Preparación del Terreno

El objetivo más importante en la preparación del suelo es proveer las condiciones óptimas para el desarrollo vigoroso de la raíz de las plantas que conformarán el rodal de conservación, para esto se debe mejorar la penetración del agua y la capacidad de retención de humedad del suelo, además de reducir la competencia de las malezas y vegetación menor.

El suelo debe ser subsolado siempre y cuando la pendiente lo permita, su efecto se prolonga por varios años luego de establecida la plantación. La faena debe realizarse en períodos secos (verano) a una profundidad de 40 cm (Ipinza, 1993).

La descompactación del suelo permitirá un desarrollo homogéneo de la raíz en todas las direcciones favoreciendo con ello la resistencia mecánica del árbol frente a fenómenos ambientales tales como viento o inundaciones. En lugares muy ventosos es conveniente hacer un subsolado en dos sentidos perpendiculares entre sí y establecer la planta en la intersección de ambos, con esta práctica se favorece un desarrollo más rápido del sistema radicular y se asegura la homogeneidad. La mayoría de las especies tienden a aumentar el desarrollo de raíces hacia los sectores menos compactados del sitio por lo cual una mala preparación del suelo puede provocar un sistema radicular desequilibrado.

El subsolado también puede utilizarse para romper la compactación originada por el paso frecuente de equipo pesado o de ganado mayor una vez que el rodal se encuentra establecido por varias temporadas.

Cuando el terreno no permite la utilización de maquinaria para la preparación del suelo, alterar la estructura del suelo para evitar la compactación es fundamental y para esto se pueden utilizar casillas en las que se practica un mullido del suelo, ablandándolo y facilitando su aireación. Estas casillas pueden tener 50 x 50 cm y una profundidad que abarque al menos 2 veces el largo de las raíces de las plantas a establecer. Este sistema de preparación de suelo es más comúnmente utilizada de lo que se cree, dado que es muy corriente que los sitios de establecimiento de rodales de conservación se encuentren en terrenos sinuosos y alejados de caminos públicos o de fácil acceso.

Otro aspecto importante a considerar, que puede afectar la supervivencia del rodal, es la competencia con otras especies arbustivas o herbáceas. En ambos casos se debe efectuar una eliminación en el caso de que la especie a conservar no requiera algún grado de protección inicial. En algunos casos las especies arbustivas pueden cumplir la función de protección inicial actuando como plantas nodriza. En ese caso se deben eliminar aquellas que no cumplirán esa función y mantener solo las que la planta necesita. En el caso de las especies herbáceas, en la mayoría de los casos son una competencia para las raíces de las plantas a conservar especialmente por agua y nutrientes. Comúnmente se hace un control químico en el sector donde se ubicará la planta o bien en la línea de plantación. Con ellos se logrará disminuir la cantidad de herbáceas. Este sistema es el de menor costo, sin embargo existen sistemas más amigables con el medio ambiente, como es el sistema *mulch* que consiste en proteger el suelo alrededor del cuello de la planta (mínimo un diámetro de 50 cm) con una lámina de polietileno, o de textil u otro elemento que no permita el acceso de la luz al suelo que circunda a la planta, con este fin se debe preferir el color negro. La mayor parte de las malezas son intolerantes a la sombra por lo cual posteriormente, una vez que las plantas crezcan y junten sus copas, el número de malezas y cantidad de cada una irá disminuyendo, no haciendo necesario tener un sistema de control de maleza intensivo. Adicionalmente, el *mulch* tiene otras ventajas, tales como evitar la desecación del suelo, el enfriamiento del terreno y el lavado de los elementos aplicados en la fertilización. Para asegurar una mayor duración del *mulch* el material debe tener elementos que protejan de los rayos UV.

El control de malezas pre-plantación se hará con la preparación del suelo, ya sea este con el subsolado o elaboración de casillas. Esta intervención traerá consigo la eliminación de la maleza, pero es probable que queden disponibles semillas. La incorporación del sistema *mulch* debe ser inmediatamente después de plantado el rodal de modo de no dar las condiciones para que las semillas de las malezas germinen y crezcan.

Plantación del Rodal de Conservación

Es muy importante hacer una buena planificación de esta actividad, principalmente para hacer coincidir la mejor época de plantación con el momento en que el tamaño y calidad de las planta

sean los adecuados para asegurar la mayor supervivencia de las plantas y disminuir los costos iniciales de mantención. Cuando la temporada no es la adecuada es probable que haya que suplementar riego o aplicación de elementos para retener el agua u otros como control de insolación, entre otros.

Como se señaló antes, idealmente los rodales de conservación llevan asociado un diseño estadístico que permita obtener información útil y certera. Con esta consideración la plantación debe ser efectuada con sumo cuidado, respetando la distribución de las plantas según procedencia y/o familias o clones, para lo cual todas las plantas deberían estar identificadas.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que el total del rodal debe ser plantado en el menor tiempo posible, de modo de que haya la menor diferencia en el estado de las plantas. Ocurre que las primeras repeticiones, en general, presentan plantas en mejor estado que las plantas de las últimas repeticiones o bloques, las que pueden haber pasado varios días en terreno antes de ser plantadas. En terreno es muy difícil dar a las plantas las condiciones de luz, temperatura y humedad como las que tendrían en condiciones de vivero. La calidad inicial de las plantas debe ser homogénea, caso contrario la supervivencia puede ser baja y las variables de crecimiento de las plantas se pueden ver afectadas debido a factores no atribuibles a características genéticas sino ambientales.

Otro tema bastante común en Chile, es la presencia de conejo o liebres que cortan el tallo de las plantas jóvenes. En la mayor parte de los casos el rodal de conservación se protege con un cerco perimetral constituido por mallas metálicas que impidan el acceso de animales mayores y menores a la nueva plantación. Estos cercos son mantenidos hasta que las plantas han crecido lo suficiente para no ser afectadas por daños producidos por estos animales.

Se ha observado que la protección individual de las plantas con mallas o *shelters* también es un buen mecanismo para evitar el daño por animales menores. Si existe relativa seguridad de que no hay probabilidad de acceso de animales mayores y la especie que conforma el rodal de conservación se ve favorecida con protección a la insolación inicial, este sistema de protección individual es el más conveniente y permitiría soslayar el cerco perimetral.

MANEJO Y MANTENCIÓN DE RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU*

La mantención de los rodales de conservación tiende a asegurar su supervivencia. Particularmente, en aquellos donde interesa extraer información de tipo productiva para la utilización comercial de la especie se agrega favorecer la máxima expresión de crecimiento en el menor plazo posible.

Dentro de las medidas o labores que tienden a mantener la sobrevivencia de un rodal de conservación se encuentran evitar la competencia en las raíces y por la luz, ella provocada principalmente por malezas o rebrotes de especies leñosas originales del sitio o bien invasoras. En general, el control de este tipo de competencia se mantienen hasta que la especie de interés cruza sus copas y suprime a las especies competidoras. El control de estas especies puede hacerse

utilizando herbicidas, manteniendo y reparando el sistema *mulch* que pudiera haberse utilizado al inicio de la plantación o por último extrayendo manualmente las especies competidoras.

Otro aspecto para la asegurar la supervivencia del rodal es la disponibilidad de agua. En este sentido, la plantación en la época ideal, después de la primera lluvia, es la mayor contribución a la supervivencia de las plantas. Sin embargo, la frecuencia e intensidad de lluvias se han tornado cada vez más impredecible, razón por la que es importante considerar suplementar uno o más riegos en la época estival e incluso la utilización de algún tipo de gel en las raíces al momento de plantar. Esto es especialmente importante si se retrasa la época de plantación y, en el caso de uso de gel, es fundamental su activación con agua en el momento de la plantación.

En la medida que los árboles del rodal crecen, se genera competencia entre ellos y muchos dejan de crecer, se suprimen y en algunos casos mueren. En este sentido debe considerarse el raleo del rodal de modo de dar espacio para que los árboles se desarrollen, obtengan la luz suficiente y no se estresen quedando vulnerables a plagas o enfermedades. En este caso, los diseños que contemplan más de un árbol, de la misma progenie, por parcela y/o por bloque o repetición, son bastante útiles porque en el transcurso de la vida del rodal se puede eliminar uno o más de ellos. En la medida que el rodal aún está entregando información a partir de sus mediciones, el raleo debería ser sistemático y no dirigido, de modo de no alterar la relación de crecimiento entre los árboles o entre progenies o entre procedencias. El momento en que se produce este climax en la competencia entre los árboles del rodal es relativo y dependerá de la especie y su rotación. Si es necesario hacer un tipo de raleo más dirigido, idealmente debe realizarse una vez traspasada la mitad de la rotación de la especie, edad hasta donde las evaluaciones pueden entregar información que permita la toma de decisiones para seleccionar progenies, procedencias e incluso árboles individuales para fines productivos, dentro de un programa de mejoramiento genético, o bien de caracterización o capacidad de adaptabilidad para otros programas de investigación o de conservación propiamente tal.

En el caso de utilizar otro tipo de diseño del rodal, por ejemplo aquellos en que la parcela dentro del bloque o repetición está conformada por un árbol, es más difícil eliminar ejemplares, dado que ello implicaría eliminar una repetición de la familia del ensayo. Una buena medida sería que el espaciamiento inicial de los árboles sea mayor a lo habitual o del que se utilizaría en una plantación corriente. La idea es evitar el raleo intermedio o bien postergarlo hasta después de producida la mitad de la rotación, sin que ello haya provocado una competencia seria entre los árboles del rodal. Esto último exige contemplar mayor superficie para el rodal y un mayor conocimiento del desarrollo de la especie para poder definir adecuadamente este espaciamiento inicial.

En general los aspectos señalados, competencia y disponibilidad de agua, son fundamentales para mantener los rodales de conservación. Cuando la idea es reflejar en el menor tiempo el potencial productivo de una especie también es preciso considerar otras labores dentro de la mantención del rodal. Dentro de estas labores se encuentran el grado de compactación del suelo y el estado nutricional de las plantas.

También muchos autores señalan el fuego como una amenaza a la supervivencia de los rodales

de conservación *ex situ*. En el caso chileno más del 90% de los incendios que se producen en los bosques nativos o plantados corresponden a incendios intencionales o por negligencia. No es fácil determinar donde pueden ocurrir estas catástrofes, pero sí existen épocas de alta susceptibilidad que son las épocas de verano cuando hay un aumento notable de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones que en la mayoría del territorio pueden ser nulas en esa época. Se recomienda que los rodales estén circundados por cortafuegos, que corresponden a fajas desprovistas de vegetación que impiden el avance de fuego aledaño. Estas fajas pueden tener un ancho variable, pero de preferencia deben tener a lo menos 5 m. Cabe señalar que estas fajas deben ser mantenidas limpias anualmente dado que son fácilmente colonizadas por todo tipo de vegetación.

Dentro de las labores de mantención que son utilizadas preferentemente para promover el crecimiento rápido de los árboles y su expresión fenotípica en el menor plazo posible están la descompactación y la fertilización.

La simple observación del estado externo del árbol, puede dar idea del estado real de este, muchos de los árboles sometidos a altos grados de compactación poseen una disminución considerable de hojas, raquitismo foliar, cuellos y raíces fácilmente observables y eventualmente condiciones sanitarias pobres (Chueca, 1997).

Otros indicadores de la presencia de capas potencialmente limitantes del crecimiento de las raíces por compactación son la resistencia determinada con el penetrómetro y la densidad aparente determinada en muestras de un volumen conocido de suelo no alterado. Para muchos cultivos existen tablas que relacionan los valores medidos y el grado de compactación del suelo. En el caso de las arboledas no existe demasiada información pero sí se ha detectado que solo en los primeros años presentan un crecimiento sostenido y luego este comienza a decaer notoriamente, lo que no ocurre en árboles donde el suelo no está compactado (Chueca, 1997). En el caso de los rodales de conservación, es muy probable que no se desarrollen habitualmente actividades que provoquen la compactación del suelo, dado que pueden estar aislados o excluidos del pastoreo del uso de algún tipo de maquinaria. La compactación del suelo puede corregirse con aradura o subsolado del suelo. En este sentido, si existen antecedentes de compactación del suelo deberá considerarse al momento de la plantación del rodal un espaciamiento entre plantas que permita la introducción de algún tipo de maquinaria o herramienta para este fin.

Aparte de la fertilización inicial con nitrógeno, se deben tomar muestras de suelo y foliares para detectar deficiencias nutritivas y realizar posteriores aplicaciones correctivas con aquellos nutrientes que puedan suplir las carencias detectadas (Kirkman, 1994).

En el caso de la fertilización de las plantas, la aproximación a una dosis a aplicar para los distintos elementos puede determinarse a través de un análisis foliar, pero aun así, es necesario efectuar estudios que determinen la época y dosis de fertilizantes más apropiadas. En general, la aplicación de fertilizantes para el crecimiento vegetativo debe ser al inicio de este periodo en el árbol de modo de optimizar su captación por parte de un sistema radicular que estará totalmente activo, y los fertilizantes requeridos para la floración se recomienda aplicarlos en el momento

inmediatamente anterior a la iniciación de las yemas sexuales o florales. En general la fertilización no es una receta única y se debe tener en cuenta que la fertilización inicial necesita previamente un acabado control de la competencia, por cuanto la aplicación de fertilizante no solo favorecerá a la especie objeto de conservación, sino también a las acompañantes no deseadas.

EL PROBLEMA DE LA MANTENCIÓN Y REGENERACIÓN DE LOS RODALES DE CONSERVACIÓN *EX SITU*

Hasta Cuándo Mantener los Rodales

El tiempo que se debe mantener el rodal está dado por los objetivos de este, sin embargo en la práctica siempre existe la intención del investigador o de la institución de investigación ligada a los recursos genéticos forestales de mantenerlo más allá de cumplidos sus objetivos. Para los genetistas es muy difícil decidir eliminar un ensayo, incluso, se ha visto, que es difícil decidir la eliminación de un árbol del ensayo aun cuando sea para evaluar características que serán útiles para el programa de mejoramiento genético que llevan a cabo.

Se han desarrollado métodos de evaluación no destructivos, en especial para propiedades de la madera, dado que existe la convicción que todos los rasgos de la especie en algún momento pueden ser útiles y se tiende a mantener los ensayos. Las instituciones se sienten comprometidas a que la información esté disponibles aunque ya no sea de interés para ningún usuario. En el caso de Chile, INFOR aún mantiene ensayos de procedencias de especies introducidas por más de 50 años y en predios particulares. Muchos propietarios particulares se sienten muy comprometidos con mantener los ensayos, pero muchos también han vendido o traspasado sus terrenos a terceros o a sus descendientes. Cuando la institución o el investigador enfrenta con tiempo esta situación, selecciona los mejores árboles del ensayo o rodal y trata de movilizarlos a través de injertos o colecta de semillas para nuevamente establecerlos como testigos (o controles) en nuevos ensayos o bien almacenarlos en bancos de germoplasma de semilla o *in vitro* o en jardín clonal. A este respecto, rara vez existen recursos asignados para estos fines por lo cual mucho material genético que se estima valioso no ha podido ser recolectado.

Frente al escenario actual del cambio climático, la incertidumbre de sus consecuencias y en definitiva la dificultad de poder predecir cuál material genético que se encuentra en rodales de conservación tiene prioridad, se ha dado la mayor importancia a las poblaciones bases donde se almacena la mayor variabilidad genética. Con la experiencia actual después de 30 años trabajando con poblaciones bases, siempre debe haber una copia en terrenos estatales que aseguren su mantención en el largo plazo. Con la existencia de estas poblaciones se puede iniciar nuevamente el ciclo, incluso enfocarlo en características de la especie o de los árboles que no habían sido consideradas anteriormente y que son demandadas por los usuarios públicos o privados o por el mercado.

Recursos para Mantenerlos

La experiencia chilena señala que es de interés de muchos mantener resguardado el material genético, ya sea en rodales de conservación o en otras estructuras como bancos de semillas o de germoplasma, sin embargo los recursos asignados a ello son muy escasos.

Si bien existen concursos para fondos estatales, los proyectos de conservación de nuevas especies o bien de mantención de colecciones existentes en cualquiera de los formatos señalados, no son atractivos para estos fondos que por lo general buscan productos innovadores de impacto en el mercado.

Si bien existen fondos para “bienes públicos”, los recursos genéticos forestales no son considerados porque se estima que deben ser de interés de algún privado para desarrollo económico o bien pueden ser escalables y apropiables por algún privado. Esta percepción se debe principalmente a que Chile tiene un gran desarrollo forestal y la industria forestal es la segunda que más aporta al PIB chileno, sin embargo este tipo de industria está altamente concentrada en 3 grandes empresas y en 2 especies forestales exóticas tradicionales, existiendo un sinnúmero de pequeñas y medianas empresas y productores que, si bien también dependen en alguna medida de la especies forestales tradicionales, están interesados en desarrollar nuevos productos madereros y no madereros de las especies nativas tradicionales y no tradicionales.

Actualmente se hace uso de especies nativas en su estado silvestre y no existe una política de conservación de las mismas. En algunos casos los procesos de extracción de ellas se hace en forma destructiva, no controlada, lo que conlleva pérdidas de fenotipos y genotipos o alteraciones de la variabilidad de la descendencia.

Por ejemplo, el maqui (*Aristotelia chilensis*) es un árbol pequeño cuyo principal producto es su fruto con un alto contenido de antioxidantes. Su extracción se hace en bosques naturales donde es una especie acompañante, sin embargo la obtención del fruto se hace a través de la extracción de ramas prácticamente completas dado que su fruto es pequeño y por lo tanto la sustracción de cada fruto es muy lenta y compleja. Esta forma de extracción está alterando la producción de flores anualmente por lo cual la variabilidad de las progenies también estaría disminuyendo. A este respecto, se han solicitado recursos para establecer el cultivo de la especie, también rodales de conservación y difusión de técnicas de cosechas de frutos sustentables. Dado que esta especie tiene un mercado para el fruto, los fondos para proyectos de investigación señalan que los privados deberían financiar proyectos que tiendan al resguardo de la variabilidad de la especie y no consideran que este sea un bien público. Por su parte los privados ven que esta es una labor del Estado y difícilmente aportan recursos para ello.

Donde se ve un mayor aporte de privados para el establecimiento y mantención de rodales de conservación es principalmente en las especies madereras de rápido crecimiento que sustentan la industria forestal chilena (pino radiata y eucaliptos) y en algunas especies nativas de rotaciones medias pero de maderas de alto valor (*Nothofagus spp*). Los aportes de privados corresponden principalmente a terrenos para el establecimiento de ensayos y eventualmente para algunas

faenas de plantación o mantención de estas unidades. Todas las faenas restantes las asume la institución pública través de nuevos proyectos que involucran escalamiento de proyectos anteriores.

Cabe señalar que los proyectos que son financiados con fondos públicos concursables por lo general duran 3 años y rara vez se aprueban consecutivamente dos proyectos en la misma línea de investigación, por lo cual se puede contar con recursos para hasta 6 años aproximadamente para mantener una unidad de conservación o rodal de conservación. Posterior a esto son muy pocas las actividades que es posible realizar en todos los rodales de conservación, de modo que frecuentemente los propietarios de los terrenos donde se instalan estas unidades las perciben como abandonadas por parte de la institución que las estableció. Actualmente, INFOR cuenta con alrededor de 100 rodales de conservación dentro de los cuales principalmente hay ensayos de progenies y poblaciones bases, además de huertos semilleros clonales y de plantas.

Permanentemente se buscan alternativas que faciliten la obtención de fondos a través de proyectos y un mejoramiento en la relación con propietarios particulares para conseguir su apoyo para crear nuevos rodales de conservación que sean de su interés y para apoyar iniciativas de investigación que propendan a desarrollar nuevas líneas. Se está trabajando en buscar sistemas asociativos, que reúnan a los productores y propietarios forestales, especialmente a los pequeños, para transferir y difundir resultados de la investigación de la institución así como también para levantar nuevos temas que mejoren su competitividad en el mercado actual. Si se logra crear un sistema cooperativo agrupado es muy probable que se pueda lograr financiamiento para un mayor número de proyectos, detectar necesidades reales de investigación aplicada y conseguir un mayor compromiso de este segmento de productores para asegurar la mantención de ensayos y rodales de conservación de un mayor número de especies.

Idealmente la mantención de los rodales de conservación debiera hacerse con recursos del Estado, quien principalmente ha financiado su establecimiento a través de proyectos de investigación y desarrollo. La priorización y selección de qué unidades mantener y con qué frecuencia debería responder a lineamientos estratégicos definidos por el organismo de donde dependen las instituciones de investigación. En el caso chileno ello corresponde al Ministerio de Agricultura (MINAGRI).

Cómo Regenerarlos o Rejuvenecerlos

Como se señaló anteriormente no son muchas las oportunidades para regenerar o rejuvenecer los rodales de conservación. Una mínima parte de los genotipos son movilizados a través de injertos o micropropagación. Adicionalmente, a árboles seleccionados, principalmente por características de crecimiento, se les colecta semilla y esta es resguardada en un banco de germoplasma que posee INFOR. A partir de los 10 a 15 mejores árboles de los rodales de conservación se colectan lotes para la venta de semilla a viveristas forestales. Eventualmente se hacen colecciones de progenies de algunas especies de interés, las que son pagadas, para empresas forestales grandes, medianas o pequeñas y ellas forman sus propios rodales de conservación o poblaciones base. En general esta última experiencia ha sido con especies forestales de rápido crecimiento, pero

no con especies nativas que a pesar de ser muy valiosas comercialmente presentan rotaciones medias o largas y por este motivo no concitan el interés de las empresas.

CONCLUSIONES

Es importante que los rodales de conservación sean multipropósito, de modo de poder investigar y generar las condiciones que bajen la vulnerabilidad de pérdida de las especies

Existen muchas especies nativas vulnerables al cambio climático y al crecimiento demográfico. Actualmente, a pesar de tener un potencial productivo interesante, no son utilizadas ni tienen un programa de conservación. El resguardo *ex situ* de su variabilidad genética a través de rodales de conservación es un mecanismo apropiado para su protección.

Conservar la variabilidad genética de los recursos genéticos forestales brinda la posibilidad de destinar recursos a su mejoramiento y transformación en opciones productivas sustentables. En este sentido, la combinación de herramientas tradicionales y vanguardistas de mejoramiento genético, sumada a la adecuada administración de su variabilidad, constituyen los principales factores que posibilitan desarrollar esta opción.

Particularmente, en el caso de raulí los esfuerzos realizados han permitido rescatar su potencial productivo, facilitando de esta forma su conservación y uso sostenible, y contribuyendo además a diversificar la oferta productiva del sector forestal nacional.

La implementación de programas de mejoramiento genético conlleva desarrollar y aplicar tecnologías nuevas y complementarias, que mejoran en calidad, eficiencia, inocuidad y sustentabilidad la producción de plantas, el establecimiento y mantención de plantaciones y la aplicación de elementos de control de plagas, entre otros.

Finalmente, con el advenimiento de las técnicas de restauración de los bosques nativos y teniendo presente consideraciones genéticas, la relevancia y el diseño de los rodales de conservación cobra un nuevo interés para salvaguardar el potencial de adaptación de las especies nativas.

REFERENCIAS

Chueca, J., 1997. Problemática asociada al arbolado existente en los parques urbanos y periurbanos de nueva creación. Congreso Internacional de IFPRA en Madrid - Octubre de 1997

Eriksson, G., 2000. Red Europea de Conservación de Recursos Genéticos de Frondosas Nobles. Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de Serie N° 2-2000. p. 233-251.

Ipinza, R., 1993. Consideraciones básicas para la instalación de Huertos Semilleros clonales de eucaliptos. CMG/UACH/ CONAF/Empresas Forestales. Circular N° 264. 14 p.

Kirkman, P., 1994. Short Course on Tree Breeding Techniques. 2 - 20 Mayo 1994. Forestek, Nelspruit. Division of Forest Science and Technology. Volumen I. 22 p.

Vergara, R., 2000. Regiones de procedencias de *Nothofagus alpina* y *N. Obliqua*. En: Ipinza, R.; Gutiérrez, B. y Emhart, V. Eds. Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble. Universidad Austral/Instituto Forestal. Pp 121-132.

Capítulo 13

CONSERVACIÓN *EX SITU* EN EL JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL DE VIÑA DEL MAR. CHILE

Patricio Novoa Quezada¹

Braulio Gutiérrez Caro²

INTRODUCCIÓN

Desde hace años se ha hecho evidente el reconocimiento y valoración de la flora silvestre como fuente de diversos productos de utilidad para el hombre, así como de su valor ornamental y su valor ecológico como indicador y elemento restaurador de situaciones ambientales degradadas.

Consecuentemente, la conservación de la flora silvestre se ha convertido en un elemento fundamental en el marco de la conservación de la biodiversidad, tema que ha ganado progresiva relevancia en la sociedad actual (Iriondo, 2001)

Junto con los bancos de germoplasma, las colecciones de plantas también constituyen uno de los métodos de conservación *ex situ* de recursos fitogenéticos. En el caso forestal, tales colecciones incluyen a los rodales de conservación *ex situ*, los arboretos y jardines botánicos.

De acuerdo con Lascuráin *et al.* (2009), un jardín botánico es una institución que mantiene colecciones documentadas de plantas vivas con el propósito de realizar investigación científica, conservación, exhibición y educación. Algunas de las características y condiciones propias de un jardín botánico son que las plantas estén adecuadamente identificadas; que el jardín mantenga comunicación con otros jardines botánicos, organizaciones y público en general; que esté abierto al público y que asuma la responsabilidad y compromiso a largo plazo para el mantenimiento de las colecciones de plantas.

Como se indica en el Capítulo 1, en Chile se individualizan del orden de 10 jardines botánicos y arboretos que en su conjunto totalizan una superficie aproximada de 560 ha. De ellos el más antiguo es el Jardín Botánico Nacional de Viña del Mar que, con una superficie de más de 400 ha y 31 colecciones de plantas de distinta naturaleza, es la principal iniciativa de este tipo en el país.

Atendiendo al valor de los jardines botánicos como unidades de apoyo a la conservación de recursos genéticos forestales, en este capítulo se entrega una visión de la historia y de las colecciones representadas en el Jardín Botánico Nacional de Viña del Mar, la que se complementa con antecedentes adicionales que ilustran respecto del uso de jardines botánicos en la práctica de la conservación *ex situ*.

¹ Ingeniero Forestal. Dpto. Horticultura, Jardín Botánico Nacional. pnova@jardin-botanico.cl

² Ingeniero Forestal. Instituto Forestal sede Biobío. bgutierr@infor.cl

CONSERVACION *EX SITU* EN JARDINES BOTÁNICOS

Los jardines botánicos, como lugar de cultivo de plantas con una finalidad distinta de la ornamental, son tan antiguos como el interés del hombre por conocer las plantas y sus usos. Por lo mismo, los jardines botánicos pueden considerarse las primeras instituciones implicadas en la conservación *ex situ* de recursos vegetales.

De acuerdo con antecedentes aportados por Iriondo (2001), el establecimiento de colecciones de diferentes tipos de plantas se remonta a la antigüedad, estando en muchos casos vinculado a prácticas religiosas. Posteriormente, el desarrollo de los jardines botánicos en su concepción actual fue consecuencia de las grandes potencias coloniales, que establecieron numerosos jardines en sus posesiones de ultramar y en sus propios países como método de introducción de plantas y cultivos exóticos. Según Bacchetta *et al.* (2008) una interpretación más restrictiva del concepto de jardín botánico establece sus orígenes en la Europa renacentista y siempre al amparo de las universidades, particularmente de las facultades de medicina, para explicar a sus alumnos qué plantas eran medicinales y cuáles eran sus usos. En este contexto, los jardines botánicos más antiguos son los de Pisa, Florencia y Boloña en Italia, el de Valencia en España, el de Leiden en los Países Bajos, el de Montpellier en Francia y el de Heidelberg en Alemania, los que surgieron entre 1544 y 1597.

Desde entonces, los jardines botánicos han ido cambiando su orientación y su finalidad. Así, durante, los siglos XVIII y XIX se caracterizan por el cultivo de las plantas procedentes de expediciones científicas a los lugares más remotos. En los jardines botánicos se cultivaban las semillas colectadas por los expedicionarios, mientras que las plantas vivas que surgen de ellas sirven para describir infinidad de especies nuevas. Linneo (Jardín Botánico de Uppsala), Lamarck (Jardín del Rey de París) o Cavanilles (Real Jardín Botánico de Madrid) son algunos protagonistas de esta relación entre los jardines botánicos y la ampliación del conocimiento de las plantas (Bacchetta *et al.*, 2008).

Hacia fines del siglo XX, los jardines botánicos, son centros con gran experiencia en el manejo de semillas y con personal capacitado para el cultivo de plantas, resultando por ende instituciones idóneas para desarrollar y apoyar estrategias de conservación *ex situ* de las especies amenazadas.

Es interesante hacer notar que el paradigma de los jardines botánicos ha ido cambiado con el tiempo, originalmente se focalizaron en la colecta de plantas con fines medicinales, ornamentales, productivos, ingreso de nuevas especies de uso agrícola, y otros, en una modalidad más bien extractiva y sin tener en consideración principios de conservación. Hoy en día dicho paradigma ha cambiado, de modo que la conservación *ex situ* de especies amenazadas ha pasado a ser una misión preponderante de los actuales jardines botánicos.

En la actualidad existen cerca de 2.000 jardines botánicos por todo el mundo, de los cuales más de 700 desarrollan actividades de conservación. Los jardines botánicos cultivan alrededor de 100.000 especies diferentes, que representan cerca de un tercio de las plantas vasculares conocidas, y que totalizan más de 4 millones de plantas vivas representadas en colecciones. De

las especies representadas en jardines botánicos, aproximadamente un 10% se encuentra en peligro de extinción, lo que deja de manifiesto la importante contribución de la red de jardines botánicos a la conservación de especies amenazadas (Iriondo, 2001; Bacchetta *et al.*, 2008).

A pesar de lo anterior, la conservación en jardines botánicos presenta una serie de problemas derivados de su irregular distribución en el mundo y del escaso soporte financiero que reciben para su mantenimiento. Así, por ejemplo, existen numerosos jardines botánicos en Europa y muy escasos en África y América del Sur. En los países tropicales, donde se presenta la mayor biodiversidad, es donde menos jardines botánicos existen. Por ello, en el conjunto de los jardines botánicos la flora de los países tropicales y subtropicales se encuentra peor representada que la de los países de climas templados. A ello hay que unir el hecho de que la variabilidad intraespecífica mantenida suele ser baja, frecuentemente cada accesión está sólo representada por uno o unos pocos ejemplares. Por ello, se reconoce la necesidad de maximizar, en la medida de lo posible, la diversidad genética de las accesiones de los jardines botánicos (Iriondo, 2001).

Por otra parte, la mera exhibición de individuos de especies en riesgo de extinción no constituye *per se* una acción de conservación *ex situ*. Lascuráin *et al.* (2009) agregan que para que se configure la acción de conservación, debe existir una vinculación de la colección con estudios interdisciplinarios y con la gestión para su protección y conservación. Por lo mismo, los programas de conservación *ex situ* de los jardines botánicos deben contemplar una perspectiva regional y realizar un análisis de la representatividad genética, situación fitosanitaria y prácticas hortícolas de al menos las colecciones o individuos que pueden incorporarse a un programa científico de recuperación de especies (estudios genéticos y ecológicos, y si es el caso, el manejo y conocimiento tradicional de la especie) con fines de reintroducción y restauración.

En ocasiones se ha documentado la desaparición en la naturaleza de especies de las cuales se mantienen uno o más ejemplares en algún jardín botánico, como es el caso clásico de la especie chilena, endémica de Isla de Pascua, *Sophora toromiro* (y otras como *Lysimachia minoricensis* de las Islas Baleares; *Encephalartos woodii* de Sudáfrica). En tales ocasiones se han hecho intentos por devolver a la naturaleza plantas obtenidas a partir de la propagación de los ejemplares conservados, pero generalmente los esfuerzos han sido infructuosos.

HISTORIA DEL JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL (JBN)

En 1951, el botánico norteamericano Teodoro Godspeed había sido encargado por el Gobierno de Chile para ubicar un lugar adecuado donde establecer un Jardín Botánico, por cuanto Chile no poseía uno, el último había terminado en 1945 cuando murió su benefactor, Don Federico Philippi. En ese mismo año, 1951, el parque El Salitre de Viña del Mar, creado por don Pascual Baburizza en 1918, fue traspasado al fisco. Este parque, a juicio de Godspeed, cumplía con los requisitos necesarios para construir un Jardín Botánico, de modo que lo propuso como tal, diseñó la estructura del Jardín y presentó un plan de trabajo y de organización general, dando lugar así a la creación del actual Jardín Botánico Nacional. De esta forma, la donación al Fisco del parque El Salitre en 1951, coincide con su instauración como Jardín Botánico.

En 1954 la propiedad del predio es traspasada al Consejo de Fomento e Investigación Agropecuaria, cuyo sucesor legal es el actual Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), institución propietaria del predio hasta el presente.

Durante la primera década se crean las primeras colecciones botánicas con participación de botánicos, asesorías de expertos internacionales e intercambio con cerca de 300 instituciones afines. A fines de la década de 1950, el botánico Carlos Muñoz Pizarro, en compañía del administrador del Jardín Botánico Patricio Montaldo, propaga *Sophora toromiro* a partir de semillas, las cuales habían sido colectadas en 1953 por Efraín Volovsky del último árbol que crecía en las laderas interiores del volcán Rano-Kau, posteriormente, en 1962, la especie se extinguió en la isla de Pascua. Entre 1992 y 2004 se obtuvo 81 individuos, 51 de ellos fueron enviados a la isla entre 1995 y 1999, la mayoría de los cuales murió por causas ecológicas y de manejo, otros fueron donados a universidades e instituciones que hacen conservación *ex situ*, y 7 permanecieron en el Jardín Botánico. De estos siete ejemplares, en el Jardín Botánico se produjeron 156 nuevos individuos de tercera generación (F3), una parte de los cuales fue nuevamente donada a instituciones, y un ejemplar fue entregado a la antropóloga pascuense Sonia Haoa, de este ejemplar ya se han obtenido decenas de plantas nuevas que crecen normalmente en la Isla de Pascua.

Hacia fines de los años 70 el Ministerio de Agricultura rebajó en forma considerable los recursos y el presupuesto destinado al JBN, perdiéndose gran parte de las colecciones y deteniéndose los intercambios internacionales. En 1983 INDAP entrega en comodato el JBN a la Corporación Nacional Forestal (CONAF), reiniciándose el trabajo de colecciones e intercambios, creándose un parque de fauna de 150 ha y alcanzándose un número de visitas anual de casi 100.000 personas.

El año 1991 se compra la colección de cactáceas chilenas del Sr. Walter Jung (Maipú), con la cual se inicia el *cactarium* que en la actualidad posee un total de 678 individuos de 90 especies de cactus y plantas crasas nativas. En 1992 se crea la Fundación Jardín Botánico Nacional, con la finalidad de desligarlo de la administración de las instituciones del Ministerio de Agricultura, darle mayor autonomía y operatividad, y ampliar las formas de financiamiento, estado jurídico que se mantiene hasta la actualidad. En 1995 se inicia la colección de plantas del archipiélago de Juan Fernández, actividad que recibe importante apoyo de fondos del proyecto Holanda-CONAF de Protección y Desarrollo del Archipiélago, a partir de 1998. Se conservan 600 individuos de 53 especies endémicas de las islas, las cuales se han visto reducidas por daño de heladas ocurridas entre 2007 y 2010.

COLECCIONES DE PLANTAS REPRESENTADAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL

De acuerdo a las definiciones del *Botanical Garden Conservation International* (BGCI), organización a la cual está adscrito el JBN, una colección de plantas vivas es “un grupo de plantas que se cultiva para con un propósito definido”. Tal colección pudiera ser exhibida por sí misma o como parte de una colección general del jardín. En esos términos, las colecciones de plantas en los jardines botánicos se pueden clasificar en:

- **Plantaciones ornamentales:** Tales como plantaciones temáticas o plantas localizadas en envases individuales.
- **Elementos estructurales o arquitecturales:** Plantas del jardín tales como cercas naturales, árboles para topiarios, plantaciones de diseño, rompe vientos, o árboles utilizados para la sombra.
- **Colecciones temáticas:** Aquellas usadas con propósitos educativos y científicos, o para la exhibición al público. Las colecciones temáticas pueden ser arregladas taxonómicamente, una colección de una familia en particular, género, algunos o varios géneros estrechamente vinculados, especies y aún colecciones de un cultivar de una especie. En particular una colección temática puede ser plantas que comparten un origen geográfico o ecológico (Mediterráneo, del desierto, zona alpina), plantas que comparten un uso específico (medicinal, aromático, textil, o yerbas culinarias), o basados en un hábito compartido (arboretum, área de cultivo, o colección de plantas suculentas).
- **Colecciones para conservación:** Aquellas que están dirigidas a conservar y mantener poblaciones de especies raras y amenazadas, generalmente mantenidas *ex situ*, con mucha importancia para programa de recuperación de especies y/o para proveer colecciones de respaldo de plantas silvestres protegidas a largo plazo. Las mejores colecciones de conservación buscan salvaguardar grupos de plantas representativas de una variación genética, o de un taxón que está siendo conservado. Algunas colecciones de conservación pudieran estar cultivadas como una colección temática (por ejemplo, plantas medicinales, árboles frutales, una familia, género o grupos genéricos, o plantas listadas en el Libro Rojo de datos de alerta, plantas amenazadas por autoridades nacionales e internacionales). Estas colecciones pueden también ser usadas con propósitos educativos, de investigación, o de exhibición pública.

Las colecciones temáticas y de conservación presentes en un jardín botánico, deben ser mantenidas dentro del contexto de las metas y objetivos del jardín y requieren de una normativa para su administración.

La mantención de las colecciones de conservación en los jardines botánicos es una actividad que apoya a la implementación del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), especialmente en lo que respecta a su artículo N° 9, relacionado con la Conservación *Ex Situ*.

En términos de las definiciones del BGCI, el JBN cuenta con un total de 31 colecciones de plantas (Cuadro N° 1).

A continuación son descritas las principales características de cada colección.

Colección 1. Arboreto Bernardo Becker

Colección temática con 70 especies de árboles, arbustos y subarbustos propios del bosque esclerófilo y otras formaciones de la zona central del país.

Colección 2. *Cactarium*

Colección temática integrada por especies chilenas de las familias *Cactaceae* y *Bromeliaceae*. Se conservan 680 individuos de 90 especies de cactus y especies crasas, nativas y endémicas, que habitan Chile desde el extremo norte hasta la región del Maule.

Cuadro N° 1
COLECCIONES DE PLANTAS DEL JARDÍN BOTÁNICO NACIONAL

N°	Colecciones	Ubicación	Informada	Año Creación
1	Arboretum Bernardo Becker	Camino al vivero	si	2003
2	<i>Cactarium</i>	Sector estación agrometeorológica	si	1992
3	Colección de bosque valdiviano	Costado vivero	si	1996
4	Colección de Cactus exóticos y plantas crasas en macetero	Invernadero en vivero	no	2008
5	Colección de monumentos naturales	Prado Los Tilos	si	2007
6	Colección de palma chonta	Camino a laguna Linneo	si	2007
7	Colección de plantas culturales y medicinales	Costado de <i>Cactarium</i>	en parte	2003
8	Colección de plantas de la Isla de Pascua	Estero Olivar frente a <i>Cactarium</i>	si	1956
9	Colección de plantas del archipiélago de Juan Fernández	Sector laguna Linneo	si	1995
10	Colección de plantas de Paposo	Interior vivero	si	2004
11	Colección de rosas	Interior Jardín Francés	no	2008
12	Colección de Cerezo en flor japonés (<i>Prunus semulata</i>)	Camino a laguna Linneo	?	2010
13	Colección de <i>Tarasa umbellata</i>	Estero Olivar camino al vivero	si	2008
14	Colección de <i>Mirtáceas</i>	Estero Olivar camino al vivero	si	2008
15	<i>Geophytarium</i>	Lado oficinas principales JBN	si	2006
16	Invernadero Otto Zoëllner	Interior Jardín Francés	en parte	2012
17	Jardín de Cactus y Agaves mexicanos	Orilla estero Olivar en prados centrales	no	1988
18	Jardín de Euphorbias y plantas crasas	Interior vivero	no	1997
19	Jardín de <i>Fuchsias</i>	Costado Sur edificio oficinas	no	1993
20	Jardín de Juníperos	Costado Este edificio oficinas	no	2006
21	Jardín de leguminosas y <i>Zigophyllaceas</i>	Interior vivero	si	1997
22	Jardín de plantas acuáticas	Laguna prado central	en parte	2006
23	Jardín de plantas de clima mediterráneo	Islote en laguna prado central	en parte	2009
24	Jardín de plantas epífitas y helechos	En <i>Ficus macrophylla</i> , costado of. principales	no	2006
25	Jardín experimental de arte topiario	Interior vivero	no	1997
26	Jardín francés	Sector ingreso al JBN	no	1920
27	Jardín plantas de Sudáfrica	Costado oficinas principales	no	2012
28	<i>Palmetarium</i>	Entre estero Olivar y prado Los Robles	no	1920
29	Jardín Inglés (parque antiguo)	Prados centrales, Hundido y Los Tilos	no	1918
30	Plantación de <i>Jubaea chilensis</i>	Camino a laguna Linneo	no	1960
31	Sombreadero enredaderas	Interior vivero	no	1998

Colección 3. Plantas del Bosque Valdiviano

Colección temática de plantas del bosque Valdiviano y de la zona central, pero adaptadas a condiciones de exceso de humedad. Construida en una ladera aledaña al vivero que posee el afloramiento de una vertiente permanente. La superficie aproximada de esta colección es de 20.000 m² y posee 306 individuos de 86 especies.

Colección 4. Cactus Exóticos y Plantas Crasas en Macetero

Colección ornamental de cactus exóticos y plantas crasas de Argentina, Colombia, Brasil, Islas Canarias, México, Sudáfrica, norte de África y Yemen. Posee 188 individuos de la familia *Cactácea* y de otras 12 familias.

Colección 5. Monumentos Naturales

Colección de conservación de las especies de plantas declaradas Monumento Natural, mediante tres decretos presidenciales y ministeriales. A la fecha la colección posee cinco de estas:

Fitzroya cupressoides (Mol.) Johnst. (Alerce, Lahuén). Decreto 490, del 1º octubre 1976.

Araucaria araucana (Mol.) K. Koch. (Araucaria o Pehuén). Decreto 43, del 3 de abril de 1990.

Beilschmiedia berteriana (Gay) Kosterm. (Belloto del Sur). Decreto 13, del 11 de marzo de 1995.

Beilschmiedia miersii (Gay) Kosterm. (Belloto del Norte). Decreto 13, del 11 de marzo de 1995.

Pitavia punctata Mol. (Pitao). Decreto 13, del 11 de marzo de 1995.

Colección 6. Palma Chonta

Colección de conservación de palma chonta (*Juania australis* (Mart.) Drude ex Hook. f.), especie endémica de la Isla Robinson Crusoe del Archipiélago de Juan Fernández. Esta especie estuvo al borde de la extinción a fines del siglo XIX debido a la intensa explotación que sufrió para extraer la bella madera que producen los individuos adultos. Categoría de conservación: EN, DS 23 MINSEGPRES 2009.

Colección 7. Plantas Culturales y Medicinales

Colección temática formada por 80 especies de uso medicinal y cultural, 59% de ellas nativas y el 41% restante originarias de Europa y Asia.

Colección 8. Plantas de la Isla de Pascua

Colección temática donde se conservan cinco especies vegetales de la isla de Pascua, entre ellas: 19 Toromiro (*Sophora toromiro* (Phil.) Skottsb., especie extinta en su hábitat natural, e individuos de *Rytidosperma paschalis* (Poaceae), del helecho nativo *Phymatosorus scolopendria* (Burm. f.) Pico Serm., e individuos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott (*Aráceas*) y *Cordyline terminalis* (L.) Kunt (*Asparagaceae*).

Colección 9. Plantas del Archipiélago de Juan Fernández

Colección de conservación construida entre 1998 y 2001, única en su tipo en el nivel mundial. Hasta el año 2007 se conservaban 53 especies endémicas de las islas (de un total de 132 especies endémicas del archipiélago). Sin embargo a causa de las fuertes heladas que afectaron al Jardín Botánico entre los años 2007 y 2010 en la actualidad se conservan solo 31 especies.

Colección 10. Plantas de Paposo

Colección temática que conserva elementos del desierto costero del norte de Chile, que forma parte de una cinta continua a lo largo del escarpe occidental de la Cordillera de la Costa por más de 3.500 kilómetros desde la frontera Perú / Ecuador (5 ° 00 'S) hasta el norte de Chile (29 ° 55'S). Paposo es una localidad ubicada en los faldeos occidentales de la Cordillera de la Costa al Norte de la ciudad de Taltal, región de Antofagasta, que se caracteriza por su abundante y permanente presencia de neblinas, lo cual permite el desarrollo de una variada vegetación. La colección, posee 11 especies de cactus, arbustos, subarbustos y hierbas.

Colección 11. Variedades y Especies del Género *Rosa*

Colección temática. Posee 110 variedades y especies de *Rosa*. Los ejemplares fueron traídos desde viveros especializados en el cultivo de estas plantas. Todas las variedades están documentadas e identificadas por su nombre y características morfológicas.

Colección 12. Cerezo de Flor Japonés (*Prunus serrulata* Lindl.)

Colección ornamental constituida por 45 árboles de cerezo de flor japonés donados por la Corporación Japonesa Nikkei. La flor del cerezo japonés, o sakura, es uno de los símbolos más conocidos de la cultura nipona, país donde cada año se realiza el festival de hanami³ para observar la belleza de las flores.

Colección 13. *Tarasa umbellata* (Malvaceae)

Colección de conservación. *Tarasa umbellata* Krapov, cuyo nombre común es abutiloncillo. Pertenece a la familia *Malvaceae* y fue descrita en 1960 por Krapovic sobre la base de una colecta hecha en Curicó por Luis Sanfurgo a principios del siglo XX, el lugar exacto de la colecta se perdió y la especie nunca fue encontrada nuevamente. Casi 100 años más tarde la especie fue reencontrada por el botánico Antonio Valdivieso, 8 km al sur de Talca. Los 85 individuos de esta colección provienen de las semillas colectadas de los ejemplares redescubiertos y fueron plantados el invierno del año 2008.

Colección 14. Mirtáceas Chilenas

Colección temática con 20 especies chilenas de 7 géneros de la familia *Myrtaceae*. La colección se aumentará hasta completar el catálogo nacional de 26 especies que crecen desde la región de Coquimbo hasta Magallanes.

3 Hanami: Expresión japonesa cuyo significado literal es "ver flores".

Colección 15. *Geophytarium*

Colección temática de plantas geófitas monocotiledóneas petaloídeas nativas y endémicas de Chile. Las Geófitas son plantas que poseen órganos subterráneos capaces de acumular en sus tejidos agua y reservas de nutrientes para enfrentar el período adverso, que en Chile corresponde a la época estival. La colección está formada por 62 especies de 12 familias botánicas, donde destacan las alstroemerias (*Alstroemeriaceae*); añáñucas, añáñucas de fuego y traubia (*Amaryllidaceae*); orquídeas (*Orchidaceae*); tahay y ñuños (*Iridaceae*); soldadito (*Tropaeolaceae*); huillis (*Alliaceae*); flor de la pluma (*Anthericaceae*), azulillo (*Hemerocallydaceae*); trique o calle-calle (*Iridaceae*); gnao, violeta del campo, violeta azul (*Tecophilaeaceae*); y otras de las familias *Hyacinthaceae*, *Dioscoreaceae*, *Liliaceae*.

Colección 16. Invernadero Otto Zoëllner

Colección temática consistente en un invernadero de policarbonato para conservar especies de climas subtropicales y tropicales del Conosur de América, del Lejano Oriente e islas oceánicas subtropicales, como una forma de fomentar el conocimiento de la flora del mundo.

Colección 17. Jardín de Cactus y Agaves Mexicanos

Colección temática formada por 10 especies de cactus de los géneros *Opuntia* y *Agave* del hemisferio norte.

Colección 18. *Euphorbia* spp y Plantas Crasas Exóticas y Nativas

Colección temática que conserva 62 especies de plantas crasas, *Euphorbiaceae*, *Bromeliaceae* y cactus nativos y exóticos.

Colección 19. *Fuchsia* spp (especies y cultivares) Colección temática formada por las especies *Fuchsia arborescens*, *Fuchsia magdalenae*, *Fuchsia magellanica*, *Fuchsia microphylla*, *Fuchsia regia* y el cultivar *Fuchsia* 'Queen Esther'.

Colección 20. Enebros (*Juniperus* spp)

Colección temática en la cual se conservan cuatro especies de *Juniperus*. Complementan esta colección otras coníferas exóticas tales como, *Taxus baccata*, *Sequoia sempervirens* y *Secuoyadendron giganteum*.

Colección 21. Jardín de Leguminosas Arbóreas y *Zigophylaceae*

Colección temática de 30 individuos de 15 especies de leguminosas arbóreas de los géneros *Acacia*, *Adesmia*, *Caesalpinia*, *Geoffroea*, *Porlieria*, *Prosopis*, *Senna* y *Sophora*.

Colección 22. Plantas Acuáticas

Colección temática se compone de especies que naturalmente se desarrollan en ambientes acuáticos. Está integrada por 28 especies sumergidas, flotantes o palustres. Algunas son nativas de Chile y otras introducidas.

Colección 23: Plantas de Clima Mediterráneo

Colección temática que posee 39 especies de clima mediterráneo, que se caracteriza por sus inviernos templados y lluviosos con veranos secos, presentes en zonas del planeta como

Sudáfrica, sur oeste de Australia, California y la zona de influencia del mar mediterráneo. La colección posee plantas de Sudáfrica, Islas canarias, cercano oriente y Chile.

Colección 24. Jardín de Plantas Epífitas y Helechos Exóticos

Colección temática que posee 14 especies naturalmente epífitas de helechos, Bromeliaceas y cactus centroamericanos epífitos. La colección se mantiene sobre el tronco y ramas de una higuera tropical (*Ficus macrophylla*).

Colección 25. Jardín Experimental de Arte Topiario

Colección estructural destinada a probar el uso de especies nativas en confección de setos, arriates, bordados, *bassements* y en las esculturas de plantas, llamado arte topiario. Consta de 54 especies nativas y exóticas, de las cuales 11 nativas se ensayan para hacer setos y arte topiario.

Colección 26. Jardín Francés

Colección estructural que busca conservar el diseño del jardín francés que aparece en el renacimiento italiano y se configura con sus propios métodos de composición basados en la perspectiva, avenidas axiales y en diagonal, está diseñado en base a parterres. Las especies que forman los parterres son *Santolina chamaecyparissus*, *Viburnum tinus* (Laurentinas), *Rosmarinus officinalis* (Romero Castilla) y *Ligustrum lucidum* (Ligustro). La conífera acompañante es *Taxus baccata* (Tejo).

Colección 27. Jardín de Plantas de Sudáfrica

Colección temática constituida por 161 individuos de 35 especies arbustivas herbáceas, rastreras y geófitas de Sudáfrica.

Colección 28. Palmetarium

Colección temática de palmas de clima templado formada por 33 individuos de *Phoenix canariensis* (palma canaria), endémica de las Islas canarias; 3 individuos de *Chamaerops humilis* (dátil zorrero), palma originaria del mediterráneo español y francés cuyos frutos son consumidos por la fauna silvestre; y 1 individuo de *Trachycarpus fortunei*, llamada palmera excelsa o palmera de abanico, originaria de China central, pero ampliamente cultivada en climas mediterráneos por su resistencia al frío.

Colección 29. Jardín Inglés (parque antiguo)

Colección temática formada por 217 especies arbóreas y arbustivas exóticas y 42 especies nativas conservadas, en el denominado parque antiguo formado por el dueño original del predio Don Pascual Baburizza.

Colección 30. Plantación de Palma Chilena

Colección temática correspondiente a una plantación de 55 individuos de palma chilena o canchán (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon), realizada en 1960. La palma chilena es la segunda palma más austral del mundo, junto la palma Nikán (*Rhopalostylis sapida*) de Nueva Zelandia. Actualmente en Chile permanecen solo 6 grandes poblaciones de esta especie.

Colección 31. Sombreadero Enredaderas Nativas

Colección temática de veinticinco individuos de copihue (*Lapageria rosea*) flor nacional de Chile, protegida por el Decreto Supremo N° 129 del 1° de abril de 1971, del Ministerio de Agricultura, y cinco de pasiflora chilena (*Passiflora pinnatistipula*), única especie nativa del género en Chile, que habita exclusivamente en los bosques costeros desde Huaquén en el sur de la región de Coquimbo hasta los bosques de Zapallar en la región de Valparaíso. No está protegida.

CONCLUSIONES

En la actualidad el rol de los jardines botánicos en la conservación de la biodiversidad vegetal es ampliamente reconocido, aunque en el caso de especies forestales su uso no es muy difundido en relación a otras formas de conservación *ex situ*.

Desde el punto de vista del manejo y producción de plantas, la posibilidad de desarrollar estrategias de conservación *ex situ* en los jardines botánicos pasa principalmente por el desarrollo de colecciones de plantas vivas y por la creación de bancos de germoplasma, entendiendo como tales aquellas instalaciones donde se conservan a largo plazo semillas, esporas, granos de polen o tejidos con capacidad para regenerar una planta completa.

REFERENCIAS

Bacchetta, G.; Bueno-Sánchez, A.; Fenu, G.; Jiménez-Alfaro, B.; Mattana, E.; Piotto, B. y Virevaire, M. (Eds), 2008. Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.

Iriondo, J. M., 2001. Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas (Revisión). En: Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. 16 (1): 5-24.

Lascuráin, M.; List, R.; Barraza, L.; Díaz, E.; Gual, F.; Maunder, M.; Dorantes, J. y Luna, V., 2009. Conservación de especies *ex situ*, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, Pp: 517-544

V.- ESTUDIOS DE CASOS

Capítulo 14

INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN EN ESPECIES NATIVAS: EL CASO DE PEUMO (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser)

Patricio Chung Guin-Po¹

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la estructura genética de las poblaciones que conforman las masas forestales del bosque esclerófilo es una forma de ayudar a explicar la evolución de la diversidad presente en estas zonas, permitiendo diseñar una adecuada conservación de estos bosques y una más eficiente estrategia de manejo. Sin embargo, la diversidad genética de las especies forestales que conforman estos bosques mediterráneos, se encuentra en riesgo debido a la presión por el cambio de uso de los suelos a agricultura, ganadería u otros usos, la que provoca pérdida de masas boscosas o la fragmentación de las mismas. Las consecuencias de esta pérdida de vegetación suponen problemas desde el punto de vista de la variabilidad genética de una especie o de la biodiversidad a nivel de especies.

El peumo (*Cryptocarya alba*) forma parte de la vegetación nativa de estos bosques, presentándose en forma de pequeñas poblaciones casi puras, asociado a otras especies, o integrando pequeñas formaciones mixtas en matorrales y bosques esclerófilos en valles, laderas y quebradas húmedas y sombrías (Rodríguez *et al.*, 1983).

En la actualidad existe poca información acerca de los efectos de la deforestación sobre la pérdida de la diversidad genética en el bosque esclerófilo y en especial de *Cryptocarya alba*. Los problemas de deforestación no solo producen una reducción del tamaño de la población y del flujo de genes, sino que también pueden provocar la eliminación total de las poblaciones locales (Nason *et al.*, 1997, cit. por De Moraes *et al.*, 2002). Por otra parte, la fragmentación de los bosques puede conducir al aislamiento genético de una población continua, lo que a su vez causaría más pérdida en la diversidad genética como resultado de la endogamia y la deriva genética (Rocha y Lobo, 1998, cit. por De Moraes *et al.*, 2002).

Algunas investigaciones indican que el peumo se encuentra amenazado en algunas zonas de Chile, principalmente debido a la sobreexplotación y la destrucción del hábitat. Según el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile, la especie se encuentra en la categoría de vulnerable en el listado de especies arbóreas y arbustivas en categoría de conservación en la Precordillera de Santiago (CONAF, 1989; Niemeyer *et al.*, 2002). Por su parte, Arancio *et al.* (2001), la incluyen entre las especies con problemas de conservación en la Región de Coquimbo, dentro de la categoría de especie vulnerable.

Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Sede Bío Bío. pchung@infor.cl

La persistencia de poblaciones evolutivamente viables dentro de los bosques, es fundamental para la preservación de los ecosistemas y de la diversidad biológica global (Liengsiri *et al.*, 1995, cit. por De Moraes, 2002).

Cryptocarya alba es una especie que tiene variados usos en el mundo rural, una de ellos es el consumo de sus frutos. De esto último se han realizado varias investigaciones en torno a determinar algunos compuestos funcionales que se pudieran obtener, tanto de los frutos como de las hojas de *Cryptocarya alba*, lográndose resultados interesantes en relación a la presencia de altas concentraciones de compuestos bioactivos, principalmente en el fruto.

Este capítulo tiene como objetivo plantear la necesidad de estudios genéticos de peumo, que en su primera etapa involucra la recolección de frutos de individuos seleccionados en la Región del Biobío para realizar un análisis físico de estos y posteriormente sembrar sus semillas, con el propósito de establecer estos ensayos genéticos y delinear líneas de investigación basadas en aspectos nutricionales o farmacológicos de los frutos.

ANTECEDENTES

El género *Cryptocarya* fue inicialmente descrito en el año 1810 por el botánico escocés Robert Brown, con solo tres especies como un nuevo género para Australia (Kostermans, 1952; cit. por De Moraes *et al.*, 2002). Sin embargo, en la actualidad *Cryptocarya spp.* es uno de los grupos pantropicales más grande dentro de la familia *Lauraceae* (De Moraes, 2007), comprendiendo un número de especies que puede llegar a las 350 (Karimi *et al.*, 2011) de tipo arbóreas o arbustivas siempreverdes (Xiwen *et al.*, 2008). Este es un género que se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, con presencia mayoritaria en Malasia y Australia. Se han descrito unas 23 especies para Sudamérica con algunas especies en Brasil, Guayana, Guayana Francesa, Venezuela, Ecuador, Perú, Costa Rica y Chile (De Moraes, *et al.*, 2002; De Moraes, 2005).

Dentro del género *Cryptocarya* se ubica la especie endémica *Cryptocarya alba*, descrita inicialmente por el abate don Juan Ignacio Molina en 1782 en su "*Saggio sulla storia naturale del Chili*" (Looser, 1935; cit. por Chung y Parra, 2012). Esta especie es conocida con el nombre común peumo, pengu, peugu o pegu (Sánchez, 2010). El nombre común viene de la denominación mapuche, mientras que su nombre científico *Cryptocarya* proviene del griego *Kryptos* que significa oculto y *Karyon*, nuez, debido a que la semilla se encuentra cubierta. En tanto que la palabra *alba* proviene del latín, que significa blanco y hace referencia a lo blanquecino del envés de la hoja (Hoffmann, 1982; 1983).

Entre los sinónimos para esta especie están *Peumus alba* Mol., *P. rubra* Mol., *P. mammosa* Mol., *Laurus peumo* Domb. ex Lam., *L. peumus* R. et P., *L. peumus* Mol., *Cryptocarya peumus* Nees, *C. stenantha* Phil., *C. peumus* Nees var. *Stenantha* (Phil.) Mez, *C. peumus* Nees var. *Laxiflora* Phil. Ex Mez, *C. laxiflora* Phil., *C. rubra* (Mol.) Skeels, *C. peumo* (Domb. ex Lam.) Kosterm., *C. mammosa* (Mol.) Kosterm., *Icosandra rufescens* Phil. (Rodríguez *et al.*, 1983).

Descripción

El peumo es un árbol que puede llegar a los 15 m (Rodríguez *et al.*, 1983), 20 m (Hoffmann, 1982) y hasta los 30 m de altura (Zeballos y Matthei, 1992), con diámetros cercanos a un metro (Figura N° 1), con ramas ascendentes y un follaje muy denso (Rodríguez *et al.*, 1983). El tronco presenta una corteza externa de color pardo oscuro, lisa a ligeramente agrietada, mientras que la corteza interna presenta un color rojo – naranja, olor a aceite rancio y ligeramente amarga, con textura lámino-fibro-arenosa (Zeballos y Matthei, 1992).



Figura N° 1
ASPECTOS DE FORMA DE PEUMO

Sus hojas son perennes, simples, alternas a opuestas, coriáceas, aromáticas, aovadas-elípticas u oblongas, de 1-8 cm de largo por 1,5 - 4,5 cm de ancho, ápice obtuso o ligeramente marginado, base contraída en el pecíolo, cara superior de color verde, la inferior verde azulada, con margen entero ondulado y pecíolo corto glabro, liso, de 3-5 mm de largo (Rodríguez *et al.*, 1983).

De acuerdo a Rodríguez *et al.* (1983), las flores se encuentran agrupadas en racimos densos axilares, de 2-6 cm de largo. Estas flores son hermafroditas, de colores verdosos a amarillo - verdoso, glabros o pubescentes, de 3-4 mm de largo, con seis tépalos carnosos unidos en la base formando un corto tubo, desiguales, ligeramente cóncavos, de 2 mm de largo, pilosos por dentro. Los estambres se encuentran dispuestos en tres verticilos, los externos con la base adnada a los tépalos, de 2 mm de largo, pilosos y con grandes anteras dehiscentes con 2 valvas; los estambres del segundo verticilo cortamente pedicelados o sésiles; los estambres del tercer verticilo transformados en estaminodios sagitados, de 1-1,5 mm de largo. El ovario es sésil, ínfero (Hoffmann, 1983) y elipsoídeo, de 1-1,5 mm de largo con estilo bien desarrollado y grueso, contando con un estigma grueso y triangular (Rodríguez *et al.*, 1983). Por el tamaño que tienen estas flores, pasan casi inadvertidas y su polinización es entomófila (Vogel *et al.*, 2008).

El fruto (Figura N° 2) se caracteriza por ser muy oloroso (Hoffmann, 1982), corresponde a una drupa ovalada, carnosa, comestible, lisa, de 1,5-1,8 cm de largo y 7-10 mm de ancho, de color rojo a rosado en la madurez, posee el ápice coronado con los restos de los tépalos y estambres (Rodríguez *et al.*, 1983).

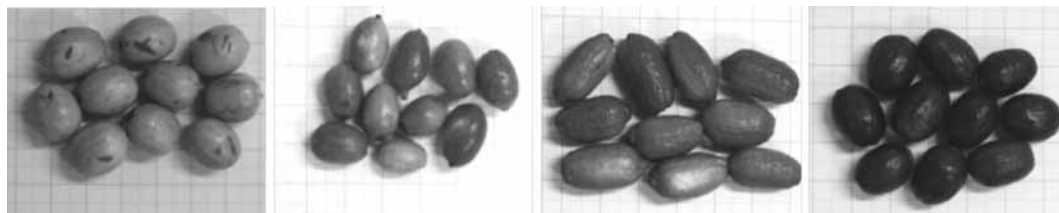


Figura N° 2
VARIABILIDAD EN TAMAÑO, FORMA Y COLOR DE LOS FRUTOS DE PEUMO

La semilla es exalbuminada, de aproximadamente 1,5 a 2 cm de largo por 0,8 a 1 cm de ancho, de forma elipsoidal, con un peso fresco de 1,6 a 2 g. Se distinguen dos cotiledones que funcionan como órganos de reserva de nutrientes, no cumplen funciones fotosintéticas y presentan un alto contenido de humedad. Entre los cotiledones se encuentra el eje embrionario, que consta de plúmula y radícula, de alrededor de 5 mm de longitud ubicado en el tercio apical de la semilla (Serra, 1991). Se presenta una sola semilla en el interior de cada fruto.

Distribución

La especie crece desde el sur de la provincia del Limarí en la Región de Coquimbo, hasta la provincia de Cautín, en la Región de La Araucanía. Se la puede encontrar en la ladera occidental de la Cordillera de la Costa, el Valle Central y por el sector andino, a altitudes que pueden llegar a los 1.500 msnm (Rodríguez *et al.*, 1983). Sin embargo, es más abundante en la zona central de Chile que al sur de su distribución (Martin, 1989).

Usos

- Compuestos Químicos

Varios y detallados estudios fitoquímicos y farmacológicos han demostrado que algunos constituyentes químicos extraídos desde especies de este género, exhiben actividad contra el cáncer, además poseen efectos insecticidas, eliminando larvas y causando esterilidad en adultos (Hawariah *et al.*, 1998; cit. por Rali *et al.*, 2007).

Aproximadamente unos 40 alcaloides han sido ya descritos para el género *Cryptocarya*. La mayoría de ellos poseen propiedades antitumorales, bactericidas, antimicrobianos, fungicidas, insecticidas y antioxidantes (Toribio *et al.*, 2006).

Un compuesto que se ha aislado desde las hojas y corteza de peumo es la reticulina, un alcaloide que posee propiedades hepatoprotectoras (Montes y Wilkomirsky, 1985). Se han obtenido taninos desde su corteza (Vogel *et al.*, 2008); se han aislado aceites esenciales desde sus hojas, particularmente compuestos de p-cymol, alfafineno, linalol y limoneno (Martín, 1989; Ruíz, 2011); y otros como el borneol, betapineno, el 1-terpinen-4-ol (Vogel *et al.*, 2008) y el betaterpineno, eucaliptol (Avello *et al.*, 2012). Recientes estudios de los aceites esenciales obtenidos desde las hojas de *Cryptocarya alba* identifican 71 compuestos orgánicos volátiles (Montes *et al.*, 1988, cit. por Karimi *et al.*, 2011), los que de acuerdo a Peralta (2004) podrían también tener una influencia en las reacciones fitoquímicas generadoras de ozono (O₃) troposférico.

En las hojas y tallos se han aislado flavonoides, glicósidos y ácido clorogénico. Desde los frutos se ha aislado cryptofolione, el cual ha mostrado actividades en contra de *Trypanosoma cruzi*², reduciendo su población en un 77% a 250 µg/ml y afectando levemente a *Leishmania spp*³. (Schmeda-Hirschmann *et al.*, 2001). En experimentos realizados con aceites esenciales puros obtenidos desde las hojas Avello *et al.* (2012) lograron una actividad antibacteriana leve frente a *Staphylococcus aureus*, efectos leves en la forma de crecimiento en *Penicillium spp.* y cambios morfológicos en *Fusarium oxysporum*.

Los aceites esenciales que se presentan en las hojas poseen concentraciones que fluctúan entre los 0,1 a 0,35 ml por 100 g de materia seca. Estos montos de acuerdo a estudios realizados no varían con la edad de las hojas, su posición en el árbol, intensidad de luz o la humedad del suelo (Vogel *et al.*, 2008).

Los frutos de peumo contienen un 70% de carbohidratos, 16% de lípidos crudos, 5,6% de fibra y un 6% de proteínas (Vogel *et al.*, 2008).

- Usos Tradicionales

Muchas especies del género *Cryptocarya* se han utilizado ampliamente como medicina tradicional en varios países. Los frutos de *Cryptocarya alba* son aromáticos, comestibles y presentan actividad antioxidante (Chung, 2012). Para su consumo, se deben cocer en agua con la finalidad de eliminar el sabor amargo y la astringencia (Vogel *et al.*, 2008). Estos pueden ser consumidos en forma natural, reteniendo el fruto en la boca para que se cueza antes de ingerirlo (Barreau y Salas, 2009). Los frutos también se han utilizado en gastronomía para la fabricación de postres (Boragó, 2011). Por su parte, las hojas se utilizan como infusión en enfermedades hepáticas (Montes, 1987), en hemorragias y reumatismos (Vogel *et al.*, 2008).

Las propiedades medicinales de esta planta se pueden explicar por la presencia de taninos, los que poseen cualidades astringentes, y por el aceite esencial que contienen. La infusión de hojas sirve para lavar heridas, para el tratamiento de leucorreas. La corteza al igual que las

2 Protozoo causante de la enfermedad de Chagas

3 Agente causante de enfermedades que van desde úlceras cutáneas, hasta formas fatales en las cuales se presenta inflamación grave del hígado y del bazo

hojas se usa en infusiones, para enfermedades del hígado y hemorragias vaginales. Con las semillas molidas se prepara una pomada para el tratamiento de afecciones ginecológicas y para dolencias abdominales derivadas de enfriamientos (Ibaca, 2001). A esta pomada se les atribuyen también propiedades para aliviar dolores articulares y musculares cuando se aplica en forma de compresas (Barreau y Salas, 2009).

Por el alto contenido de taninos de la corteza, su uso se ha expandido a la industria del cuero, donde permite realizar teñidos de un color anaranjado (Vogel *et al.*, 2008). Para la tinción de la lana, se sigue un procedimiento bastante sencillo, colocando en un fondo la parte del vegetal a utilizar, seguido de la inclusión de un fijador, que puede ser sulfato de fierro, alumbre, sulfato de cobre o vinagre, y por último, la lana. Finalmente, esto se hierve y se deja enfriar obteniendo colores naturales y más duraderos que las anilinas (Sapaj, 1998).

Además, el peumo es una especie muy adecuada para proteger las laderas de los cursos de agua y para la forestación de sectores húmedos y sombríos (Hoffmann, 1983). Es una especie que resiste sequías prolongadas y alta temperatura estival, siendo una de las pocas especies endémicas que se pueden desarrollar en las zonas semiáridas (Schlegel y Vita, 1967; cit. por Torres 2001).

Los bosques de *Cryptocarya alba* son grandes productores de hojarasca, cuya descomposición es relativamente rápida (Hurtado, 1969) y se utiliza para producir tierra de hoja (Sapaj, 1998). Se ha estimado que la producción de hojarasca en las formaciones quillay-litre y peumo-litre alcanza un valor promedio de 1,1 t/ha/año, representando un aporte continuo de materia orgánica durante todo el año, siendo más abundante entre los meses de noviembre y enero (Lienfaf, 1996). Por la gran cantidad de follaje producido, esta especie es utilizada como forraje para los animales (Martín, 1989; cit. por Vogel *et al.*, 2008). Para esta especie se han determinado incrementos en el área foliar que promedian los 110,4 cm² por brote en una temporada, junto con una elongación del largo de rama de 12,2 cm (Montenegro *et al.*, 1979; cit. por Tapia, 2005).

Peumo también se utiliza como especie ornamental, gracias a su follaje denso, siempre verde y brillante, sus llamativos frutos de color rojo y el aroma particularmente agradable que desprende en las horas de insolación (Hoffmann, 1983). La utilización de la especie con fines ornamentales es cada vez más frecuente, por lo que es posible encontrarla en calles y plazas o formando cercos vivos bastante aromáticos (Aguilera y Benavides, 2005). Se ha utilizado con esta finalidad en España (Sánchez, 2008) y Estados Unidos (Roadside Arboretum, 2012). Para fines ornamentales, en Chile se recomienda establecer las plantas a pleno sol o semisombra (Donoso, 1992). Al utilizarlo en paisajismo es necesario tener en cuenta que su sistema radical es relativamente superficial, fluctuando entre 0,5 a 1 m de profundidad (Donoso, 1993), pero lateralmente extenso, con 3 a 4 m de radio (Gilberto y Estay, 1978; cit. por Donoso *et al.*, 2011).

MATERIAL Y MÉTODO

Colecta de Material Genético

La recolección de frutos en individuos selectos de peumo se realizó durante abril de 2013, seleccionando para este estudio especímenes adultos de peumo en etapa de fructificación, con el propósito de extraer muestras de frutos para caracterizar la variabilidad que estos presentan entre árboles y entre las distintas áreas de colecta.

Junto con la selección de los árboles y la extracción de frutos, se tomaron datos descriptivos de los sectores de colecta para cada individuo de peumo considerado.

El transporte de las muestras de frutos se realizó en envases de papel para evitar la condensación y posterior proceso de pudrición de los frutos. Cada bolsa fue identificada con el código de registro tomado en terreno y puestos en un contenedor sellado a baja temperatura (3-5°C) para una mayor preservación de la muestra, trasladándolas rápidamente al laboratorio para su almacenaje en frío y procesamiento inmediato.

Para ubicar las masas de vegetación con participación de peumo, donde efectuar la selección, se utilizó la información del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, realizado en el año 1993 por la CONAF, posteriormente actualizado en el año 1998 y 2008 para la Región del Biobío.

Con esta información se elaboraron mapas, en los cuales las áreas a prospectar se escogieron en función de los criterios de dominancia de la especie dentro de cada masa vegetal (presencia como dominante o codominante) y uso actual de los suelos en los que se presenta esta especie (Bosques Exóticas Asilvestradas, Bosque Nativo - Plantación, Bosque Nativo Adulto, Bosque Adulto Renoval, Renoval, Matorral, Praderas).

En general la presencia de la especie se circunscribe a lugares de difícil acceso, como quebradas abruptas, orillas de cursos de agua y terrenos privados, lo que sumado a la gran fragmentación de sus poblaciones dificultó considerablemente la prospección.

Criterios de Selección en Terreno

Esta selección forma parte de un programa de conservación de la variabilidad del material genético de peumo, considerando como objetivo principal la selección en base a la presencia y cantidad de frutos en el follaje.

Estos criterios (presencia y cantidad de frutos en el follaje) se sumaron a la captura de información respecto a la variabilidad presente en las características morfológicas de los frutos, como forma, cantidad de pulpa y semillas por kilo, entre varias otras variables. La captura inicial de parte de la variabilidad, permitirá construir una población base inicial para comenzar un programa de mejoramiento genético, bajo objetivos particulares.

Respecto a los parámetros fijados para definir la selección de un árbol, se consideró aspectos mínimos para obtener una expresión genotípica más fiel en base a su real potencial como productor de frutos:

- Altura mínima: 5 m
- Diámetro mínimo: 10 cm
- Presencia de frutos
- Cobertura de fructificación: Un 25% de la copa como mínimo
- Densidad mínima de frutos: 10 frutos por m² de follaje

Para cada individuo se tomaron finalmente características dasométricas como altura, diámetro y altura de copa, junto con la presencia y cobertura en el follaje de los frutos, origen de la planta (retoño o semilla), sanidad, número de fustes; además de medir la cobertura de copa.

Se tomaron adicionalmente datos del sitio como tipo de suelo, posición geográfica, altitud y especies arbóreas asociadas.

Para cada zona a prospectar, se buscó individuos deseables cubriendo en lo posible la mayor superficie de las zonas definidas previamente, cuidando que la distancia entre individuos tuvieran un mínimo de 5 km, como una forma de establecer barreras en base a distancia, para maximizar la captura de genotipos diversos entre las muestras recolectadas, y restringido esto además por el financiamiento para la campaña en terreno. Se desplegaron esfuerzos por coleccionar la mayor cantidad de individuos de acuerdo a la variabilidad existente en la Región del Biobío.

Procedimientos en Laboratorio para Evaluación de Frutos

Para cada lote de frutos, correspondiente a los frutos obtenidos desde un árbol individual, se estableció 3 repeticiones de 30 frutos cada una, las que se utilizaron para determinar el peso húmedo y seco del fruto completo, de la semilla y de la pulpa; el número de frutos por kilogramo; diámetro polar, ecuatorial e índice de forma del fruto⁴; y la cantidad de pulpa por kilogramo de frutos.

Para la medición del largo y ancho del fruto se utilizó un pie de metro digital. Para determinar el peso seco de las muestras se utilizó una estufa automática marca MEMERT, donde los frutos se sometieron a una temperatura de 90°C por 48 horas.

Una vez cumplido el tiempo de secado, las muestras fueron pesadas en una balanza de precisión analítica marca OHAUS.

Las mediciones se llevaron a cabo en los laboratorios del Instituto Forestal, Sede Bío Bío, en Concepción. Los datos obtenidos fueron digitados, depurados y analizados estadísticamente con el software estadístico INFOSTAT®.

4 Índice de forma = Diámetro polar/ Diámetro ecuatorial

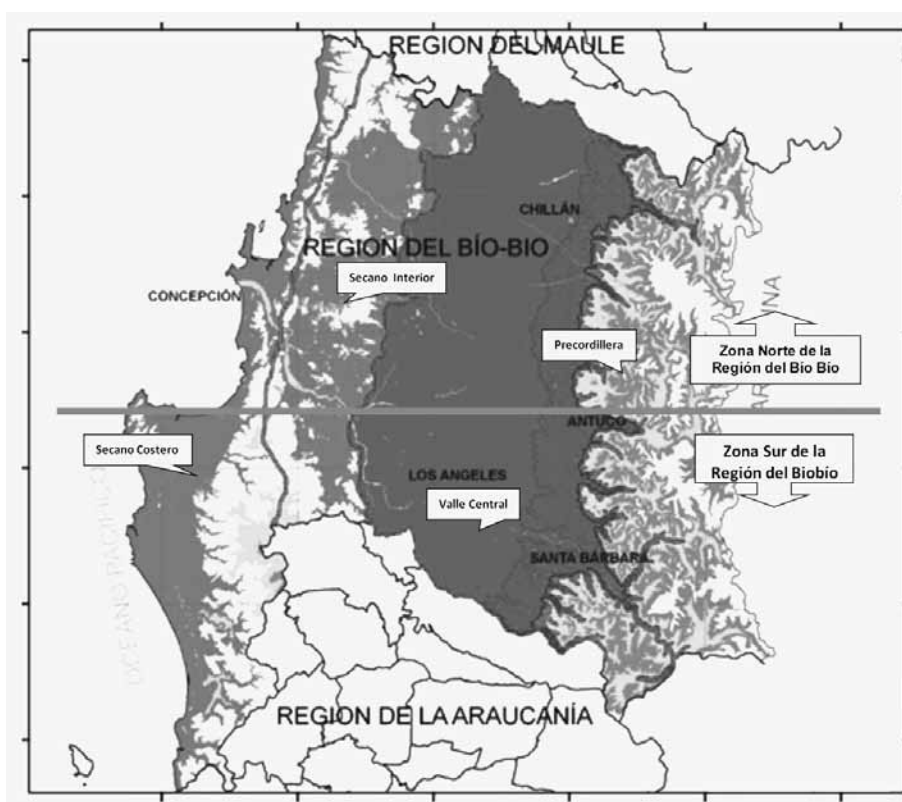
Para determinar la existencia de diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las medias de las variables medidas se utilizó la prueba de agrupamiento de Scott y Knott (1974).

Análisis de los Resultados

La evaluación de los datos se efectuó a nivel de árboles individuales y de árboles agrupados por categoría geográfica. Para esto último se agrupó a los árboles en dos categorías de latitud (norte y sur de la Región del Biobío); en tres categorías de altitud (0-200, 200-400 y 400-600 msnm) y en cuatro categorías de variación longitudinal o relieve (secano costero, secano interior, valle central y precordillera).

Los criterios para el agrupamiento geográfico de los árboles contemplados en el estudio se presentan en la Figura N° 3.

La distribución de los árboles en función de este agrupamiento se presenta en el Cuadro N° 1.



(Fuente: Figura modificada de SAG - BIOTA, 2009)

Figura N° 3
MACROZONAS DEFINIDAS DE ACUERDO A CATEGORÍAS LATITUDINALES Y LONGITUDINALES

Cuadro N° 1
IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PUNTOS DE COLECTA DE FRUTOS DE PEUMO

ARBOL	Coordenadas UTM			Altitud (msnm)	Clasificación/Agrupamiento			
	Uso	Latitud	Longitud		Altitud (msnm)	Transecto Longitudinal	Transecto Latitudinal	
Coronel 1	18 H	666483	5920256	10	0 a 200	Secano Costero	Norte	
Coronel 2	18 H	666483	5920256	10				
Santa Juana Norte	18 H	679806	5903005	48				
Santa Juana Sur	18 H	679632	5902873	41				
Copiulemu Sur	18 H	693798	5917209	151	0 a 200	Secano Interior		
Copiulemu Norte	18 H	693697	5918613	227	200 a 400			
Quillaimavida 1	18 H	698913	5911292	301				
Quillaimavida 2	18 H	699117	5910962	300				
Quillaimavida 3	18 H	699115	5910967	298				
Quillaimavida 4	18 H	699091	5911013	297				
Quillaimavida 5	18 H	699100	5911001	295				
Quillaimavida 6	18 H	699227	5910616	286				
Tomeco 1	18 H	703441	5906928	252				
Tomeco 2	18 H	703441	5906928	254				
Culenco 1	18 H	750701	5900164	168				0 a 200
Culenco 2	18 H	750793	5900403	173				
Culenco 3	18 H	750792	5900492	160				
Quillón	18 H	726090	5930727	67				
Yumbel 1	18 H	716935	5902156	103				
Yumbel 2	18 H	716935	5902156	103				
Yumbel 3	18 H	716935	5902156	103				
Yumbel 4	18 H	716935	5902156	103				
Quilleco	19 H	236477	5848778	332	200 a 400	Precordillera		
Tucapel 1	19 H	237785	5867491	321				
Tucapel 2	19 H	237771	5867495	319				
Antuco	19 H	265408	5865366	560	400 a 600			
Cerro Yanqui	19 H	249223	5862593	417				
Polcura	19 H	259150	5870195	536				
Nacimiento Norte 1	18 H	680851	5874834	155	0 a 200	Secano Interior		
Nacimiento Norte 2	18 H	680851	5874834	155				
Nacimiento Norte 3	18 H	680851	5874834	155				
Nacimiento Sur	18 H	695194	5856264	134				
Carrizal	18 H	689901	5851327	236	200 a 400			
Las Rosas	18 H	687257	5851689	286				
Los Patos	18 H	684406	5851780	326				
El Rosal 1	18 H	733500	5875168	138			0 a 200	
El Rosal 2	18 H	733500	5875168	138				
El Rosal 3	18 H	733500	5875168	138				
La Obra 1	18 H	757316	5891624	193	Valle Central			
Curapaso	18 H	757990	5890695	214		200 a 400		
La Obra 2	18 H	757316	5891624	203				
La Obra 3	18 H	757316	5891624	208				

RESULTADOS

Se colectó frutos desde 42 árboles silvestres de peumo, seleccionados dentro de su distribución natural en la Región del Biobío.

La identificación y clasificación de estos árboles se presenta en el Cuadro N°1.

El análisis de la variabilidad de los frutos se realizó a nivel de árbol individual y posteriormente agrupándolos en función de las categorías de clasificación de relieve o longitud (secano, valle, precordillera), de altitud y de latitud (Figura N° 3).

En todos los casos las variables analizadas fueron el número de frutos por kilogramo, el índice de forma de los frutos, el peso seco de los frutos, semillas y pulpa y el porcentaje en peso de la pulpa respecto del fruto.

Variabilidad de Frutos de Peumo a Nivel de Árbol Individual

Los resultados de las variables analizadas a nivel de árboles individuales se presentan en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2
VARIABILIDAD DE FRUTOS DE PEUMO A NIVEL DE ÁRBOLES INDIVIDUALES

ÁRBOL	Frutos (N°/kg)	Índice de Forma	Peso Seco			Pulpa en Frutos (%)
			Fruto (g)	Semillas (g)	Pulpa (g)	
Tucapel 1	644 l	1,23 d	0,92 d	0,77 b	0,15 j	16,3 n
Coronel 1	560 m	1,32 d	1,08 b	0,83 a	0,25 d	23,1 e
Coronel 2	732 j	1,15 d	0,86 e	0,74 b	0,12 m	14,0 p
Copiulemu Sur	993 g	1,44 c	0,60 j	0,45 j	0,15 k	25,0 i
Copiulemu Norte	886 h	1,45 c	0,65 i	0,53 h	0,12 m	18,5 m
Quillaimavida 1	673 k	1,34 d	0,94 c	0,73 c	0,21 f	22,3 k
Quillaimavida 2	861 i	1,57 c	0,67 i	0,48 i	0,19 h	28,4 g
Quillaimavida 3	755 j	1,82 b	0,78 f	0,59 f	0,19 g	24,4 h
Quillaimavida 4	835 i	1,38 d	0,73 h	0,55 g	0,17 i	23,3 k
Quillaimavida 5	600 m	1,59 c	0,97 c	0,74 b	0,23 e	23,7 l
Quillaimavida 6	861 i	1,62 c	0,67 i	0,47 i	0,20 g	29,9 g
Tomeco 1	802 j	2,20 a	0,69 i	0,52 h	0,16 i	23,2 i
Tomeco 2	1.145 e	1,56 c	0,51 l	0,41 k	0,10 n	19,6 m
Culenco 1	1.163 e	1,37 d	0,53 l	0,38 l	0,15 k	28,3 g
Culenco 2	866 i	1,52 c	0,72 h	0,52 h	0,20 g	27,8 f
Culenco 3	1.070 f	1,33 d	0,61 j	0,51 h	0,10 n	16,4 o
La Obra 1	751 j	1,76 b	0,75 g	0,50 h	0,25 d	33,3 c
Quillón	446 n	1,94 b	1,13 a	0,71 c	0,43 a	38,1 a
Yumbel 1	1.037 f	2,06 a	0,53 l	0,39 l	0,15 k	28,3 i
Yumbel 2	747 j	1,60 c	0,73 h	0,45 j	0,27 c	37,0 b
Yumbel 3	735 j	1,31 d	0,79 f	0,54 g	0,25 d	31,6 f
Yumbel 4	732 j	1,55 c	0,72 h	0,50 h	0,22 f	30,6 e
Curapaso	1.237 d	1,49 c	0,50 l	0,37 l	0,14 l	28,0 h
La Obra 2	643 l	1,37 d	0,82 e	0,55 g	0,28 c	34,1 d
La Obra 3	1.017 g	1,32 d	0,55 k	0,38 l	0,18 h	32,7 e
Quilleco	593 m	1,63 c	0,95 c	0,62 e	0,33 b	34,7 d
Tucapel 2	758 j	1,29 d	0,79 f	0,66 d	0,13 m	16,5 o
Antuco	1.463 c	1,33 d	0,37 m	0,27 m	0,10 n	27,0 i
Cerro Yanqui	984 g	1,53 c	0,56 k	0,46 j	0,10 n	17,9 m
Polcura	1.877 a	1,54 c	0,31 n	0,24 n	0,07 o	22,6 j
Santa Juana Norte	1.036 f	1,42 d	0,58 k	0,45 j	0,12 m	20,7 k
Santa Juana Sur	897 h	1,36 d	0,68 i	0,55 g	0,13 m	19,1 n
Nacimiento Norte 1	697 k	1,41 d	0,89 d	0,76 b	0,14 l	15,7 o
Nacimiento Norte 2	900 h	1,60 c	0,65 i	0,46 j	0,19 h	29,2 f
Nacimiento Norte 3	905 h	1,53 c	0,64 i	0,45 j	0,18 h	28,1 e
Nacimiento Sur	914 h	1,53 c	0,66 i	0,49 i	0,17 i	25,8 i
Carrizal	894 h	1,54 c	0,65 i	0,50 h	0,14 k	21,5 j
Las Rosas	1.516 b	1,48 c	0,36 m	0,24 n	0,12 m	33,3 c
Los Patos	669 k	1,53 c	0,83 e	0,62 e	0,21 f	25,3 h
El Rosal 1	775 j	1,80 b	0,76 g	0,53 h	0,23 e	30,3 f
El Rosal 2	775 j	1,55 c	0,77 g	0,58 g	0,19 h	24,7 i
El Rosal 3	1.150 e	1,20 d	0,52 l	0,45 j	0,07 o	13,5 o

Letras distintas en misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Scott y Knott, $p < 0,05$)

- Número de Frutos por Kilogramo y Forma de los Frutos

El análisis del número de frutos por kilogramo en árboles individuales de peumo revela una gran variabilidad en este parámetro, denotando una importante diferenciación del tamaño y peso de los frutos. Los valores más altos, que indican frutos de menor tamaño y peso, los exhibieron los árboles Polcura, Las Rosas y Antuco con valores de 1.877, 1.516 y 1.463 frutos/kg. Por el contrario, el árbol Quillón registró un valor promedio de solo 446 frutos/kg, debido al gran tamaño y peso de sus frutos.

Los resultados obtenidos también muestran una gran variación en la forma de los frutos (diámetro polar, ecuatorial e índice de forma) entre los árboles evaluados. El diámetro polar máximo se registró en un árbol de Quillón, con 23,86 mm, valor que casi duplicó a la media de un árbol de Antuco que registró un valor de 12,57 mm. Respecto al diámetro ecuatorial, el árbol de Coronel 1 exhibió el mayor valor (12,82 mm), el que fue aproximadamente un 50% superior a la media del árbol de Polcura, que con 8,29 mm resultó el valor más bajo para esta variable.

Combinando ambas medidas del diámetro en la variable índice de forma, se pudo distinguir que los frutos de los 42 individuos conforman cuatro grupos de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Scott y Knott; los valores máximos los presentaron los árboles Tomeco 1 y Yumbel 1 con valores de 2,2 y 2,06, respectivamente, correspondiendo a frutos con una forma de tipo alargada. En tanto, los menores valores de índice de forma, obtenidos en los árboles Coronel 2 y el Rosal 3 con 1,15 y 1,2 respectivamente, representan a frutos con una forma de tipo redondeada (Cuadro N° 2).

Cabe señalar que los valores del índice de forma se presentaron muy estables entre los frutos de un mismo árbol.

- Peso Seco de la Semilla y Pulpa de los Frutos de Peumo

Se analizó las variables peso húmedo, peso seco y porcentaje de humedad de los frutos completos, así como de la pulpa y la semilla que los componen, observándose una gran variabilidad en estos parámetros a nivel de árboles individuales. Para efectos de este análisis se presentan solo los valores de peso seco, que reflejan en mejor forma la variabilidad en la biomasa de frutos entre árboles, así como la cantidad de elementos nutricionales y/o farmacéuticos que pudieran obtenerse de cada lote de frutos (Cuadro N° 2).

En términos generales, el peso verde de los frutos casi duplica al peso seco, denotando el alto contenido de humedad de los mismos al momento de su cosecha. Esta cantidad de agua o humedad en los frutos puede estar determinada por el lugar o condiciones ambientales donde crecen los árboles.

A nivel de valores medios por árbol individual, el peso seco de los frutos completos fluctúa ampliamente entre 0,31 y 1,13 gramos, con un valor promedio de 0,7 g. Respecto a sus componentes, la semilla representa del orden del 75% del peso seco del fruto (variando entre 55

y 85%), esta registra valores medios por árbol de 0,24 a 0,83 g y un valor medio general de 0,52 g; la pulpa por su parte corresponde aproximadamente al 25% del peso del fruto, en promedio pesa 0,18 g, y a nivel de árboles individuales sus medias fluctúan entre 0,07 y 0,43 g. Para los tres elementos las medias de peso seco presentan diferencias estadísticamente significativas, verificándose el agrupamiento que se detalla en el Cuadro N° 2

Variabilidad de Frutos de Peumo Según Categoría de Relieve

Los resultados de las principales variables analizadas, agrupando los árboles del cuadro N°1 a nivel de categorías de relieve (longitud) se presentan en el Cuadro N° 3

Cuadro N° 3
VARIABILIDAD DE FRUTOS DE PEUMO A NIVEL DE CATEGORÍAS DE RELIEVE

RELIEVE	Frutos (N°/kg)	Índice de Forma	Peso Seco			Pulpa en Frutos (%)
			Fruto (g)	Semillas (g)	Pulpa (g)	
Precordillera	1053 a	1,42 b	0,65 c	0,50 c	0,15 c	23,1 c
Secano Costero	829 c	1,31 b	0,78 a	0,65 a	0,13 d	16,7 d
Secano Interior	876 b	1,57 a	0,69 b	0,53 b	0,17 b	24,6 b
Valle Central	876 b	1,54 a	0,70 b	0,49 c	0,21 a	30,0 a

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Scott y Knott, $p < 0,05$)

- Número de Frutos por Kilogramo y Forma de los Frutos

De acuerdo a los resultados del análisis del número de frutos por kilogramo, agrupando los árboles según categoría de relieve, los frutos con menor tamaño y peso son las que se encuentran en la zona de precordillera (1.053 frutos/kg). Por el contrario, el área correspondiente al secano costero presenta semilla más grande y de mayor peso, resultando en un menor número de unidades por kilogramo (829 frutos/kg). Ambas situaciones son estadísticamente diferentes entre sí y también difieren de lo observado en el secano interior y el valle central, en estas últimas se contabilizan 876 frutos/kg (Cuadro N° 3).

Respecto a las medias obtenidas para el índice de forma, se observa la conformación de dos grupos con diferencias estadísticamente significativas, uno formado por las áreas Secano Interior y Valle Central, y el otro formado por las zonas de Precordillera y Secano Costero, con valores medios más bajos que el primer grupo.

- Peso Seco de la Semilla y Pulpa de los Frutos de Peumo

Este análisis es equivalente al realizado en la sección anterior para árboles individuales, la diferencia radica en que en esta ocasión los árboles se agrupan en función de las categorías de relieve previamente definidas (Figura N° 3; Cuadro N° 1).

La composición en peso de los constituyentes del fruto es variable en las distintas zonas analizadas. El mayor peso seco de los frutos (0,78 g) se presenta en el Secano Costero, donde también se encuentra la mayor participación en peso de la semilla (83,3%), y la menor de la pulpa (16,7%). Por el contrario, los frutos más livianos se encuentran en la zona de precordillera (0,65 g), donde la semilla y pulpa representan el 76,9 y 23,1% del peso respectivamente.

Los frutos con mayor proporción de pulpa se encuentran en el Valle Central, donde esta representa el 30% del peso del fruto, valor que es casi el doble del registrado en el Secano Costero.

Tanto para los frutos como para las semillas se observa una disminución de sus pesos desde la costa hacia la cordillera, sin embargo para el peso de la pulpa no se observa esta misma tendencia.

Variabilidad de Frutos de Peumo Según Altitud

Los resultados de las principales variables analizadas, agrupando los árboles del Cuadro N°1 a nivel de categorías de altitud se presentan en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
VARIABILIDAD DE FRUTOS DE PEUMO A NIVEL DE CATEGORÍAS DE ALTITUD

ALTITUD	Frutos (N°/kg)	Índice de Forma	Peso Seco			Pulpa en Frutos (%)
			Fruto (g)	Semillas (g)	Pulpa (g)	
0 - 200	855 b	1,52 a	0,72 a	0,53 a	0,19 a	26,4 a
200 - 400	855 b	1,52 a	0,72 a	0,54 a	0,18 b	25,0 b
400 - 600	1441 a	1,47 a	0,41 b	0,32 b	0,09 c	21,9 c

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Scott y Knott, $p < 0,05$)

- Número de Frutos por Kilogramo y Forma de los Frutos

En relación al número de frutos por kilogramo, se observa que sobre 400 msnm los frutos son más pequeños y más livianos, obteniéndose valores de 1.441 frutos/kg; en los dos pisos altitudinales menores, los frutos son de mayor envergadura, registrándose 855 unidades por kilogramo.

Respecto al índice de forma de frutos no se observan diferencias entre las distintas categorías de altitud.

- Peso Seco de la Semilla y Pulpa de los Frutos de Peumo

El peso de los frutos de peumo, así como se vio con su tamaño, es significativamente mayor bajo los 400 metros de altitud.

La misma tendencia se verifica con el peso de su semilla, que es la principal componente del

fruto, y con el peso de la pulpa. Todos ellos varían en forma inversamente proporcional a la altitud.

La mayor proporción en peso de la pulpa respecto del fruto se encuentra en el primer piso altitudinal (26,4%), mientras que el valor más bajo (21,2%) se encuentra en el tercer piso analizado.

Variabilidad de Frutos de Peumo Según Latitud

Los resultados de las principales variables analizadas, agrupando los árboles del Cuadro N°1 a nivel de categorías de latitud se presentan en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5
VARIABILIDAD DE FRUTOS DE PEUMO A NIVEL DE CATEGORÍAS DE LATITUD

LATITUD	Frutos (N°/kg)	Índice de Forma	Peso Seco			Pulpa en Frutos (%)
			Fruto (g)	Semillas (g)	Pulpa (g)	
Norte Bío Bío	842 b	1,54 a	0,73 a	0,54 a	0,19 a	25,5 a
Sur Bío Bío	959 a	1,48 a	0,66 b	0,50 b	0,17 b	25,6 a

Letras distintas en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Scott y Knott, $p < 0,05$)

- Número de Frutos por Kilogramo y Forma de los Frutos

El número de frutos por kilogramo varió significativamente entre las zonas norte y sur de la Región del Biobío, aunque en menor magnitud que lo observado en el análisis de altitud y de relieve. En términos generales los frutos obtenidos en la zona sur son más livianos y pequeños que los obtenidos en la zona norte.

Respecto del índice de forma de los frutos, al igual que se observó en el análisis de altitud, no se evidencian diferencias significativas entre las zonas analizadas.

- Peso Seco de la Semilla y Pulpa de los Frutos de Peumo

Con respecto al peso seco del fruto, el mayor valor se presenta en la zona norte, influenciado por el mayor tamaño de los frutos de esta zona, y diferenciándose significativamente del valor registrado para la zona sur. La misma tendencia se verifica también para los pesos secos de la semilla y pulpa.

Respecto a la proporción en peso de la pulpa respecto al fruto completo, tanto la zona norte como la zona sur, alcanzan valores muy similares que no sobrepasan el 26%.

CONCLUSIONES

Colecta de Material

Durante la selección de árboles para la colecta de frutos se observó variación de la fenología frutal entre y dentro de los sitios prospectados, detectándose simultáneamente la presencia de frutos verdes en estado de desarrollo y de frutos maduros en fase de dispersión. En gran medida las diferencias entre sitios y entre árboles corresponderían a efectos de la variación ambiental y microambiental de variables tales como la temperatura, exposición a heladas, humedad del suelo, cercanía a fuentes de agua, radiación solar, sombreadamiento de la copa, entre otras.

La variabilidad detectada entre y dentro de las poblaciones de peumo prospectadas en la región del Bío Bío, sugiere realizar colectas más intensivas para mejorar las estimaciones de la variabilidad genética de la especie en la región, y expandir el estudio al resto de la distribución natural de la especie en el país, la que se extiende desde el sur de la provincia del Limarí hasta la provincia de Cautín.

Cualquier intento de selección de individuos de peumo sobre criterios de productividad y calidad de fruto requerirá conocer la variabilidad en los atributos de interés del fruto y el grado de control genético de esos atributos.

La instalación de ensayos genéticos, donde se representen en un sitio común a progenies o réplicas clonales de árboles selectos, permitirá efectuar una selección más apropiada de los individuos a considerar para la producción de frutos de interés.

Análisis de los Frutos

Se confirma una gran variabilidad existente para los distintos lotes de frutos extraídos de 42 árboles, respecto a variables medidas como son la forma, tamaño, peso y composición de los frutos.

En relación a los factores de clasificación y agrupamiento geográfico de los árboles evaluados (latitud, longitud y altitud), estos parecen influenciar las variables medidas, observándose variaciones estadísticamente significativas entre las distintas zonas de agrupamiento. Se detecta una tendencia relativamente clara a la disminución del tamaño y peso de los frutos en función de la variación longitudinal desde la costa hacia la precordillera y análogamente al aumentar la altitud.

La participación de la pulpa en la composición en peso seco de los frutos exhibe una gran variación entre árboles individuales, fluctuando entre 13,5 y 38,1%. Esta importante diferencia puede ser la base para un programa de selección y mejoramiento genético para propiciar el aumento de una o varias características particulares que se quieran mejorar en el ámbito de los recursos alimentarios, así como también en los relacionados con compuestos farmacéuticos que están presentes en esta parte del fruto.

Se sugiere realizar estudios complementarios, que aborden la variabilidad de los frutos de peumo en aspectos químicos relacionados con su utilidad nutricional o farmacéutica.

La diversidad de situaciones de suelo y clima donde esta especie crece refleja una alta diversidad genética de sus poblaciones, de modo que mediante programas de mejoramiento se puede caracterizar la variación en los atributos de interés y seleccionar procedencias e individuos que otorguen mayores ventajas para el cultivo de peumo con fines productivos específicos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ingeniero Forestal Sr. Braulio Gutiérrez C. por su prolija revisión y observaciones al documento original, así como por su valiosa colaboración para sintetizar la presentación de los resultados expuestos en este capítulo.

REFERENCIAS

Aguilera, M. y Benavides, N., 2005. Recopilación de experiencias silvícolas en el Bosque Nativo Maulino. CONAF, Región del Maule. 144 p.

Arancio, G.; Muñoz, M. y Squeo, F., 2001. Descripción de Algunas Especies con Problemas de Conservación en la IV Región de Coquimbo, Chile. En: Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. F. A. Squeo, G. Arancio y J. R. Gutiérrez, Eds. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 6: 63 - 103

Avello, M.; López, C.; Gatica, C.; Bustos, E.; Brieva, A.; Pastene, E. y Bittner, M., 2012. Efectos antimicrobianos de extractos de plantas chilenas de las familias *Lauraceae* y *Atherospermataceae*. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 2012; 17(1):73-83.

Barreau, A. y Salas, V., 2009. Plantas que curan, compartiendo vivencias y saberes. Medicina campesina de la Región del Bío Bío. TAC - Forestal Mininco. 73 p.

Boragó Restaurant, 2011. Endémica. <http://www.borago.cl/blog/category/chile> (obtenido el 23 de agosto de 2012).

Chung, P., 2012. Usos, Productos y Procesos. En: Monografía de Peumo, *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. S. Benedetti (Ed.). INFOR – MINAGRI. Pp: 57-58.

Chung, P. y Parra, P., 2012. Antecedentes generales. En: Monografía de Peumo, *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser. S. Benedetti (Ed.). INFOR – MINAGRI. Pp: 7-27.

CONAF, 1989. Libro Rojo de la Flora Terrestres de Chile. Benoit, I (Ed.). Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura, Santiago, 157 pp.

De Moraes, P., 2005. Lectotypification of names of Brazilian species of *Cryptocarya* (*Lauraceae*). Taxon, 54 (3):789–795.

De Moraes, P., 2007. Taxonomy of *Cryptocarya* species of Brazil. En: Samyn, Y.; Vanden Spiegel, D. y Degreef, J. (Eds.). ABC Taxa. Vol. 3, 191 p.

De Moraes, P.; Monteiro, R. y Vencovsky, 2002. Genetic differentiation and diversity of natural populations of *Cryptocarya* spp. (*Lauraceae*) from the Brazilian Atlantic rain forest. Lundiana 3(2): 99-109.

Donoso, C., 1992. Ecología Forestal: El bosque y su Medioambiente. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 368 p.

Donoso, C., 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria. 483 p.

Donoso, S.; Peña, K.; Pacheco, C.; Luna, G. y Aguirre, A., 2011. Respuesta fisiológica y de crecimiento en plantas de *Quillaja saponaria* y *Cryptocarya alba* sometidas a restricción hídrica. Bosque **32(2): 187-195**.

Hoffmann, A., 1982. Flora silvestre de Chile, Zona Araucana. Edición 4. Fundación Claudio Gay, Santiago. 258 p.

Hoffmann, A., 1983. El árbol urbano de Chile. Santiago, Chile. Ediciones Fundación Claudio Gay. 225 p.

Hurtado, P., 1969. Observaciones sobre la anatomía foliar y la transpiración en peumo *Cryptocarya alba* (Mol.)Looser. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Escuela de Ingeniería Forestal, Departamento de Silvicultura. 57p.

Ibaca, R., 2001. Monografía de árboles y arbustos chilenos con propiedades medicinales aromáticas. Memorias para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 246 p.

Karimi, H.; Farmani, A. y Nourizadeh, 2011. A performance comparison of modern statistical technique for molecular descriptor selection and retention prediction of essential oil from leaves. American Journal of Scientific Research. 38: 36-40.

Lienlaf, E., 1996. Estimación de la producción de hojarasca y de su pérdida mediante la extracción de tierra de hojas en formaciones esclerófilas de la Reserva Nacional Río Clarillo. Memoria de Título Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago. 73 p.

Martin, F., 1989. Extraíbles químicos de especies nativas en zonas áridas y semiáridas. Revisión Bibliográfica. Documento de Trabajo N° 24. Proyecto CONAF/PNUD/FAO-CHI/83/017. 43 p.

Montes, M., 1987. Aspectos de la Medicación Popular en la Región del Biobío, Chile. Acta Farm. Bonaerense. 6(2): 115-24.

Montes, M. y Wilkomirsky, T., 1985. Medicina tradicional chilena. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. 206 p.

Niemeyer, H.; Bustamante, R.; Simonetti, N.; Teillier, S.; Fuentes, E. y Mella, J., 2002. Historia Natural de la Reserva Nacional Río Clarillo: un espacio para aprender ecología. Tercer Curso Regional de Actualización en Biología de la Conservación. Santiago, Chile. 315 p.

Peralta, H., 2004. Caracterización química de compuestos orgánicos volátiles emitidos por *Cryptocarya alba* (peumo) y *Schinus molle* (pimiento) y su proyección sobre las reacciones fotoquímicas generadoras de O₃ troposférico. Memoria para optar al título de Químico. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Departamento de Química Orgánica y Fisicoquímica, Laboratorio de Química de la Atmósfera. 49 p.

Rali, T.; Wossa, S. y Leach, D., 2007. Comparative Chemical Analysis of the Essential Oil Constituents in the Bark, Heartwood and Fruits of *Cryptocarya massoy* (Oken) Kosterm. (Lauraceae) from Papua New Guinea. Molecules. 12: 149-154.

Roadside Arboretum, 2012. Roadside Arboretum of Washington Township. En: http://www.fremontica.com/roadside/usermap3.php?tree_map=1&asset_n=19 (Obtenido el 5 de noviembre de 2012).

Rodríguez, R.; Matthei, O. y Quezada M., 1983. Flora Arbórea de Chile. Concepción, Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. 408 p.

Ruiz, M., 2011. Efecto de Extractos acuosos del follaje de ocho especies arbóreas nativas de Chile en la capacidad infestiva de *Meloidogyne hapla* Chitwood (1949).Tesis Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Escuela de Agronomía. 65 p.

SAG- BIOTA, 2009. Informe Final. Estudio Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos del Valle Central y Precordillera de la Región del Bío Bío. 47 p. http://www.sag.cl/sites/default/files/INFORME_FINALALTIPLANO_SAG.pdf (obtenido el 2 de septiembre de 2013).

Sánchez, J., 2008. Selección de plantas ornamentales con bajas necesidades hídricas. III Congreso de Jardinería de Asproga Innovaciones Tecnológicas. Galicia, España. 39 p.

Sánchez, G., 2010. Los mapuchismos en el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). Boletín de Filología, 45 (2):149 – 256.

Sapaj, A., 1998. Potencialidad del bosque esclerófilo del Valle de Colliguay (V Región) para la obtención de productos secundarios. Memorias para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 108 p.

Schmeda-Hirschmann, G.; Astudillo, L.; Bastida, J.; Codina, C.; De Arias, A; Ferreira, M; Inchausti, A. and Yaluff, G., 2001. Cryptofolione derivatives from *Cryptocarya alba* fruits. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 53: 563–567.

Scott, A. y Knott, M., 1974. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. Biometrics, 30:507-512.

Serra, M., 1991. *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Lauraceae): Organización morfológica de semilla, plántula y estados juveniles. Ciencias Forestales 7(1-2): 21-27.

Tapia, D., 2005. Propuesta de intervenciones silviculturales con fines de rehabilitación en la Quebrada de la Plata, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. 86 p.

Toribio, A.; Bonfils, A.; Delannay, E.; Prost, E.; Harakat, D.; Henon, E.; Richard, B.; Litaudon, M.; Nuzillard, J. y Renault, J., 2006. Novel seco-Dibenzopyrrocoline Alkaloid from *Cryptocarya oubatchensis*. Organic Letters. 8(17): 3825-3828

Torres, M., 2001. Recopilación bibliográfica sobre el proceso de erosión en Chile y la factibilidad del uso de *Quillaja saponaria* en suelos degradados. Seminario para optar al Título de Técnico Universitario Forestal. Universidad de Concepción, Departamento Forestal, Unidad Académica Los Ángeles. 51 p.

Vogel, H.; Razmilic, I.; San Martín, J.; Doll, U. y González, B., 2008. Plantas Medicinales Chilenas. Experiencia de Domesticación y Cultivo de Boldo, Matico, Bailahuén, Canelo, Peumo y Maqui. Segunda Edición. Editorial de la Universidad de Talca. 194 p.

Xiwen, L.; Jie, L. y Van der Werff, H., 2008. 24. *Cryptocarya* R. Brown. Flora of China 7: 247–254.

Zeballos, P. y Matthei, O., 1992. Caracterización dendrológica de las especies leñosas del Fundo Escuadrón Concepción, Chile. Revista Ciencia e Investigación Forestal (CIFOR). 6(2):195 - 257.

Capítulo 15

CONSIDERACIONES DE GENÉTICA MOLECULAR PARA ESTABLECER RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN *EX SITU* Y EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LENGUA (*Nothofagus pumilio* [Poep et Endl.] Krasser)

Roberto Ipinza Carmona¹

INTRODUCCIÓN

A escala regional, la estructura genética de una población de árboles puede ser producto de procesos históricos, en los que la distribución de variantes moleculares neutras podría reflejar procesos de deriva genética y aislamiento reproductivo ocurridos en el pasado (Hewitt, 2000). Como consecuencia, la composición genética de las poblaciones puede darse en distintos contextos espaciales y temporales, lo que a su vez pueden ser utilizados para el diseño de procedimientos de conservación (Allendorf *et al.*, 2013).

Antes de iniciar este capítulo es importante destacar y reconocer el gran aporte efectuado por las investigadoras Andrea Premoli y Paula Mathiesen, en relación a los elementos moleculares del ADN de lenga (*Nothofagus pumilio* (Poep et Endl.) Krasser) que se exponen en este capítulo (Premoli y Mathiasen, 2013; Mathiasen, 2010). Dichas investigadoras han aportado elementos conceptuales claves para mejorar una aproximación estratégica nacional sobre la conservación y mejoramiento de la lenga en Chile.

De acuerdo a Mathiasen (2010) los *Nothofagus* son taxones muy antiguos que se originaron en el Oeste de Gondwana hace 85 millones de años. Cuando se originaron los *Nothofagus*, durante el Cretácico superior, la configuración espacial de los continentes era muy diferente a la actual, ya que había solo un supercontinente denominado Gondwana.

VARIACIÓN GENÉTICA

Variación Latitudinal

Durante el período Jurásico se abrió una paleocuenca de grandes dimensiones en latitudes intermedias (43° S) de la Patagonia, la que se mantuvo abierta hacia el Pacífico durante varios millones de años (Suárez y Márquez, 2007). Según Mathiasen (2010), antes de la formación de la cordillera principal de los Andes, las regiones montañosas en el norte de la Patagonia consistían de numerosas unidades geológicas de origen pre-Mesozoico, mientras que en el sur

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

había fundamentalmente un ambiente montañoso. La misma autora comenta que en el norte una paleogeografía más compleja habría generado mayores fragmentaciones en la distribución de esta especie, produciendo la marcada estructuración genética evidenciada por el ADN de cloroplastos (ADNc). Por el contrario, las condiciones más estables que parecen haber gobernado en las regiones más australes habrían permitido la persistencia de *N. pumilio* en áreas más extensas sin sufrir grandes cambios en el ADNc.

Las diferencias genéticas observadas en la variación latitudinal pueden relacionarse con factores históricos (Premoli, 1998). En el sentido latitudinal se encontró que las poblaciones del norte (38 a 42° S) y las del sur (53 a 55° S) fueron similares en cuanto a los niveles de variación genética, mientras que las intermedias (46 a 52° S) mostraron una marcada disminución en los distintos índices de variación isoenzimática calculados, pero una mayor diversidad genética total que la de las poblaciones del norte y sur. Esto último reflejaría el establecimiento relativamente reciente de las poblaciones intermedias, a partir de acervos genéticos divergentes de las áreas al norte y al sur de la barrera glacial localizada entre los 46 y 52° S, aproximadamente. Mathiasen y Premoli (2010) mostraron que esta divergencia alopatrica² producida en estas latitudes medias es producto de la presencia de una paleocuenca Paleógena y de la formación de una posterior zona de sutura.

La existencia de la monofilia recíproca encontrada para los linajes de *Nothofagus pumilio* al norte y al sur de los 42° de latitud sur (Contao - Hornopirén) permite definir al menos dos unidades evolutivas significativas que deberían ser tenidas en cuenta en las prácticas de conservación. Datos nucleares isoenzimáticos de las mismas poblaciones analizadas mediante ADNc mostraron que mientras en el norte las poblaciones tuvieron probablemente una historia evolutiva relacionada con aislamiento y cuellos de botella por la acción glaciaria de valle las del sur probablemente consistieron de poblaciones más grandes y continuas, como lo refleja un menor coeficiente de endogamia (Mathiasen, 2010) y la mayor diversidad genética en estas últimas (Mathiasen y Premoli, 2010).

Como lenga es una especie auto-incompatible, la relativamente mayor endogamia hacia el rango norte de su distribución indicaría que la selección natural habría tenido mayores oportunidades de purgar variantes genéticas perjudiciales en homocigosis, pudiendo ser más resiliente a los disturbios. Por el contrario, las poblaciones australes serían más propensas a sufrir las modificaciones en las tasas de flujo génico y tamaño poblacional (Mathiasen, 2010).

Un manejo forestal inapropiado de una especie forestal como *N. pumilio*, con fecundación predominantemente cruzada, podría provocar que las poblaciones del sur (menos endogámicas) tendieran a sufrir relativamente más los efectos de la endogamia y del aislamiento que las del norte, ya que en estas últimas los alelos perjudiciales ya fueron purgados por la selección.

2 La alopatría, o aislamiento geográfico, es un término usado en el estudio de la evolución. Consiste en la separación geográfica de poblaciones que comparten un acervo genético común, pero que sometidas a diferentes condiciones ambientales han evolucionado independientemente hasta constituirse en distintas subespecies, o incluso en especies diferentes (Nota del Editor).

Mathiasen (2010) señala que posteriormente al levantamiento de Los Andes, las paleocuencas se drenaron y se desarrolló un marcado gradiente climático oeste-este. Hacia el este, donde las precipitaciones eran menores, se desarrolló la estepa Patagónica, y los bosques de *Nothofagus* pasaron a ser dominantes y exclusivos en la región Andino-Patagónica.

En el Cuaternario ocurrieron grandes oscilaciones climáticas con alternancia de períodos fríos glaciarios y cálidos inter-glaciarios, los cuales, sumados a los factores anteriores, afectaron el acervo genético de *N. pumilio*. Las glaciaciones en la Región Patagónica fueron distintas en diferentes latitudes. Mientras que en el norte hubo principalmente glaciares de valle que modificaron marcadamente la topografía del lugar, en el sur los glaciares a pesar de ser más extensos no generaron grandes cambios en el paisaje.

De acuerdo a Mathiasen (2010) la mayor divergencia genética encontrada en el grupo Sur podría estar indicando que las poblaciones en latitudes australes habrían sufrido aislamientos históricos, mientras que el menor nivel de estructuración en el norte sugiere que la divergencia genética inter-poblacional es un fenómeno reciente.

La autora también concluye que a lo largo de su amplio rango de distribución biogeográfico, cercano a los 2000 km, la lenga presenta una marcada diferenciación genética en el gradiente altitudinal. En efecto, detecta menores índices de diversidad genética en las poblaciones de mayor altitud, respecto de otras a menor altitud en un mismo cerro. Además, las diferencias genéticas encontradas en *N. pumilio* a lo largo del gradiente altitudinal mostraron tener valor adaptativo.

Variación Altitudinal

Cuando las especies se desarrollan en ambientes heterogéneos y a lo largo de una gran amplitud biogeográfica, el limitado intercambio genético y las presiones diferenciales de selección impactan sobre las especies determinando diferencias genéticas entre los individuos, las que provocan una variación discreta (ecotípica) o continua (clinal) a lo largo de un determinado gradiente ambiental.

Este es el caso de *Nothofagus pumilio*, que domina los bosques alto andino patagónicos a lo largo de aproximadamente 20° de latitud. Esta especie exhibe marcadas variaciones en las condiciones del gradiente altitudinal (Figura N° 1) y muestra gran polimorfismo para distintos caracteres ecológicos y fisiológicos (Premoli, 2004). Sin embargo, al comparar en base a marcadores moleculares neutros a lenga con otras especies del género *Nothofagus* (Torres-Díaz *et al.*, 2007), se detecta que *N. pumilio* presenta comparativamente menos polimorfismo (Premoli 2003).

Se ha encontrado una variación significativa y heredable entre poblaciones localizadas en estratos altitudinales contrastantes, para caracteres cuantitativos arquitecturales, foliares, ecofisiológicos y fenológicos medidos en experimentos de ensayos de procedencias (Premoli y Brewer, 2007; Premoli *et al.*, 2007).

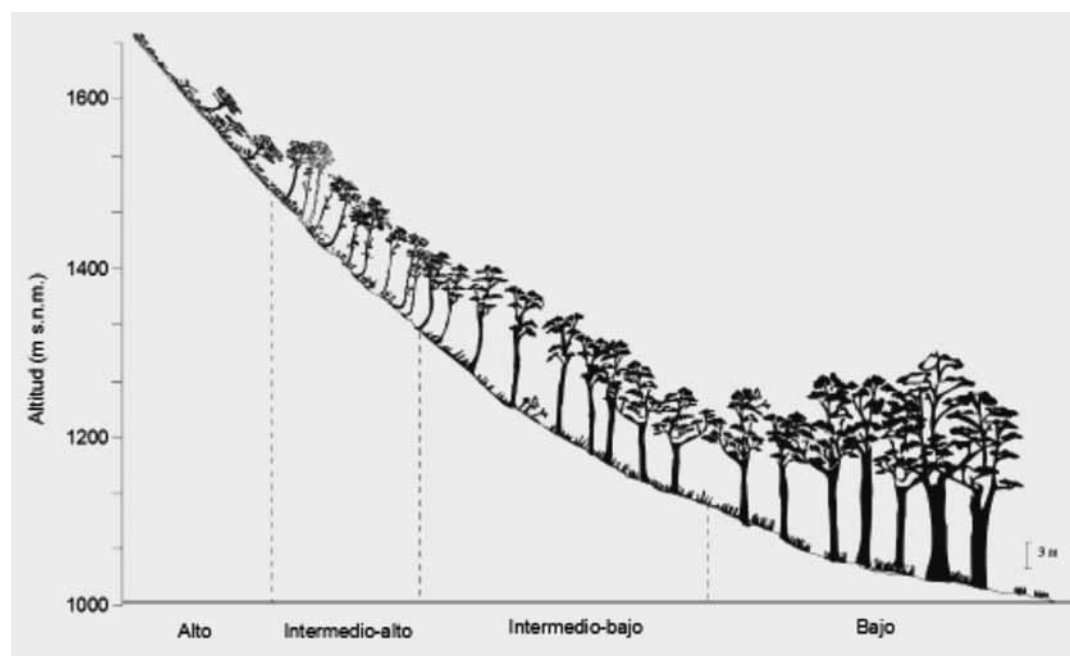
A pesar que *N. pumilio* es una especie con polinización anemófila, poblaciones separadas por escasos cientos de metros en el gradiente altitudinal se encuentran aisladas reproductivamente debido a diferencias fenológicas (Premoli *et al.*, 2007). Estudios de campo mostraron que existe un retardo de aproximadamente seis días en la iniciación de la floración por cada 100 m de

diferencia en altitud (Rusch, 1993). Esto sumado a la dispersión local de semillas (Premoli, 2004) resulta en un restringido flujo génico entre distintas altitudes, cuyas diferencias para distintos caracteres adaptativos tenderían a mantenerse por selección diversificadora.

Los resultados establecidos por Mathiasen (2010) revelan que los rasgos de adaptación sometidos a presiones de selección extremas estarían fijados genéticamente y que las plantas que habitan a menor altitud, al ser trasplantadas a sitios con condiciones más extremas, superan en crecimiento a las plantas originarias de sitios más altos. Estos resultados muestran el potencial de *Nothofagus pumilio* para responder, a través de ascensos altitudinales, a los aumentos de temperatura esperados bajo escenarios de cambio climático, lo que aseguraría su persistencia en el largo plazo.

La evidencia isoenzimática en los gradientes altitudinal y latitudinal, así como las diferencias significativas en características de la semilla y rasgos ecofisiológicos, indican la existencia de variación genética para distintos caracteres en *N. pumilio*. Altitudinalmente se manifiestan diferencias fenológicas que mantendrían barreras al flujo génico y diferentes presiones de selección que actuarían en poblaciones separadas por escasos cientos de metros.

Premoli (2004) establece que existen marcadas diferencias genéticas en altitud, por ende los especímenes de *N. pumilio* achaparrado denominados *krummholz* que se localizan hacia el límite altitudinal constituirían un morfotipo propiamente tal.



(Fuente: Premoli, 2004).

Figura N° 1
ESQUEMA DE LA VARIACIÓN EN EL HÁBITO DE CRECIMIENTO DE LENGA
A LO LARGO DEL GRADIENTE ALTITUDINAL

La estructura y dinámica de los bosques de *N. pumilio* ha sido estudiada principalmente en los extremos de su distribución, de modo que no existe mucha información de poblaciones localizadas a lo largo del gradiente latitudinal. Una excepción en este sentido la constituye un proyecto de INFOR en Coyhaique que tiene como objetivo investigar la relación entre determinadas características genéticas y su posible valor adaptativo, a fin de utilizar esa información en el mejoramiento y conservación de este valioso recurso forestal.

A pesar de la extensa distribución geográfica de *N. pumilio*, no se aprecia claramente una diferenciación fenotípica en el sentido latitudinal, aunque, como se ha descrito precedentemente, si se evidencia claramente la diferenciación en el sentido altitudinal (morfología foliar, altura de los árboles, forma de los fustes). La altitud también produce variación en el inicio del período de crecimiento y provoca una marcada disminución del crecimiento a medida que esta aumenta, situación que resulta muy extrema y notoria en Tierra del Fuego (Lago Blanco). Premoli *et al.* (2012) establecen que las especies deciduas *N. antarctica* y *N. pumilio* presentan el mayor grado de variación fenotípica del subgénero *Nothofagus*, siendo en la primera de tipo discontinua (ecotípica), asociada a distintos ambientes, y en la segunda de tipo continua (clinal) a lo largo del gradiente altitudinal.

En Lengua se presenta variación altitudinal en la producción anual de semillas y en su viabilidad. Adicionalmente, se ha determinado que las características isoenzimáticas de poblaciones de *N. pumilio*, a lo largo de gradientes altitudinales, variaron significativamente en el lado oriental de la cordillera de los Andes, encontrándose que distintos indicadores de variación isoenzimática alcanzaron mayores valores en las poblaciones de baja altitud.

Finalmente, Mathiasen (2010) establece que *N. pumilio* a lo largo de su historia evolutiva, ha respondido vigorosamente a los grandes cambios climáticos pasados, incluso durante las últimas glaciaciones, bajo condiciones que son desfavorables para la mayoría de las especies. *Nothofagus pumilio*, por ser una especie tolerante al frío, ha sido capaz de sobrevivir a lo largo del tiempo y se ha adaptado exitosamente a la vida en ambientes montañosos, donde actualmente existe como la única especie dominante.

PLASTICIDAD FENOTÍPICA EN LENGUA

Premoli y Mathiasen (2013) indican que la plasticidad fenotípica es la capacidad de responder a las presiones ambientales sin involucrar modificaciones genéticas (aclimatación). Es decir, un individuo puede modificar su morfología, su fisiología e incluso su comportamiento en respuesta al ambiente, sin que estas modificaciones sean de origen genético o transmisibles a su descendencia. Dichas autoras señalan que una forma de discernir entre diferencias genéticas o plasticidad fenotípica en plantas es mediante experimentos donde se cultivan bajo condiciones homogéneas a plantas provenientes de distintos ambientes. Si las diferencias en los caracteres morfológicos fueran genéticas, las mismas deberían mantenerse en el cultivo. Si, por el contrario, las plantas resultaran similares morfológicamente, implica que la variación observada en campo se trataba de plasticidad fenotípica.

Mathiasen (2010) analiza la diferenciación poblacional mediante la variación observada en caracteres cuantitativos (QST^3) y demuestra que las plantas originarias de sitios de altura presentan una mayor plasticidad en cuanto al tamaño de las hojas, pudiendo producir hojas más grandes cuando las condiciones son favorables; por su parte, las plantas originarias de sitios de menor altitud producen hojas de mayor tamaño, independientemente del ambiente donde se encuentren. Sin embargo, el carácter forma de las hojas estaría fijado, ya que las plantas de sitios altos siempre producen hojas más alargadas y las de sitios bajos más redondeadas, lo cual estaría estrechamente relacionado con la irradiación (Premoli *et al.*, 2007). Las plantas de menor altitud parecerían tener mayor plasticidad para responder a ambientes cambiantes, lo que se podría relacionar con el mayor polimorfismo genético medido en poblaciones de menor altitud (Premoli, 2003). Al respecto Linhart y Grant (1996) establecen que especies con altos niveles de plasticidad fenotípica contienen una baja diferenciación genética.

Premoli *et al.* (2012) indican que la variación fenotípica puede resultar de la expresión variable de determinados genotipos en distintos ambientes (plasticidad fenotípica), o de la adaptación, lo cual implica la selección de distintos genotipos bajo condiciones ambientales heterogéneas.

Acosta *et al.* (2012) establecen que una mayor plasticidad fenotípica resulta en una mayor resiliencia de *N. antarctica* a las condiciones cambiantes de la Patagonia. Premoli *et al.* (2012) mencionan que poblaciones de *N. antarctica* sufrieron en menor grado los efectos de la deriva genética, que tiende a erosionar la variación genética en poblaciones pequeñas y relativamente aisladas de *N. pumilio* especialmente hacia el norte de su distribución.

Mediante experimentos de trasplantes recíprocos, Premoli y Mathiasen (2011) demuestran que en las poblaciones de mayor altitud los caracteres se encuentran fijados genéticamente; demuestran también que las poblaciones de menor altura tendrían mayor capacidad de respuesta ante condiciones cambiantes del medio físico, lo que se debería a una mayor diversidad genética y/o plasticidad fenotípica (Mathiasen, 2010).

Los estudios en *N. pumilio* sugieren plasticidad fenotípica en características morfológicas relacionadas con el uso del agua, e indican que la fotosíntesis estaría bajo un fuerte control genético.

CONSERVACIÓN *EX SITU* Y MANEJO FORESTAL DE LENGA

Mathiasen y Premoli (2010) establecen que las poblaciones del sur sufrirían más el efecto de la endogamia y el aislamiento que las del norte, por cuanto en estas últimas los alelos perjudiciales ya habrán sido purgados por la selección, lo cual debe ser tenido en cuenta al momento de diseñar prácticas de manejo en esta especie de interés forestal. Lo anterior se puede traducir en que las cortas de protección serían más apropiadas al norte de la latitud 42°S, mientras que al

3 QST : Mide el grado de diferenciación genética poblacional calculada a partir de caracteres cuantitativos.

sur se debería trabajar favoreciendo intensamente la competencia, por ejemplo, a través de los diagramas de densidad para purgar los alelos recesivos.

Las poblaciones de lenga de altitudes inferiores han sido sistemáticamente destruidas en Chile, tal como lo hace ver Elizalde (1970), situación que es de extrema gravedad en el contexto de soportar el cambio climático global. Al respecto, Mathiasen (2010) establece que la plasticidad que muestran los árboles de sitios de menor altitud, permitiría que las poblaciones de *N. pumilio* asciendan altitudinalmente en respuesta al aumento de la temperatura que está ocurriendo a nivel mundial. De esta forma, la especie podría ser capaz de sobrellevar los cambios futuros, no obstante, si tales bosques ya no existen difícilmente podrán aprovechar esta alternativa.

En las poblaciones localizadas hacia el norte de la distribución de lenga, donde el clima es más cálido, las condiciones climáticas venideras podrían no ser favorables en ambientes de altura, debido al estrés hídrico que ocurrirá en respuesta al aumento de la temperatura ambiente, conduciendo a la extinción local (Mathiasen, 2010).

De acuerdo con Premoli (1998) Tierra del Fuego es un área donde lenga muestra su óptimo ecológico, posee características genéticas particulares y exhibe la mayor diversidad genética. En este caso debería priorizarse el desarrollo de planes de manejo utilizando información genética y que incluyan prácticas de conservación *in situ* y *ex situ* para preservar dichas variantes genéticas únicas. Un punto de partida es estimar la línea base de la heterocigosidad en las poblaciones naturales y así proporcionar un punto de referencia para los niveles naturales de diversidad genética dentro de las especies, luego será posible comparar la diversidad genética de las poblaciones manejadas (Savolainen y Kärkkäinen, 1992).

Los esfuerzos para restaurar bosques de lenga deben considerar el uso de plantas nodrizas de especies pioneras, incluidas especies exóticas. Después de 5 a 7 años de establecidas las nodrizas se debe establecer la lenga bajo la protección lateral de aquellas. Las lengas deben proceder de poblaciones locales, de altitudes bajas y de la misma procedencia de la población a restaurar. Para la restauración se puede seguir el procedimiento sugerido por Lowe (2010), donde las plántulas usadas en la restauración deben maximizar la variabilidad genética, usando un número de familias no emparentadas de aproximadamente 40 madres para efectos de minimizar la endogamia dentro de la población restaurada.

Para fines de conservación *ex situ* a nivel nacional, resulta aconsejable establecer como mínimo del orden de cuatro ensayos de progenies y procedencias, que consideren los límites fijados por Mathiasen (2010), zona norte, zona intermedia, zona sur y Tierra del Fuego como una cuarta unidad. Dentro de cada unidad se deberían muestrear al menos cinco puntos en sentido latitudinal y en cada uno de ellos diez puntos altitudinales. Lo anterior permitiría contar con un total de 200 familias, las que se deberían plantar en cada una de las cuatro zonas previamente definidas.

REFERENCIAS

- Acosta, M.; Mathiasen, P. y Premoli, A., 2012.** Predominant regeneration strategy results in species specific genetic patterns in sympatric *Nothofagus* s.s. congeners (*Nothofagaceae*). *Australian Journal of Botany* 60(4): 319-327.
- Allendorf, F., Luikart, G. y Aitken, S., 2013.** Conservation and the Genetics of Populations. Second Edition. Wiley-Blackwell. 630 p.
- Elizalde, R., 1970.** La supervivencia de Chile: La conservación de sus recursos naturales renovables. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. 532 p.
- Linhart, Y. y Grant, M., 1996.** Evolutionary Significance of Local Genetic Differentiation in Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27, 237- 277.
- Lowe, A., 2010.** Composite provenancing of seed for restoration: progressing the 'local is best' paradigm for seed sourcing. The State of Australia's Birds 2009: restoring woodland habitats for birds. Compiled by David Paton and James O'Conner. Supplement to Wingspan 20(1) March.
- Mathiasen, P., 2010.** Variación y estructura genética en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser «lenga» a lo largo de diferentes gradientes ambientales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Comahue, S.C. de Bariloche, Río Negro, Argentina.
- Mathiasen, P. y Premoli, A., 2010.** Out in the cold: genetic variation of *Nothofagus pumilio* (*Nothofagaceae*) provides evidence for latitudinally distinct evolutionary histories in austral South America. *Molecular Ecology* 19: 371-385.
- Premoli, A., 1998.** The use of genetic markers to conserve endangered species and to design protected areas of more widespread species. In: Recent advances in biotechnology for tree conservation and management. Proceedings of the international workshop. (Ed. International Foundation for Science) Pp: 157-171. (Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, Santa Catarina, Brazil)
- Premoli, A., 2003.** Isozyme polymorphisms provide evidence of clinal variation with elevation in *Nothofagus pumilio*. *Journal of Heredity* 94, 218-226.
- Premoli, A., 2004.** Variación en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser. En: Donoso, C.; Premoli, A.; Gallo, L. e Ipinza, R. (Editores). Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los Bosques Templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago. Pp: 145-166.
- Premoli, A. y Brewer, C., 2007.** Environmental vs. genetically driven variation in ecophysiological traits of *Nothofagus pumilio* from contrasting elevations. *Australian Journal of Botany* 55: 585-591.
- Premoli, A.; Raffaele, E. y Mathiasen, P., 2007.** Morphological and phenological differences in *Nothofagus pumilio* from contrasting elevations. *Austral Ecology* 32: 515-523.
- Premoli, A. y Mathiasen, P., 2011.** Respuestas ecofisiológicas adaptativas y plásticas en ambientes secos de montaña: *Nothofagus pumilio*, el árbol que acaparó los Andes australes. *Ecología Austral* 21: 251-269.
- Premoli, A.; Acosta M.; Mathiasen, P. y Donoso, C., 2012.** Variación genética en *Nothofagus* (subgénero *Nothofagus*). *BOSQUE* 33(2): 115-125.
- Premoli, A. y Mathiasen P., 2013.** Decálogo de la Lengua. Desde la Patagonia. Difundiendo Saberes. Vol. 10 N° 16 (ISSN 1668-8848).
- Rusch, V. E., 1993.** Altitudinal variation in the phenology of *Nothofagus pumilio* in Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 131-141.
- Savolainen, O. y Kärkkäinen, K., 1992.** Effect of forest management on gene pools. *New Forests* 6: 329- 345.
- Suárez, M. y Márquez, M., 2007.** Cuenca de retroarco toarciana en Patagonia central (Chubut), Argentina: Cierre, migración del arco y ambiente tectónico durante el Jurásico Medio. *Revista Geológica de Chile* 34:63-79.
- Torres-Díaz, C.; Ruiz, E.; González, F.; Fuentes, G. y Cavieres, L., 2007.** Genetic diversity in *Nothofagus alessandrii* (*Fagaceae*), an endangered endemic tree species of the Coastal Maulino Forest of Central Chile. *Annals of Botany* 100: 75-82.

Capítulo 16

EVALUACIÓN GENÉTICA A LOS 8 Y 11 AÑOS DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE LENGA (*Nothofagus pumilio*) EN LA RESERVA NACIONAL COYHAIQUE, REGIÓN DE AYSÉN

Roberto Ipinza Carmona¹

Braulio Gutiérrez Caro²

INTRODUCCIÓN

Los bosques de lenga constituyen uno de los principales recursos forestales nativos de Chile. La superficie que ellos representan corresponde a más del 25% de la superficie de bosques naturales en el país y presentan algunas características que los hacen especialmente interesantes para sustentar una actividad productiva económicamente rentable.

Entre otras características de interés, estos bosques se encuentran fuertemente concentrados en las regiones australes del país, donde las severas condiciones ambientales restringen el cultivo de otras especies forestales.

Los bosques presentan una estructura relativamente simple, donde abundan las formaciones puras y coetáneas que facilitan su manejo. Adicionalmente su madera es de reconocida calidad, constituyendo uno de los principales productos de exportación generados en el bosque nativo.

Atendiendo a las potencialidades que ofrece este recurso, resulta de interés mejorar su productividad, y para este efecto la aplicación de técnicas de mejoramiento genético resulta particularmente apropiada.

Al respecto, los métodos tradicionales de mejora genética se basan en la evaluación de variables fenotípicas en individuos con relaciones de parentesco conocidas (comúnmente medios hermanos, hijos de madre conocida y padre indeterminado), establecidos en ensayos denominados de progenies, con el objeto de determinar las mejores madres o mejores hijos para incorporarlos a los programas de mejora, reproducirlos y establecerlos en plantaciones de mejor desempeño.

En esta evaluación se hace uso de procedimientos de genética cuantitativa y modelos lineales mixtos para separar la varianza fenotípica total, de las variables medidas en el ensayo, en sus componentes ambiental y genético, con la finalidad de estimar valores genéticos aditivos y otros parámetros genéticos de utilidad para identificar a los individuos más apropiados.

¹ Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

² Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

El resultado del análisis cuantitativo es el mejor predictor lineal insesgado del valor genético para cada individuo, valor normalmente denominado como BLUP y que es utilizado por los mejoradores para seleccionar los mejores árboles.

En tal contexto, en el presente documento se entrega una evaluación dasométrica y otra de genética cuantitativa de un ensayo de progenies de lenga evaluado tempranamente, a los 8 y 11 años de edad, con el objeto de proporcionar información que contribuya al mejoramiento genético de esta importante especie forestal.

CRECIMIENTO DE LENGA

De acuerdo con los antecedentes compilados por Gutiérrez y Molina (2006) los árboles de lenga tienen un buen crecimiento juvenil en altura, mientras crecen bajo dosel o protegidos por el relieve y la posición topográfica.

El crecimiento en altura se limita en el momento en que los individuos del dosel superior se ven expuestos a la acción mecánica y al efecto secante del viento (Bastías, 2005; Labarthe, 2005).

El crecimiento en altura y diámetro de renovales de lenga está influenciado por la luz que reciben los árboles, obteniendo los mejores crecimientos en áreas de menor cobertura, demostrándose la baja tolerancia de la especie.

En general, se puede indicar que la especie alcanza una altura media de 25 a 27 m, llegando hasta los 30 m en sectores protegidos de la Región de Aysén (Uriarte y Grosse, 1991).

En Magallanes, los árboles maduros de lenga alcanzan generalmente alturas entre 15 y 20 m, llegando excepcionalmente a los 27 m (Dollenz, 1995, cit. por Troncoso, 2004).

Durante los primeros 70 años lenga presenta un crecimiento en altura de 25 a 35 cm/año. Posteriormente, este crecimiento disminuye a 10 cm/año entre los 90 y 100 años, a 4 cm/año entre los 140 y 150 años y a 1 cm/año entre los 190 y 200 años (Manosalva, 1995).

Larson (2000; cit. por Labarthe, 2005), agrega que en la región de Magallanes, a los 90 años de edad, el incremento anual medio en altura es de 20 cm/año.

Respecto al diámetro, Schmidt y Urzúa (1982) señalan que en condiciones naturales lenga presenta un incremento diametral muy bajo, alcanzando en promedio un valor de 1,7 mm/año; sin embargo encontraron árboles cuyos incrementos diametrales promedio son superiores a los 4 mm/año. Para el caso de los renovales sometidos a raleo el incremento diametral medio va desde 2,1 hasta 4,9 mm/año (Larson, 2000).

Para un bosque natural en Aysén, Sievert (1995, cit. por Troncoso, 2004) señala que los árboles individuales de lenga presentaban valores de incremento diametral anual promedio de 1,91 mm/año, variando desde un mínimo de 0,5 mm/año hasta un máximo de 5 mm/año.

En las mediciones de crecimiento en bosques intervenidos se han detectado incrementos diametrales hasta cuatro veces superiores al promedio natural, lo que sugiere que mediante tratamientos silviculturales es posible mejorar sustancialmente el crecimiento de los árboles en estos bosques (Troncoso, 2004).

Efectivamente, en rodales de Magallanes continental, luego de una corta de regeneración, se observaron crecimientos diametrales de entre 2,8 a 3,1 mm/año en árboles juveniles y maduros, superando en más del doble a los 1,7 mm/año registrados antes de la intervención. Incluso los árboles sobremaduros experimentaron un aumento en sus incrementos diametrales.

La misma corta de regeneración aplicada en rodales de Tierra del Fuego, también generó un aumento del crecimiento en diámetro en todas las categorías de árboles considerados. En individuos juveniles el incremento fue de 1,1 a 2,1 mm/año; en maduros de 1,0 a 1,4 mm/año y en sobremaduros de 1,0 a 1,3 mm/año (Troncoso, 2004)

De igual forma, se observa una respuesta positiva del incremento en diámetro ante intervenciones de raleo efectuadas en un bosque primario con árboles juveniles en fase de crecimiento óptimo final. En este caso el incremento diametral anual después de la intervención (1,9 mm/año) es un 25% superior al registrado antes de la misma.

Análogamente, ante raleos por lo bajo aplicados en bosques de 90 años, el incremento diametral (2,5 mm/año) supera en un 20% al calculado antes de la intervención (Troncoso, 2004). Las respuestas obtenidas ante mayores intensidades de raleo son aún mejores (Schmidt *et al.*, 2001).

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del Ensayo

Se analizan las mediciones de altura y diámetro de cuello (DAC) efectuadas a los 8 y 11 años de edad de un ensayo de progenies de lenga establecido en el año 2000 en la Reserva Forestal Coyhaique.

El ensayo fue establecido en fajas habilitadas bajo el dosel de una plantación de coníferas pre-existente. Se utilizó un diseño estadístico de bloques al azar, en cada uno de los cuales cada progenie fue representada por una parcela de un árbol (*single tree plot*).

En este ensayo se representaron las progenies (hijos) de árboles selectos en función de la superioridad de sus características productivas, identificados en 3 regiones de procedencias definidas para la región de Aysén.

Las regiones de procedencia consideradas en el ensayo corresponden a Cerro Catedral, Mallín Grande y Río Cajón (Cuadro N° 1). En ellas fueron seleccionados 4 categorías de árboles (*plus*, banco, fundador y conservación), a los cuales se les extrajo semillas. Se produjo las plantas y se estableció el ensayo de progenies que ahora se evalúa (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 1
REGIONES DE PROCEDENCIA REPRESENTADAS EN ENSAYO DE PROGENIES DE LENGA

Región de Procedencia	Descripción
Cerro Catedral	Ubicado a 150 km al noreste de la ciudad de Coyhaique, presenta un clima Trasandino con Degeneración Esteparia de acuerdo a la clasificación Köppen. Las precipitaciones del sector varían entre 900 y 1.300 mm al año. La topografía del lugar es montañosa, caracterizada por pendientes escarpadas, de muy difícil acceso, llegandose en vehículo a unos 4 km. de inicio de montaña.
Río Cajón	Está ubicado a unos 140 km al suroeste de la ciudad de Coyhaique. Estos sectores se encuentran bajo la influencia del clima Marítimo Frío Lluvioso de la Costa Occidental, según Köppen, caracterizándose por la alta pluviometría del sector entre los 2.500 y 3.000 mm al año. Al igual que el caso anterior, la topografía del sector es montañosa con pendientes escarpadas, aun así es la procedencia más accesible en cuanto a logística.
Mallín Grande	Está ubicado a unos 280 km. al sur de Coyhaique, el clima de esta área se encuentra influenciado por el Lago General Carrera, ya que corresponde teóricamente a un clima Estepario Frío, según Köppen, pero modificado por grandes espejos de agua, al igual que los anteriores la topografía es montañosa con pendientes escarpadas, siendo esta la procedencia más alejada e inaccesible.

Cuadro N° 2
CÓDIGO DE PROGENIES Y CATEGORÍAS DE LOS ÁRBOLES REPRESENTADOS
EN PRUEBA DE PROGENIES DE LENGA

Código de Progenie	Categoría	Región de Procedencia
1 al 4	plus	Cerro Catedral
5 al 8	banco	Cerro Catedral
9 al 89	fundador	Cerro Catedral
90 al 92	plus	Río Cajón
93 al 95	banco	Río Cajón
96	conservación	Río Cajón
97 al 149	fundador	Río Cajón
150	plus	Río Cajón
151	banco	Río Cajón
152 al 199	fundador	Río Cajón
200 al 213	plus	Mallín Grande
214 al 224	banco	Mallín Grande
225 al 226	conservación	Mallín Grande
227 al 307	fundador	Mallín Grande

Las categorías representadas en el ensayo de progenies corresponden a:

-Plus: En selección masal es un árbol de características claramente superiores al resto y que se recomienda representarlo en un huerto semillero clonal para producir semilla mejorada y en una prueba de progenies para validar su calidad genética.

- **Banco:** Árbol de características superiores similares a las de un individuo *plus*, pero sobre el cual existen dudas del origen genético de su superioridad. Se recomienda validar sus características en una prueba de progenies antes de representarlo en un huerto semillero. En el intertanto se recomienda mantenerlo en un banco clonal

- **Conservación:** Árbol que exhibe algunas características sobresalientes, sin presentar una combinación óptima de todas ellas. Es un árbol que se justifica conservarlo debido a su valor productivo

- **Fundador:** Es un árbol de menor intensidad de selección que se escoge por ser de características superiores al promedio de los individuos de su región de procedencia, pero sin constituir un árbol sobresaliente como los *plus* o banco.

En total la prueba considera 2.466 árboles pertenecientes a 111 progenies distribuidas de acuerdo al detalle del Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3
TOTAL DE ÁRBOLES CONSIDERADOS EN PRUEBA DE PROGENIES DE LENGA

Región de Procedencia	Bloques (N°)	Progenies (N°)	Árboles (N°)
Mallín Grande	26	39	1.014
Río Cajón	18	33	594
Cerro Catedral	22	39	858
Total	66	111	2.466

El esquema general con la distribución de los bloques y fajas que componen el ensayo se presenta en la Figura N° 1.

El detalle de la distribución de las progenies en los bloques de cada una de las regiones de procedencias consideradas se presenta en las Figuras N° 2, N° 3 y N° 4.

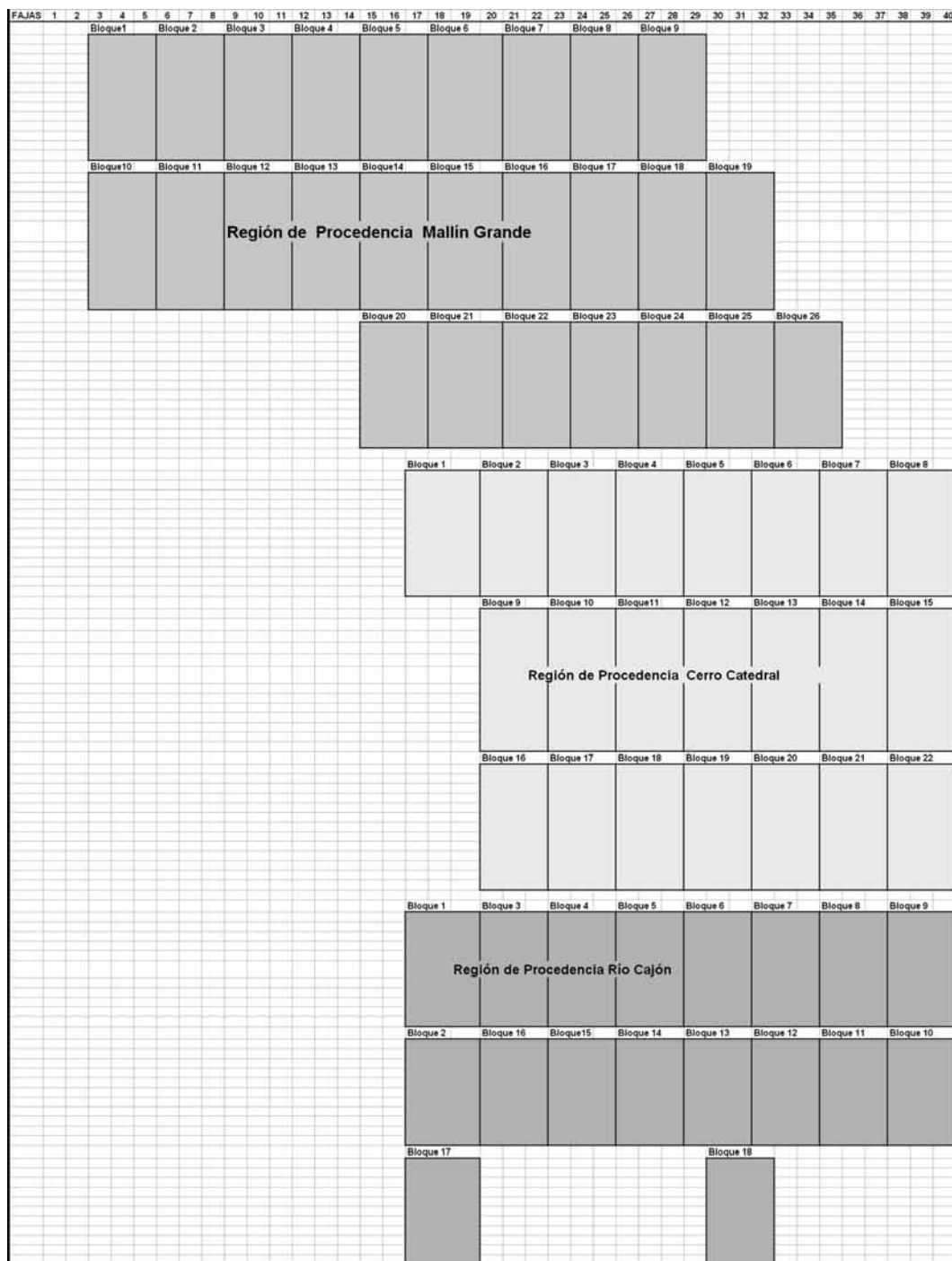


Figura N° 1
ESQUEMA GENERAL DE LA PRUEBA DE PROGENIES DE LENGUA

Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN DE PROGENIES EN LOS BLOQUES DE LA REGION DE PROCEDENCIA MALLIN GRANDE

Figura N° 3
DISTRIBUCIÓN DE PROGENIES EN LOS BLOQUES DE LA REGIÓN DE PROCEDENCIA CERRO CATEDRAL

Figura N° 4
DISTRIBUCIÓN DE PROGENIES EN LOS BLOQUES DE LA REGIÓN DE PROCEDENCIA RIO CAJÓN

Se usan elementos de estadística descriptiva para representar la situación de las variables altura y diámetro de cuello a la edad 11 años. Posteriormente se comparan los valores observados con los reportados en bibliografía.

Se utilizó un modelo aditivo de árbol individual (Borralho, 1995), suponiendo que no hay efectos de dominancia ni epistasia. El modelo incluye como efectos fijos a la media general y el efecto bloque, e incluye como efecto aleatorio genético aditivo al efecto árbol. Por último, se incluye un error aleatorio distribuido normalmente (e) con media cero y varianza σ_e^2 , de modo que en notación matricial el modelo queda descrito como se detalla en la expresión (1).

Donde $\mathbf{y}$ es el vector de fenotipos, que contiene las observaciones de árboles; $\boldsymbol{\mu}$ es la media; $\mathbf{X}$ y $\mathbf{Z}$ son las matrices de incidencia de los efectos genéticos aleatorios; $\mathbf{b}$ es un vector de coeficientes de regresión; $\mathbf{u}$ es el vector que contiene los efectos genéticos aditivos ($\mathbf{u} \sim \mathbf{N}(\mathbf{0}, \mathbf{G}\sigma_u^2)$); y $\mathbf{e}$ es el vector que contiene los residuos ($\mathbf{e} \sim \mathbf{N}(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma_e^2)$).

Al considerar tres rasgos (trivariado) se puede particionar las observaciones del vector y , en partes para cada rasgo. El vector de valores de mejora también es particionado en diferentes rasgos, de forma tal que un árbol (madre o progenie) tiene un valor de mejora para cada uno de los rasgos en el análisis.

El vector y_1 representa las n_1 observaciones para el rasgo altura, el vector y_2 representa las n_2 observaciones para el rasgo diámetro y finalmente el vector y_3 representa las n_3 observaciones para el rasgo rectitud. Entonces, para cada rasgo se puede escribir un modelo mixto:

$$y_i = X_i b_i + Z_i u_i + e_i$$

Donde hay p_i efectos fijos asociado con el rasgo i de forma tal que X_i es un matriz de $n_i \times p_i$ y b_i es un vector columna $p_i \times 1$. X_i y Z_i son las matrices de incidencia para los efectos fijos y efectos aleatorios para el rasgo i , respectivamente.

El modelo para rasgos múltiples se puede representar como sigue:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix}$$

No todos los arboles tiene una observación para cada rasgo. Algunos árboles pueden ser representados en y_1 , pero no en y_2 , o viceversa. Sin embargo todos los arboles poseen un valor de mejora para cada rasgo en el análisis, independiente si ellos tienen una observación para ese rasgo.

Los vectores y_1, y_2 y y_3 (y e_1, e_2 y e_3) no necesariamente tienen la misma longitud, pero u_1, u_2 y u_3 son siempre iguales en longitud al número de árboles en el análisis.

Para obtener las ecuaciones del modelo mixto para estimar el vector b y los valores de mejora del vector u , se requiere especificar las matrices de covarianza R y G , asociadas con el vector $e=(e_1, e_2, e_3)'$ de errores residuales y el vector $u=(u_1, u_2, u_3)'$ de efectos aleatorios.

Para los valores de mejora se puede escribir:

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad \text{var}(u) = G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} \end{bmatrix}$$

Si $\sigma^2_{g_{ii}}$ es la varianza genética del rasgo i , y $\sigma_{g_{ij}}$ es la covarianza genética entre dos rasgos, en el mismo árbol, se puede definir una matriz de covarianza genética de 3×3 .

$$G_o = \begin{bmatrix} \sigma^2_{g_{11}} & \sigma_{g_{12}} & \sigma_{g_{13}} \\ \sigma_{g_{21}} & \sigma^2_{g_{22}} & \sigma_{g_{23}} \\ \sigma_{g_{31}} & \sigma_{g_{32}} & \sigma^2_{g_{33}} \end{bmatrix}$$

Cada parte de **G** es obtenida por la multiplicación de la matriz de parentesco (**A**), con la varianza de un rasgo (diagonal de la matriz de parentesco, σ_{gii}^2 de **A**) o la covarianza entre rasgos.

La matriz de parentesco aditiva, **A** esta basada en el pedigrí. La matriz **A** tiene un elemento diagonal igual a $1+F_i$, donde F_i es el coeficiente de endogamia para el *i-esimo* individuo, y la matriz superior e inferior es igual al parentesco aditivo A_{ij} , entre el árbol *i* y *j*. Se utilizaron variantes, donde se consideró la procedencia: como efecto aleatorio, como efecto fijo, y sin considerarla.

El modelo corresponde al de polinización abierta, donde los individuos dentro de esta familia se asumen como medios hermanos. También se considera que los progenitores no están relacionados, y las madres son los únicos progenitores conocidos dando origen a medios hermanos, donde todos los árboles se asumen sin endogamia, es decir $F_i = 0$, y el parentesco genético aditivo es de 0,25 o 0,0 para arboles con diferentes padres (con polen no relacionado), arboles medios hermanos maternos y arboles no relacionados.

- Componentes de Varianza

La máxima verosimilitud restringida (REML) se usa para estimar las varianzas para los efectos aleatorios del modelo de árbol individual y estas fueron obtenida mediante ASREML que utiliza el algoritmo de información promedio descrito por Gilmour *et al.* (2002).

La heredabilidad individual en sentido restringido (h^2) se calculó como:

$$h^2 = \sigma_a^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_e^2)$$

Donde, σ_i^2 con $i = a$, y e son los valores aditivo del árbol y el residuo respectivamente. Un error estándar aproximado de σ_i^2 y h^2 se calculó con el método delta basado en la expansión de una serie de Taylor, usando ASREML.

- Correlaciones

Los valores fenotípicos de diferentes rasgos en el mismo árbol están normalmente correlacionados, tal como la altura y el diámetro. En forma similar a la partición a la varianza fenotípica, se puede descomponer la correlación fenotípica (r_p) en un componente genético (r_A) y en un componente ambiental o residual (r_E).

$$r_p = r_A + r_E$$

La correlación fenotípica r_p o la correlación observada de los rasgos se define como $r_p = \text{cov}(P_1, P_2) / \sigma_{P1} * \sigma_{P2}$, donde la $\text{cov}(P_1, P_2)$ es la covarianza de los valores fenotípicos de cada rasgo y σ_{P1} y σ_{P2} las correspondientes desviaciones estándar fenotípicas de los rasgos. En estricto rigor la suma de la correlación genética y ambiental no da la correlación fenotípica.

La correlación genética se define como:

$$r_A = \text{cov}(v_1, v_2) / \sigma_{A1} * \sigma_{A2}$$

Donde $\text{cov}(\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2)$ es la covarianza entre los valores aditivos de cada rasgo, y σ_{A1} y σ_{A2} las correspondientes desviaciones estándar aditiva de los rasgos.

La correlación ambiental o residual r_E es definida como:

$$r_E = \text{cov}(E_1, E_2) / \sigma_{E1} * \sigma_{E2},$$

Donde $\text{cov}(E_1, E_2)$ es la covarianza entre los valores residuales de cada rasgo, y σ_{E1} y σ_{E2} las correspondientes desviaciones estándar ambientales o residuales de los rasgos.

Para cada correlación ASREML, también estima su respectivo error estándar de acuerdo a Gilmour *et al.* (2002).

- Predicción del Valor de Mejora

El análisis de la prueba de progenie y procedencia involucra dos etapas: La primera corresponde a la estimación de los componentes de varianza y la segunda a la predicción de los valores genéticos o de mejora para cada uno de los árboles (madres e hijos), usando los componentes de varianza estimados en la primera etapa.

El valor genético es obtenido a través del **BLUPs** (Best Linear Unbiased Predictors) para cada uno de los progenitores maternos y cada uno de los hijos.

A partir de los valores de mejora estimados para cada árbol en las seis variables evaluadas, se confeccionó un índice simple que combina el valor obtenido en cada variable, ponderado por su correspondiente heredabilidad.

El ordenamiento de mayor a menor de este índice conforma el *ranking* de valores genéticos del ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Dasométrico Descriptivo

La evaluación del ensayo a los 11 años de edad arroja una supervivencia promedio de 58,5%, con valores medios de altura y diámetro de 2,14m y 21,8mm respectivamente.

Los valores descriptivos del ensayo a nivel de procedencias, junto con la información de supervivencia de las mismas, se presenta en el Cuadro N°4.

Cuadro N° 4
SUPERVIVENCIA Y DESCRIPCIÓN DASOMÉTRICA DE ENSAYO
DE PROGENIES DE LENGUA A LOS 11 AÑOS DE EDAD

Procedencias	Variable	Prom	Desvest	Min	Max
Mallín Grande (n=673) Supervivencia 66,3%	Altura (cm)	199,8	87,7	45,0	430,0
	DAC (mm)	19,7	9,6	4,0	80,0
Cerro Catedral (n=705) Supervivencia 82,1%	Altura (cm)	229,5	90,7	45,0	495,0
	DAC (mm)	23,8	9,4	3,6	76,5
Rio Cajón (n=66) Supervivencia 11,1%	Altura (cm)	211,1	92,1	35	390,0
	DAC (mm)	21,5	8,9	7,6	42,1
Promedio general (n=1.444) Supervivencia 58,5%	Altura (cm)	214,6	90,3	35,0	495,0
	DAC (mm)	21,8	9,7	3,6	80,0

Prom: Promedio Desvest: Desviación estándar Min: Valor mínimo Max: Valor máximo

En términos generales el mejor desempeño en supervivencia y variables de crecimiento lo presenta la procedencia Cerro Catedral. La procedencia Rio Cajón, si bien exhibe valores de altura y diámetro intermedios entre las otras dos procedencias evaluadas, amerita una consideración especial, por cuanto su supervivencia es extremadamente baja, verificándose que los individuos remanentes que fueron evaluados corresponden fundamentalmente a testigos y otros individuos presentes en el sub-ensayo Rio Cajón, pero pertenecientes a familias ajenas a las de esa procedencia.

Los valores observados en las variables de crecimiento entregan incrementos medios anuales del orden de 19,5 cm/año para la altura y de 2,0 mm/año para el diámetro. Independiente de las ligeras diferencias expresadas a nivel de procedencias, los incrementos medios anuales en ambas variables parecen ser bajos al contrastarlos con los reportados por la bibliografía. En efecto, el incremento medio anual para altura durante los primeros 70 años de vida de árboles de lenga es de 25 a 35 cm/año (Manosalva, 1995), muy superior al observado en el ensayo. Por su parte, el valor observado resulta coincidente con el publicado por Larson (2000; cit. por Labarthe, 2005) para árboles de lenga de 90 años de edad en la región de Magallanes.

Diversos autores señalan que los árboles de lenga tienen un buen crecimiento juvenil en altura, mientras crecen bajo dosel o protegidos por el relieve y la posición topográfica. Los reducidos valores de crecimiento en altura observados en el ensayo pueden obedecer a distintas causas, entre ellas al hecho de que los individuos se encuentran en una fase equivalente a la de regeneración, que no han alcanzado aún la etapa de crecimiento óptimo, o a que el dosel de protección ha sido demasiado denso, situación que también puede limitar su crecimiento al impedir un adecuado ingreso de radiación solar.

Respecto al diámetro, Schmidt y Urzúa (1982) señalan que en condiciones naturales lenga

presenta un incremento diametral muy bajo, alcanzando en promedio un valor de 1,7 mm/año. Para un bosque natural en Aysén, Sievert (1995, cit. por Troncoso, 2004) señala que los árboles individuales de lenga presentaban valores de incremento diametral anual promedio de 1,91 mm/año. Estos valores si bien son de la misma magnitud de los observados en el ensayo evaluado, corresponden a bosques naturales adultos y sin manejo, los cuales deberían presentar un crecimiento inferior al de una plantación manejada, como es el caso del ensayo. Por otra parte, los valores reportados corresponden a incrementos en el diámetro a la altura del pecho (DAP), mientras que en el caso del ensayo corresponden al diámetro a la altura del cuello (DAC), situación que hace más evidente el menor crecimiento diamétrico observado en el ensayo. La explicación del escaso crecimiento en diámetro pueden ser las mismas que se argumentan para el crecimiento en altura.

Análisis Genético Cuantitativo

Los parámetros genéticos heredabilidad (h^2), correlaciones genéticas aditivas y correlaciones fenotípicas para las variables altura y diámetro de cuello de lenga a los 8 y 11 años de edad se presentan en los cuadros 5, 6 y 7, respectivamente.

Cuadro N° 5
HEREDABILIDAD Y ERROR ESTÁNDAR PARA ALTURA Y DIÁMETRO DE CUELLO
DE LENGA A LOS 8 Y 11 AÑOS DE EDAD

Edad	Altura	DAC
8 años	0,2289 $\pm$ 0,0720	0,1937 $\pm$ 0,0665
11 años	0,1816 $\pm$ 0,0633	0,2741 $\pm$ 0,0805

Cuadro N° 6
CORRELACIONES GENÉTICA ADITIVA Y SUS RESPECTIVOS ERRORES ESTÁNDAR
PARA ALTURA Y DIÁMETRO DE CUELLO DE LENGA A LOS 8 Y 11 AÑOS DE EDAD

Variable	Altura _{8AÑOS}	DAC _{8AÑOS}	Altura _{11AÑOS}
DAC _{8AÑOS}	0,9793 $\pm$ 0,0403	-	
Altura _{11AÑOS}	1,0000 $\pm$ 0,0173	1,0000 $\pm$ 0,0353	-
DAC _{11AÑOS}	0,9423 $\pm$ 0,0415	1,0000 $\pm$ 0,0198	0,9941 $\pm$ 0,0253

Cuadro N° 7
CORRELACIONES FENOTÍPICAS Y SUS RESPECTIVOS ERRORES ESTÁNDAR
PARA ALTURA Y DIÁMETRO DE CUELLO DE LENGA A LOS 8 Y 11 AÑOS DE EDAD

Variable	Altura _{8AÑOS}	DAC _{8AÑOS}	Altura _{11AÑOS}
DAC _{8AÑOS}	0,7508 $\pm$ 0,0122	-	
Altura _{11AÑOS}	0,8785 $\pm$ 0,0062	0,7640 $\pm$ 0,0116	-
DACC _{11AÑOS}	0,7926 $\pm$ 0,0102	0,8406 $\pm$ 0,0082	0,8431 $\pm$ 0,0078

En términos de heredabilidad, se observa una evolución heterogénea de este parámetro en el tiempo. La heredabilidad de la altura experimenta un decrecimiento, desde 0,23 en el año 2008 a 0,18 en el 2011. Por su parte, la heredabilidad del DAC exhibe un aumento, desde 0,19 a 0,27 en el mismo periodo.

Las correlaciones entre las variables de crecimiento son altas para los valores fenotípicos y muy altas en los valores genéticos. La primera situación es esperable en variables que están naturalmente correlacionadas. En el segundo caso, valores de 1 y superiores reflejan alguna anomalía en los resultados, lo que en la práctica se interpreta, de acuerdo al análisis efectuado, como la existencia de una alta correlación entre las variables, sin ser relevante el valor específico de las mismas.

La elevada correlación entre las variables de la edad 8 con sus homólogas de la edad 11 indica que es factible predecir las últimas a partir de las primeras, pero aún así el intervalo es corto como para que esta relación se manifieste en una utilidad práctica.

Es por lo tanto importante repetir los análisis a edades avanzadas y verificar el comportamiento de la relación juvenil adulta. En forma natural esta relación tiende a disminuir en los valores fenotípicos y dificulta la posibilidad de efectuar selección precoz a partir de valores medidos en edades iniciales de los ensayos. A este respecto, las edades de 8 y 11 años son muy tempranas en el ciclo de vida y rotación comercial de lenga.

Respecto de los valores de mejora (*breeding values*) estimados para las cuatro variables analizadas, para cada árbol del ensayo y sus respectivas madres, estos se usaron para confeccionar el *ranking* individual y familiar del ensayo.

Considerando que las cuatro variables presentan una alta correlación, tal *ranking* pudo haberse confeccionado con cualquiera de las cuatro. No obstante con la finalidad de hacerlo más robusto y usar toda la información generada, se usaron las cuatro variables en un promedio ponderado por sus respectivas heredabilidades.

A nivel de madres, de las 81 progenies evaluadas el mejor desempeño de acuerdo al índice de selección confeccionado con sus valores de mejora lo expresa el testigo 6. Las 20 mejores madres de acuerdo a este índice se presentan en el Cuadro N° 8.

Repetiendo el mismo análisis a nivel de categoría y origen de cada madre se obtiene un *ranking* que se presenta en el Cuadro N° 9. Por último, usando el mismo procedimiento a nivel de árboles individuales se obtiene el *ranking* individual de los 1.444 árboles evaluados en el ensayo. Las primeras 50 posiciones de este ordenamiento se presentan en el Cuadro N° 10.

Del Cuadro N° 9 se destaca el buen rendimiento observado en los testigos y en general el regular a mal desempeño exhibido por las progenies de los árboles *plus*. Ambas situaciones denotan una desafortunada selección de los árboles *plus* comprendida en el programa de mejora de lenga.

Esta situación es comprensible, por cuanto se trató de una selección masal sin uso de información genética, como es habitual en los inicios de un programa de mejora que inicia la selección sobre bosques naturales.

En lo sucesivo, tras contarse con ensayos establecidos y evaluaciones cuantitativas se dispondrá de información adecuada para efectuar nuevas selecciones de segunda generación que serán más apropiadas.

Al observar los valores de mejora a nivel de procedencias se verifica que el mejor y peor desempeño corresponden a las de Cerro Catedral y Río Cajón, respectivamente, situación que es coincidente con la observada en la evaluación dasométrica descriptiva.

Cuadro N° 8
PRIMERAS 20 MADRES DEL RANKING*

Ranking	Familia	Categoría de Madre	Procedencia de Madre	Valores de Mejora				Índice
				Altura ₂₀₀₈ (cm)	DAC ₂₀₀₈ (mm)	Altura ₂₀₁₁ (cm)	DAC ₂₀₁₁ (mm)	
1	Testigo 6	Testigo	Testigo	56,72	5,17	78,74	10,25	35,4
2	16	Fundador	Cerro Catedral	40,44	4,04	61,06	8,07	26,6
3	51	Fundador	Cerro Catedral	28,20	3,01	47,85	6,28	19,9
4	215	Banco	Mallín Grande	29,17	2,69	44,63	4,78	18,9
5	24	Fundador	Cerro Catedral	32,95	2,54	38,03	4,69	18,4
6	31	Fundador	Cerro Catedral	29,05	2,06	36,83	5,36	17,3
7	23	Fundador	Cerro Catedral	26,69	2,59	37,75	5,46	17,0
8	34	Fundador	Cerro Catedral	28,49	2,59	33,21	5,21	16,5
9	228	Fundador	Mallín Grande	19,10	2,74	44,46	5,29	16,4
10	27	Fundador	Cerro Catedral	27,28	2,12	36,01	4,30	16,4
11	17	Fundador	Cerro Catedral	27,22	2,01	36,34	3,70	16,2
12	36	Fundador	Cerro Catedral	22,18	2,36	39,18	4,66	15,8
13	28	Fundador	Cerro Catedral	24,48	2,14	34,85	4,54	15,5
14	54	Fundador	Cerro Catedral	24,17	2,36	34,89	4,37	15,4
15	18	Fundador	Cerro Catedral	17,85	1,96	36,66	3,70	13,8
16	20	Fundador	Cerro Catedral	16,78	1,14	28,36	1,83	11,1
17	218	Banco	Mallín Grande	15,79	2,24	22,99	4,86	10,9
18	236	Fundador	Mallín Grande	17,62	1,59	21,68	3,11	10,4
19	32	Fundador	Cerro Catedral	13,63	1,37	26,70	2,24	10,1
20	217	Banco	Mallín Grande	17,29	1,81	16,49	3,53	9,4

*Ranking confeccionado en base a los valores de mejora familiar refundidos en un índice de selección que reúne a las variables Altura y DAC a los 8 y 11 años de edad, ponderadas por sus respectivas heredabilidades

Cuadro N° 9
ORDENAMIENTO DEL INDICE DE SELECCIÓN EN FUNCIÓN DEL ORIGEN DE CADA MADRE

Ranking	Procedencia de Madre	Categoría de Madre	Valores de Mejora				Índice
			Altura ₂₀₀₈	DAC ₂₀₀₈	Altura ₂₀₁₁	DAC ₂₀₁₁	
1	Cerro Catedral	fundador	16,10	1,39	22,83	2,76	10,1
2	Testigos	Testigos	5,57	0,80	11,47	1,13	4,4
3	Mallín Grande	banco	4,03	0,57	5,27	1,07	2,6
4	Mallín Grande	fundador	-6,29	-0,63	-8,63	-1,25	-4,0
5	Cerro Catedral	plus	-10,61	-1,05	-17,00	-2,26	-7,2
6	Cerro Catedral	banco	-11,77	-1,04	-19,43	-1,55	-7,8
7	Río Cajón	conservación	-19,11	-1,65	-27,15	-3,06	-11,9
8	Río Cajón	banco	-17,39	-2,09	-31,10	-4,41	-12,8
9	Mallín Grande	plus	-22,01	-1,71	-27,50	-3,33	-12,8
10	Río Cajón	plus	-22,05	-1,83	-35,31	-3,39	-14,5

A nivel de árboles individuales, de los 1.444 árboles evaluados el mejor desempeño corresponde a un árbol que es hijo de la madre 228 procedente de Mallín Grande, el cual se ubica en la faja 21 del séptimo bloque del sub-ensayo 1. No obstante la mayor participación dentro de las primeras posiciones del ranking la evidencian individuos identificados como Testigo 6, situación ya percibida en el *ranking* familiar y de procedencias. De la misma forma, el *ranking* individual evidencia que los árboles que ocupan las primeras posiciones son preferentemente hijos de madres seleccionadas en la procedencia Cerro Catedral, mientras que los hijos de las madres seleccionadas en Río Cajón no figuran en la cabecera del ranking individual.

Cuadro N° 10
PRIMERAS 50 POSICIONES DEL RANKING DE ÁRBOLES INDIVIDUALES*

R	Identificación del Árbol				Ubicación			Valores de Mejora				i
	Árbol	Madre	Categoría de Madre	Procedencia de Madre	SE	Faja	Bloq	Altura 2008 (cm)	DAC 2008 (mm)	Altura 2011 (cm)	DAC 2011 (mm)	
1	10547	228	Fundador	Mallín Grande	1	21	7	54,69	7,35	106,70	15,08	42,6
2	12628	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	34	20	57,54	5,45	84,24	10,86	37,0
3	12788	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	38	22	51,73	4,72	70,81	9,63	32,2
4	12360	36	Fundador	Cerro Catedral	2	27	4	44,36	4,72	78,37	9,31	31,7
5	12685	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	36	7	48,46	4,59	69,98	9,10	30,9
6	12492	6	Banco	Cerro Catedral	2	31	19	38,90	5,90	74,36	12,59	30,7
7	12846	20	Fundador	Cerro Catedral	2	40	15	47,67	3,93	70,14	7,60	30,2
8	12354	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	27	4	47,23	4,06	64,17	8,14	29,0
9	10124	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	7	11	45,65	4,37	64,79	8,82	29,0
10	12798	24	Fundador	Cerro Catedral	2	39	22	49,09	3,83	61,88	7,04	28,6
11	12357	24	Fundador	Cerro Catedral	2	27	4	46,39	3,86	62,72	7,41	28,2
12	12365	23	Fundador	Cerro Catedral	2	28	4	41,46	4,04	63,49	8,24	27,4
13	12851	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	40	15	42,12	4,11	62,20	8,28	27,3
14	12500	28	Fundador	Cerro Catedral	2	31	12	42,64	3,83	60,72	8,03	27,0
15	10239	228	Fundador	Mallín Grande	1	12	13	37,91	4,02	64,76	7,99	26,6
16	12356	20	Fundador	Cerro Catedral	2	27	4	39,76	3,52	62,43	6,62	26,1
17	12406	54	Fundador	Cerro Catedral	2	29	19	38,69	4,16	59,21	8,01	25,7
18	12470	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	30	19	40,43	3,64	56,44	7,18	25,2
19	12439	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	29	5	40,61	3,73	55,76	7,41	25,2
20	12386	51	Fundador	Cerro Catedral	2	28	11	37,35	3,71	56,34	7,66	24,6
21	12714	54	Fundador	Cerro Catedral	2	36	21	36,36	3,54	55,48	6,84	23,9
22	10311	Testigo 1	Testigo	Testigo	1	14	4	35,14	3,64	55,75	7,06	23,7
23	10283	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	13	13	37,01	3,55	53,24	7,15	23,7
24	10458	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	18	6	35,96	3,48	52,72	6,94	23,2
25	12078	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	20	16	37,39	3,48	50,91	6,92	23,2
26	12642	16	Fundador	Cerro Catedral	2	35	21	34,94	3,54	52,23	7,42	23,0
27	12777	27	Fundador	Cerro Catedral	2	38	15	37,85	3,09	50,35	6,03	22,8
28	10981	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	33	26	36,60	3,22	50,84	6,29	22,7
29	12792	23	Fundador	Cerro Catedral	2	38	22	35,27	3,38	50,71	7,11	22,6
30	12145	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	22	9	35,71	3,28	50,71	6,42	22,5
31	12086	17	Fundador	Cerro Catedral	2	20	16	36,48	3,00	50,93	5,78	22,5
32	10209	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	11	3	36,21	3,20	50,02	6,28	22,4
33	12811	31	Fundador	Cerro Catedral	2	39	15	35,33	3,04	50,29	6,91	22,4
34	12566	18	Fundador	Cerro Catedral	2	33	20	31,60	3,44	54,51	6,76	22,4
35	12201	16	Fundador	Cerro Catedral	2	23	3	34,04	3,28	50,24	6,77	22,1
36	12713	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	36	21	33,4	3,08	50,01	5,90	21,6
37	12754	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	38	8	33,49	3,31	48,41	6,61	21,5
38	12400	51	Fundador	Cerro Catedral	2	28	18	32,65	3,13	49,43	6,35	21,4
39	10195	234	Fundador	Mallín Grande	1	10	3	32,72	3,29	47,44	6,88	21,2
40	12812	51	Fundador	Cerro Catedral	2	39	15	31,66	3,15	49,01	6,75	21,2
41	10989	215	Banco	Mallín Grande	1	34	26	32,94	3,15	48,54	5,98	21,2
42	12339	16	Fundador	Cerro Catedral	2	27	11	32,36	3,21	48,04	6,44	21,1
43	12250	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	25	17	33,84	3,15	45,94	6,28	21,0
44	12620	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	34	13	34,05	3,04	46,18	5,90	20,9
45	10041	254	Fundador	Mallín Grande	1	4	1	32,17	2,82	49,33	5,33	20,9
46	10541	Testigo 6	Testigo	Testigo	1	20	6	32,91	2,82	47,91	5,33	20,8
47	12367	27	Fundador	Cerro Catedral	2	28	4	32,51	2,91	46,33	5,84	20,5
48	12635	31	Fundador	Cerro Catedral	2	34	20	31,36	2,90	46,82	6,25	20,4
49	10084	254	Fundador	Mallín Grande	1	6	11	30,74	2,88	48,29	5,65	20,4
50	12530	Testigo 6	Testigo	Testigo	2	32	6	33,30	2,98	44,17	5,91	20,3

*Ranking confeccionado en base a los valores de mejora individuales refundidos en un índice de selección que reúne a las variables Altura y DAC a 8 y 11 años de edad, ponderadas por sus respectivas heredabilidades.

R: Ranking SE: Subensayo I: Índice

CONCLUSIONES

Del análisis dasométrico descriptivo se desprende que el ensayo presenta pobre supervivencia y un crecimiento inicial que parece bajo en relación a lo publicado para bosques naturales de la misma especie.

La evaluación genética cuantitativa sugiere una desafortunada selección de las madres que dieron origen al programa de mejora de lenga, observándose un pobre desempeño de las progenies de los árboles plus y una predominancia de los testigos.

A nivel de procedencias se aprecia que los mejores resultados los exhibe la procedencia de Cerro Catedral y que el desempeño menos eficiente recae en la procedencia de Río Cajón.

A pesar de los resultados descritos, el ensayo mantiene una relativamente amplia base genética y una estructura familiar adecuada para determinación de parámetros genéticos. Por lo mismo es recomendable su manejo y conservación. Este es de utilidad para generar información de parámetros genéticos y para efectuar nuevas selecciones individuales con mucha mayor certeza que las selecciones masales iniciales.

Considerando el ciclo de vida y rotación de lenga, el ensayo es aún juvenil de modo que las evaluaciones futuras, a una edad más avanzada, serán más apropiadas para apoyar las decisiones involucradas en el programa de mejora.

REFERENCIAS

Bastías, M., 2005. Composición de especies y cobertura del sotobosque en bosques vírgenes de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser) en Monte Alto, XII Región. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 83 p.

Borralho, N., 1995. The Impact of Individual Tree Mixed Models (BLUP) in Tree Breeding Strategies En: Proceeding Paper. Eucalypt Plantation: Improving fibre yield and quality. CRCTHT-IUFRO Conference Hobart, Australia 19-24 February 1995. pp. 141-145.

Gilmour, A., Cullis, B., Welham, S. y Thompson, R., 2002. ASREML Reference Manual. Mayo 7 del 2002. 257 p.

Gutiérrez, B. y Molina, M., 2006. La especie forestal lenga. En: Gutiérrez, B. (editor). Cultivo *in vitro* de lenga (*Nothofagus pumilio*): Síntesis de los resultados del proyecto INNOVA Chile 02C8FT05 "Masificación de genotipos de interés comercial de lenga en la XI región". Instituto Forestal. Concepción, Chile. Pp: 11-29.

Labarthe, F., 2005. Efecto de la tasa de crecimiento en las propiedades mecánicas de lenga en un renoval en Tierra del Fuego. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 84 p.

Larson, J., 2000. Crecimiento de la Lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser) en un bosque secundario de la XII Región. Memoria de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 56 p.

Manosalva, L., 1995. Antecedentes Dendrométricos Básicos de un Rodal de Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl. Krasser), en el Sector Cerro la Virgen, XI Región. Memoria de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 69 p.

Schmidt, H. y Urzúa, A., 1982. Transformación y manejo de los bosques de Lenga en Magallanes. Ciencias Agrícolas Nº 11. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Santiago. 62 p.

Schmidt, H.; Cruz, G.; Bown, H. y Promis, A., 2001. Cuarto Curso de Especialización de Silvicultura Ordenación Bosques de Lenga. Apuntes de Silvicultura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Monte Alto 2-9 Nov. 2001. Proyecto Fondef D99I103. 24 p.

Troncoso, O., 2004. Desarrollo de un bosque de Lenga (*Nothofagus Pumilio*) después de la corta de protección en la XII región. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 55 p.

Uriarte, A. y Grosse, H., 1991. Los bosques de Lenga. Una orientación para su uso y manejo. Recopilación bibliográfica. Informe Técnico N° 126. Instituto Forestal. 92 p.

Capítulo 17

EVALUACIÓN GENÉTICA A LOS 9 Y 14 AÑOS DE UN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ (*Nothofagus alpina*) EN ARQUILHUE, REGIÓN DE LOS RÍOS, CHILE

Roberto Ipinza Carmona¹

Braulio Gutiérrez Caro²

María Paz Molina Brand³

INTRODUCCIÓN

El Instituto Forestal (INFOR) y la Universidad Austral de Chile (UACH), en colaboración con la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y empresas forestales, iniciaron en 1997 un programa de mejoramiento genético para roble y raulí, mediante la adjudicación del proyecto FONDEF D96I1052 Mejoramiento Genético para Especies de *Nothofagus* de Interés Económico. En tal contexto se realizó una zonificación de las regiones de procedencia de ambas especies, y asociado a esta zonificación se implementó un programa de colecta de semillas que consideró un número variable de puntos de muestreo en cada región de procedencia. Esta colección de semillas fue viverizada y dio origen a las plantas que conforman los más completos ensayos de procedencias y progenies de roble y raulí establecido en Chile (Ipinza, *et al.*, 2000a).

Esta red de ensayos de conservación *ex situ* e *in vivo* tiene como objetivo salvaguardar la variabilidad genética de las especies y servir de base para el mejoramiento genético de las mismas. Al respecto, en el presente capítulo se analiza uno de esos ensayos, particularmente una prueba de progenies y procedencias de raulí establecida el año 2000 en el predio Arquihue de la empresa Agrícola y Forestal Taquihue Ltda., en las cercanías de Llifén, en la provincia de Ranco, Región de Los Ríos.

El análisis efectuado corresponde a una evaluación genética en que se determinan parámetros genéticos como heredabilidad y correlaciones, se estiman valores de mejora y confeccionan *rankings* individuales y familiares del ensayo. El análisis se complementa con una evaluación descriptiva de los valores dasométricos del ensayo y se documenta con una revisión o estado del arte de otras evaluaciones genéticas para raulí mencionadas en la bibliografía.

1 Ingeniero Forestal, Dr. Ingeniero de Montes. Instituto Forestal Sede Valdivia. roberto.ipinza@infor.cl

2 Ingeniero Forestal. Instituto Forestal Sede Biobío. bgutierr@infor.cl

3 Ingeniero Forestal. Dr (c). Instituto Forestal Sede Biobío. mmolina@infor.cl

ESTADO DEL ARTE

En las primeras generaciones de un programa de mejora genética forestal el objetivo principal es obtener avances en las características económicamente importantes, como el volumen y la forma. El mejoramiento genético se logra generación tras generación a través del aumento de la frecuencia de genes favorables para la manifestación de un mayor volumen (DAP, altura y forma) para uso comercial. El programa de mejoramiento genético queda definido entonces como la combinación de los procesos de selección de los árboles y de los sistemas de cruzamientos que permite concentrar los caracteres deseables en las sucesivas generaciones de árboles mejorados. La mayor dificultad del proceso de selección radica en identificar los árboles deseables mediante su valor genético, el cual a diferencia del valor fenotípico no es apreciable a simple vista. El genotipo no es visible y por esto debe estimarse. El proceso de evaluar genéticamente los árboles se denomina evaluación genética y se realiza sobre ensayos genéticos especialmente diseñados para este objetivo.

En las evaluaciones genéticas cuantitativas se analiza la información genealógica (pedigrí) y de comportamiento productivo en dos fases: (i) estimación de componentes de varianza y cálculo de parámetros genéticos; (ii) predicción de valores genéticos y su presentación como diferencias esperadas en la progenie. Los parámetros genéticos como la heredabilidad y la correlación genética caracterizan a las poblaciones de acuerdo con las influencias genéticas, y permiten definir los programas de selección. La predicción de valores genéticos aporta herramientas objetivas para la identificar los individuos genéticamente superiores y su selección como componentes de la población de mejora, de los huertos semilleros o de los jardines clonales, entre otros. Posteriormente, para cuantificar los resultados de la selección practicada por los mejoradores, se requiere estimar y analizar las tendencias en los valores genéticos, a fin de redefinir y mejorar los esquemas actuales de selección.

En Chile hay varios trabajos sobre la estimación de los parámetros genéticos de raulí en distintos estadios de su desarrollo, desde variables de la semilla hasta parámetros de crecimiento en los primeros años de vida de los ensayos genéticos. A continuación se realiza una breve síntesis de los principales resultados obtenidos en la evaluación de parámetros genéticos de raulí en Chile.

Parámetros Genéticos de Caracteres Físicos y de Germinación de Semillas

Medina e Ipinza (2012) analizan una colección de semilla de polinización abierta de 141 familias de 15 procedencias de raulí, concluyendo que la heredabilidad en sentido amplio es en general de moderada a alta (0,44 a 0,77) para los rasgos físicos de la semilla y muy alta para los parámetros de germinación de la misma. Ipinza *et al.* (2000b) indican que la heredabilidad en sentido amplio (H^2) del número de semillas por kilogramo es muy alta ($0,9394 \pm 0,0081$) y que presenta una escasa influencia de factores ambientales, denotando por lo mismo un elevado nivel de control genético. Esto podría sugerir la utilización de este rasgo simple para identificar la procedencia de origen de un lote de semilla.

Parámetros Genéticos de Crecimiento en Altura en Invernadero

Ipinza, *et al.* (2000b) establecen que el crecimiento en altura de las plántulas de raulí de 141 progenies, evaluado en invernadero cada 15 días durante seis ocasiones, exhibe un control genético creciente desde moderado en la primera evaluación ($h^2_{h1} = 0,33$), hasta alto en la sexta medición ($h^2_{h6} = 0,85$), observándose también que se incrementan levemente sus respectivos errores estándares.

En el mismo estudio se determina que la correlación genética de la altura de la primera evaluación respecto a las de las evaluaciones posteriores ($r_{h1 \times h2}, \dots, r_{h1 \times h6}$) disminuye monótonamente (0,86 a 0,41), sugiriendo una menor correlación edad-edad, desde alta a moderada. Considerando esta tendencia, en que decrece la correlación edad-edad en mediciones sucesivas efectuadas aproximadamente cada 15 días, se puede presumir una correlación muy baja entre plantas y árboles adultos, situación que podría impedir una selección precoz en función de la característica altura, a menos que se establezca dicha relación antes de salir las plantas del invernadero.

La correlación fenotípica también sufre una disminución monótona de 0,88 a 0,18 desde $r_{h1 \times h2}$ a $r_{h1 \times h6}$. Esta situación confirma una tendencia hacia una correlación edad-edad muy baja entre plantas y árboles adultos. El comportamiento de la correlación de los residuos, corresponde a lo esperado debido a los niveles de autoregresividad que existen entre mediciones, lo interesante es que esta autoregresividad disminuye desde $r_{h1 \times h2}$ (0,84) a $r_{h1 \times h6}$ (0,33).

Finalmente, usando la misma colección de semilla y una base georeferenciada, con las coordenadas geográficas de localización de cada procedencia, Ipinza, *et al.* (2000c) estiman los valores genéticos de las procedencias para cada rasgo y los presentan gráficamente a través de un sistema de información geográfico (SIG). La incorporación de los valores genéticos georeferenciados permite precisar estudios de genética poblacional y abre insospechadas utilidades para el manejo y conservación de los recursos genéticos y la implementación de estrategias de mejoramiento acordes al potencial genético del recurso.

Análisis Genético de la Supervivencia

Ipinza (1999) aplica los modelos de análisis espacial LOGIT y PROBIT para determinar los componentes de varianza de la variable supervivencia después del primer periodo estival, de un ensayo de progenies de raulí establecido en Antiquina (Comuna de Cañete, Región del Biobío). El diseño en bloques al azar corresponde a un diseño espacial del tipo AR1 x AR2. La supervivencia alcanzó un valor de 92%. Los componentes de varianza se muestran en el Cuadro N°1. El Cuadro N° 2 presenta las heredabilidades de la variable supervivencia en ambos modelos binomiales, con sus respectivos errores estándares.

Cuadro N°1
COMPONENTES DE VARIANZA PARA EL MODELO LOGIT Y PROBIT
PARA LA SUPERVIVENCIA EN RAULÍ

Componentes	LOGIT	PROBIT
Árbol	0,22981	0,0770754
Varianza (*)	1,000000*3,29	1,0000000

Según Gilmour *et al.* (1999) la verdadera varianza del modelo LOGIT, es $\pi^2/3$

Cuadro N° 2
HEREDABILIDADES, ERROR ESTÁNDAR Y LA MÁXIMA VEROSIMILITUD (LOG-LIKEHOOD)
PARA EL MODELO LOGIT Y PROBIT PARA LA SUPERVIVENCIA EN RAULÍ

Componentes	LOGIT	PROBIT
$h^2_{\text{binomial}} \pm \text{error estándar}$	$0,0653 \pm 0,1190$	$0,0716 \pm 0,0000$
Verosimilitud	-2856,69	-2202,38

Para mejorar la verosimilitud de la variable supervivencia, se transformó esta desde el modelo binomial al modelo normal, siguiendo el procedimiento establecido por McGuirk (1989), para esto se calculó que la incidencia promedio (p) es 0,92 y $z=0,1486628$. Así, la heredabilidad normal para el modelo PROBIT (expresión 1) alcanzó el valor de 0,25, el cual es similar al publicado en el estudio de Chambers *et al.* (1995).

$$(1) \quad h^2_{\text{normal}} = h^2_{\text{binomial}} * p*(1-p)/z^2 = 0,0716*0,92*(1-0,92)/0,021006 = 0,25$$

Como comparación, la h^2_{normal} para el modelo LOGIT es 0,22.

Finalmente, Ipinza (1999) establece una evaluación de la supervivencia sobre la base de un análisis espacial, utilizando varios modelos de complejidad progresiva, la decisión se realiza de acuerdo al aumento de la máxima verosimilitud. El modelo de varianza más apropiado considero (expresión 2) los siguientes componentes: El bloque como efecto fijo, el árbol como efecto aleatorio, la fila como efecto aleatorio, y por ultimo un índice *spline* (fila) que representa un componente *spline* aleatorio incluido también en la matriz Z.

$$(2) \quad \text{PROBIT (Supervivencia)} = \mu + \text{bloque} + \text{random (árbol)} + \text{random (fila)} + \text{spline}$$

Con este modelo, la verosimilitud aumenta en 246,36. Su variograma muestral denota una tendencia de los residuos a aumentar en las columnas superiores. Ello indica un probable efecto ambiental causado por un antiguo camino próximo al ensayo y paralelo a las columnas. De acuerdo a esto se observa una probable gradiente de compactación que afectaría a algunas columnas del ensayo. Se concluye que el análisis espacial requiere que las parcelas estén localizadas en términos de filas y columnas. El análisis espacial se vislumbra como una interesante herramienta para descubrir tendencias causadas por fertilidades distintas en el suelo del ensayo, compactación del suelo, aplicación de cuidados culturales, tales como riegos, aplicación de herbicidas y pesticidas entre otros.

Análisis Genético de Variable de Crecimiento Inicial en Raulí

- Evaluaciones al Primer Año Post Establecimiento

Gutiérrez e Ipinza (2000) utilizan un modelo mixto linear bivariado y familiar, para analizar la altura y el diámetro de cuello de las plantas del ensayo Antiquina ya mencionado. Considerando que el análisis bivariado requiere una compleja estructura de varianzas, dicha información se obtiene previamente mediante análisis univariados independientes para el diámetro y la altura. El modelo utilizado consideró a los bloques como efecto fijo y a la familia como efecto aleatorio, tanto en los análisis univariados como en el bivariado.

El modelo permitió estimar los componentes de varianzas y las covarianza. La heredabilidad se estima considerando una progenie de medio hermanos, luego corresponde a cuatro veces la varianza de la familia dividido por la varianza fenotípica. El considerar el valor de 4, que es el inverso de la correlación entre la progenie (0,25), fue una simplificación ya que si la correlación es mayor, la heredabilidad será sobreestimada. En Ipinza *et al.* (2000a) se presenta un análisis más detallado de este aspecto. Las heredabilidades de la altura y el diámetro de cuello (Cuadro N° 3) son muy bajas, lo que sugiere un escaso control genético aditivo para la variabilidad observada en estos caracteres.

Cuadro N° 3
HEREDABILIDADES DE LA ALTURA Y EL DIÁMETRO DE CUELLO DE PLANTAS DE RAULÍ
ESTIMADAS EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE UN AÑO DE EDAD

Variables	Heredabilidad
DAC	0,0657 ± 0,0585
ALTURA	0,0676 ± 0,0597

Los bajos valores de heredabilidad observados en el Cuadro N°3 también pueden ser consecuencia de un control ambiental insuficiente, reflejado en variación ambiental dentro de los bloques que constituyen el ensayo. Tal situación destaca la necesidad de que las pruebas de progenies de *Nothofagus*, y en general todos los ensayos genéticos con cualquier especie, se establezcan sobre sitios muy homogéneos. De esta forma se reduce la variabilidad ambiental y se expresa en forma más clara la variabilidad de origen genético, permitiendo así obtener estimaciones más depuradas de los parámetros genéticos de interés.

Al respecto, una consideración práctica es usar bloques de pequeño tamaño, esto reduce la variabilidad ambiental dentro del bloque. El uso de bloques incompletos o con parcelas de pocas plantas, también es una medida que ayuda a reducir el tamaño de los bloques y por ende su variabilidad. En el caso extremo la configuración un árbol una parcela o STP (*Single Tree Plot*) permiten reducir considerablemente la variabilidad intrabloque, especialmente en casos como el del ensayo evaluado, donde además se prueba un número pequeño de progenies en cada bloque (30).

La correlación genética y la correlación fenotípica se estiman como el cociente entre la covarianza entre el diámetro y la altura, y la raíz cuadrada del producto de ambas varianzas, tanto para los efectos aditivos como los fenotípicos. Ambas correlaciones se entregan con sus respectivos errores estándar en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4
CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS ENTRE EL DIÁMETRO DE CUELLO (DAC) Y LA ALTURA, ESTIMADAS EN UN ENSAYO DE PROGENIES DE RAULÍ DE UN AÑO DE EDAD

Correlación	Valor $\pm$ Error Estándar
Genética	0,9750 $\pm$ 0,0830
Fenotípica	0,8850 $\pm$ 0,0078

Los valores de correlación observados corresponden en gran medida a lo esperado, por cuanto ambas variables son expresión del crecimiento, existiendo una vinculación directa entre ellas. Lo anterior significa que en el procedimiento operativo de la selección de árboles puede efectuarse la selección solo en función de una característica y automáticamente se estará obteniendo ganancia en la otra.

Una ventaja de contar con correlaciones genéticas altas se manifiesta en el caso de que una de las variables que se quiere mejorar sea difícil de evaluar o medir. En esos casos la selección puede basarse en una variable más simple que está altamente correlacionada con la variable de interés, en un proceso conocido como selección indirecta. No obstante lo anterior, el control genético a esta edad de la evaluación es muy bajo, por lo tanto es importante tomar precauciones al tomar decisiones sobre esta información.

- Evaluaciones al Cuarto Año Post Establecimiento

Vergara (2011) realizó un análisis genético bivariado del mismo ensayo analizado en el presente capítulo (ensayo de procedencias y progenies de raulí en Arquihue), así como de otros ensayos con la especie roble. La evaluación la realizó con los datos correspondientes a la edad de cuatro años, usando ASREML 2.00a (Gilmour *et al.*, 2006), y considerando a cada ensayo completo como un gran bloque con diseño espacial del tipo AR1 x AR2.

A partir del cálculo de los componentes de varianza de todas las fuentes de variación en los rasgos, se estimó la heredabilidad individual (expresión N° 3) y la familiar (expresión N°4). Adicionalmente, para cada rasgo se estimó un coeficiente de ganancia genética de la procedencia (expresión N°5).

$$(3) \quad h^2 = r^2 \sigma_{f(p)}^2 / (\sigma_{f(p)}^2 + \sigma_e^2)$$

$$(4) \quad h_f^2 = \sigma_{f(p)}^2 / (\sigma_{f(p)}^2 + \sigma_e^2/b)$$

$$(5) \quad CG_p = \sigma_p^2 / (\sigma_p^2 + (\sigma_{f(p)}^2/c) + (\sigma_e^2/bc))$$

Donde:

σ_p^2	=	Varianza entre procedencias.
$\sigma_{f(p)}^2$	=	Varianza entre familias dentro de procedencias.
σ_e^2	=	Varianza del error.
r	=	Coefficiente de parentesco.
b	=	Media armónica del número de individuos por familia.
c	=	Media armónica del número de familias por procedencias.

El mencionado autor indica que la tasa de auto polinización para *Nothofagus* varía de 2 a 6%. Considerando una tasa de autopolinización (*selfing*) promedio de 5% y asumiendo 10 donantes locales de polen no emparentado, y menos de 10 donantes de polen no local, el coeficiente de parentesco " r " ajustado es de 0,29, significativamente más pequeño que el " r " conservador utilizado por Ipinza, *et al.*, (2000).

Los parámetros genéticos obtenidos para roble, usando ambos valores del coeficiente de parentesco " r " (0,29 y 0,35), se muestran en el Cuadro N° 5.

En el caso de raulí las heredabilidades para el diámetro (DIAM) y el índice de volumen (R^2H) fueron bajas, en tanto que la bifurcación (FORK) no presentó heredabilidad. En cuanto al coeficiente de ganancia por procedencias (CGP), al igual que en roble presentó valores en general superiores que los de heredabilidad.

Cuadro N° 5
PARÁMETROS GENÉTICOS ESTIMADOS EN ENSAYO DE PROCEDENCIAS
Y PROGENIES DE ROBLE A LOS CUATRO AÑOS DE EDAD

Rasgos	$h^2_{0,29}$	$h^2_{0,35}$	h^2_f	CG_p	Θ
HT	0,17	0,14	0,20	0,89	0,89
DIAM	0,30	0,25	0,32	0,88	0,82
R^2H	0,22	0,18	0,24	0,85	0,82
FORK	0,15	0,13	0,18	0,00	0,00
STR	0,21	0,17	0,23	0,62	0,57

HT:	Altura total.
DIAM:	Diámetro de tallo.
FORK:	Bifurcación. Variable binaria para indicar presencia o ausencia de bifurcación del fuste.
STR:	Rectitud. Variable discreta que clasifica la rectitud del fuste en cuatro categorías.
R^2H :	Índice de volumen: $R^2H = ((DIAM/20)^2 * HT) / 1000$.
$h^2_{0,29}$; $h^2_{0,35}$:	Heredabilidades individuales dentro de procedencias, usando $r = 0,29$ y $r = 0,35$.
h^2_f :	Heredabilidad familiar.
CG_p :	Coefficiente de ganancias genéticas para la procedencia.
Θ :	Proporción de la variación genética morfológica total que se debe a las diferencias entre procedencias.

MATERIAL Y MÉTODO

Descripción del Ensayo Evaluado

Para la evaluación genética de raulí que se presenta a continuación, se analizó las mediciones de altura, diámetro a la altura del pecho (DAP) y rectitud de fuste, efectuadas a los 9 y 14 años de edad, en un ensayo de procedencias y progenies de raulí, establecido en septiembre del año 2000 en el predio Arquihue de Agrícola y Forestal Taquihue Ltda., en la comuna de Futrono, provincia de Ranco, en la región de Los Ríos.

El ensayo posee un diseño de 5 bloques completos al azar con parcelas de un árbol por progenie, plantados en fajas a un espaciamiento de 4 x 2 m.

Las progenies representadas corresponden a los hijos obtenidos por la viverización de las semillas de individuos de raulí identificados en una campaña previa de muestreo genético en gran parte de la distribución natural de esta especie. Tal colección fue efectuada por INFOR entre los años 1997 y 1999, usando como base la definición de zonas de procedencias para roble y raulí efectuada por Vergara *et al.* (1998).

El material ensayado se complementa con plantas generadas a partir de semilla de polinización abierta obtenida en clones individuales del Huerto Semillero Clonal Huillilemu de la Corporación Nacional Forestal. Incluye también 4 testigos correspondientes a mezclas de familias de la colección de muestreo genético antes mencionada, mezcla de semillas de clones del huerto semillero Huillilemu y semillas de una colección de raulí de zonas frías. En su configuración inicial, el ensayo consideraba un total de 630 árboles pertenecientes a 126 progenies, incluyendo testigos y progenies provenientes del huerto Huillilemu (Cuadros N° 6 y N° 7).

Cuadro N° 6
PROGENIES CONSIDERADAS EN ENSAYO DE PROCEDENCIAS Y PROGENIES DE RAULÍ ARQUIHUE

Códigos de las Progenies													
54	152	161	175	184	195	212	221	230	244	275	284	305	314
56	153	162	176	185	196	213	222	231	245	276	285	306	315
58	154	164	177	186	199	214	223	232	257	277	286	307	317
68	155	165	178	187	200	215	224	233	259	278	287	308	319
69	156	169	179	188	208	216	225	234	270	279	288	309	320
70	157	171	180	189	209	217	226	235	271	280	289	310	901
75	158	172	181	190	209	218	227	236	272	281	301	311	902
77	159	173	182	191	210	219	228	237	273	282	302	312	903
151	160	174	183	193	211	220	229	243	274	283	304	313	904

Cuadro N° 7
EQUIVALENCIA DE LOS CÓDIGOS DE LAS PROGENIES CONSIDERADAS
EN EL ENSAYO DE PROCEDENCIAS Y PROGENIES DE RAULÍ ARQUILHUE

Colección	Códigos de Progenies	Descripción		Progenies en el Ensayo (N°)
Semilla de polinización abierta de Clones individuales del huerto semillero clonal Huillilemu	54	clon 2 del huerto Huillilemu		8
	56	clon 4 del huerto Huillilemu		
	58	clon 6 del huerto Huillilemu		
	68	clon 26 del huerto Huillilemu		
	69	clon 28 del huerto Huillilemu		
	70	clon 30 del huerto Huillilemu		
	75	clon 36 del huerto Huillilemu		
	77	clon 37 del huerto Huillilemu		
Colección	Códigos de Progenies	Punto de Muestreo	Zona de Procedencia	Progenies en el Ensayo (N°)
Semilla de árboles individuales de colección de muestreo genético	151- 160	Radal 7 tazas	8-A	10
	161- 170	Vilches	8-A	5
	171- 180	Embalse Bullileo	8-A	10
	181- 190	Recinto	9-A	10
	191-207	Nahuelbuta	3-C	6
	208-217	Santa Bárbara	9-A	11
	218-227	Jauja	9-A	10
	228-237	Pichipillahuén	3-C	10
	238 - 252	Malalcahuello	11-A	3
	253 - 269	Melipeuco	11-A	2
	270 - 279	Curarrehue	11-A	10
	280 - 289	Releco	13-A	10
	301-310	Llancacura	5-C	9
	311-320	Hueyusca	5-C	8
Colección	Códigos de Progenies	Descripción		Progenies en el Ensayo (N°)
Testigos	901	Mezcla de familias de muestreo genético		4
	902	Plantas de mix de semillas de huerto Huillilemu		
	903-904	Procedencias de frío		

Análisis Dasométrico Descriptivo

Se utilizan los valores medidos de altura y DAP para caracterizar el ensayo a la edad de 9 y 14 años usando parámetros de estadística descriptiva. Para tal efecto se calculan los valores medios de cada variable y se presentan a nivel de procedencias, zonas de procedencia y acumulados para el ensayo en su totalidad, indicando los “n” respectivos de cada promedio calculado. Los valores obtenidos se comparan con otros mencionados en la bibliografía, para tener referencias respecto al comportamiento general del ensayo y al comportamiento diferencial que pueden exhibir sus diferentes progenies, procedencias, regiones de procedencias, testigos y material mejorado de huerto.

Análisis Genético Cuantitativo

Se utilizó un modelo aditivo de árbol individual (Borralho, 1995), suponiendo que no hay efectos de dominancia ni epistasia. El modelo incluye como efectos fijos a la media general y el efecto bloque, e incluye como efecto aleatorio genético aditivo al efecto árbol.

Por último, se incluye un error aleatorio distribuido normalmente ($\mathbf{e}$) con media cero y varianza σ_e^2 , de modo que en notación matricial el modelo queda descrito como se detalla en la expresión (6).

$$(6) \quad \mathbf{y} = \boldsymbol{\mu} + \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e}$$

Donde:

- $\mathbf{y}$: Vector de fenotipos
- $\boldsymbol{\mu}$: Media
- $\mathbf{X}$ y $\mathbf{Z}$: Matrices de incidencia de los efectos genéticos aleatorios.
- $\mathbf{b}$: Vector de coeficientes de regresión.
- $\mathbf{u}$: Vector que contiene los efectos genéticos aditivos ($\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{G}\sigma_u^2)$).
- $\mathbf{e}$: Vector que contiene los residuos ($\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma_e^2)$).

Al considerar tres rasgos (Altura, DAP y Rectitud de Fuste) y dos fechas de medición (2009 y 2014) se tiene un análisis 3 x 2 o hexavariado, donde se puede particionar las observaciones del vector $\mathbf{y}$, en partes para cada rasgo.

El vector de valores de mejora también es particionado en diferentes rasgos, de forma tal que un árbol (madre y progenie) tiene un valor de mejora para cada uno de los rasgos en el análisis y en ambas fechas de medición.

El vector $\mathbf{y}_1$ representa las n_1 observaciones para el rasgo altura, en el año 2009, el vector $\mathbf{y}_2$ representa las n_2 observaciones para el rasgo altura, en el año 2014, el vector $\mathbf{y}_3$ representa las n_3 observaciones para el rasgo diámetro en el año 2009, el vector $\mathbf{y}_4$ representa las n_4 observaciones para el rasgo diámetro en el año 2014 y por ultimo para la variable rectitud, el vector $\mathbf{y}_5$ representa las n_5 observaciones para la medición del 2009, el vector $\mathbf{y}_6$ representa las n_6 observaciones para la medición del 2014.

Entonces, para cada rasgo se puede escribir un modelo mixto (expresión N° 7), donde hay p_i efectos fijos asociados con el rasgo i .

$$(7) \quad Y_i = X_i b_i + Z_i u_i + e_i$$

Donde:

X_i : Matriz de $n_i \times p_i$

b_i : Vector columna $p_i \times 1$.

X_i : Matriz de incidencia para los efectos fijos del rasgo i ,

Z_i : Matriz de incidencia para los efectos aleatorios del rasgo i .

El modelo para rasgos múltiples se puede representar como en la expresión N° 8.

$$(8) \quad \begin{bmatrix} y1 \\ y2 \\ y3 \\ y4 \\ y5 \\ y6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ b6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & z4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & z5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu1 \\ \mu2 \\ \mu3 \\ \mu4 \\ \mu5 \\ \mu6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \\ e5 \\ e6 \end{bmatrix}$$

No todos los árboles tienen una observación para cada rasgo. Algunos árboles pueden ser representados en y_1 , pero no en y_2 , o viceversa. Sin embargo todos los árboles poseen un valor de mejora para cada rasgo en el análisis, independiente si ellos tienen una observación para ese rasgo.

Los vectores y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 y y_6 (y e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 y e_6) no necesariamente tienen la misma longitud, pero u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 y u_6 son siempre iguales en longitud al número de árboles en el análisis.

Para obtener las ecuaciones del modelo mixto para estimar el vector b y los valores de mejora del vector u , se requiere especificar las matrices de covarianza R y G , asociadas con el vector $e = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6)'$ de errores residuales y el vector $u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6)'$ de efectos aleatorios.

Para los valores de mejora se puede escribir como en la expresión N° 9

$$(9) \quad u = \begin{bmatrix} \mu1 \\ \mu2 \\ \mu3 \\ \mu4 \\ \mu5 \\ \mu6 \end{bmatrix} \quad y \quad var(u) = G = \begin{bmatrix} G11 & G12 & G13 & G14 & G15 & G16 \\ G21 & G22 & G23 & G24 & G25 & G26 \\ G31 & G32 & G33 & G34 & G35 & G36 \\ G41 & G42 & G43 & G44 & G45 & G46 \\ G51 & G52 & G53 & G54 & G55 & G56 \\ G61 & G62 & G63 & G64 & G65 & G66 \end{bmatrix}$$

Si σ^2_{gii} es la varianza genética del rasgo i , y σ_{gij} es la covarianza genética entre dos rasgos, en el mismo árbol, se puede definir una matriz de covarianza genética de 6×6 como sigue (expresión N° 10).

$$(10) \quad \mathbf{G}_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{g11} & \sigma_{g12} & \sigma_{g13} & \sigma_{g14} & \sigma_{g15} & \sigma_{g16} \\ \sigma_{g21} & \sigma_{g22} & \sigma_{g23} & \sigma_{g24} & \sigma_{g25} & \sigma_{g26} \\ \sigma_{g31} & \sigma_{g32} & \sigma_{g33} & \sigma_{g34} & \sigma_{g35} & \sigma_{g36} \\ \sigma_{g41} & \sigma_{g42} & \sigma_{g43} & \sigma_{g44} & \sigma_{g45} & \sigma_{g46} \\ \sigma_{g51} & \sigma_{g52} & \sigma_{g53} & \sigma_{g54} & \sigma_{g55} & \sigma_{g56} \\ \sigma_{g61} & \sigma_{g62} & \sigma_{g63} & \sigma_{g64} & \sigma_{g65} & \sigma_{g66} \end{bmatrix}$$

Cada parte de $\mathbf{G}$ es obtenida por la multiplicación de la matriz de parentesco ($\mathbf{A}$), con la varianza de un rasgo (diagonal de la matriz de parentesco, σ_{gii}^2 de $\mathbf{A}$) o la covarianza entre rasgos.

La matriz de parentesco aditiva $\mathbf{A}$ esta basada en el pedigrí. La matriz $\mathbf{A}$ tiene un elemento diagonal igual a $1+F_i$, donde F_i es el coeficiente de endogamia para el *i-ésimo* individuo, mientras que las matrices superior e inferior son iguales al parentesco aditivo $\mathbf{A}_{ij}$, entre el árbol *i* y *j*. Durante el análisis se utilizaron distintas alternativas respecto a la procedencia; inicialmente se consideró como efecto aleatorio, después como efecto fijo, y por último en la evaluación definitiva no fue considerada.

El modelo utilizado corresponde a polinización abierta, donde los individuos dentro de cada familia se asumen como medios hermanos. También se considera que los progenitores no están relacionados, y que las madres son el único progenitor conocido (padre no conocido), lo cual da origen a estos medios hermanos, donde todos los árboles se asumen sin endogamia, es decir $F_i = 0$, y con un parentesco genético aditivo de 0,25 para los hijos de una misma madre, o 0,0 entre las madres y entre los hijos de distinta madre.

- Componentes de Varianza

La máxima verosimilitud restringida (REML) se usó para estimar las varianzas de los efectos aleatorios del modelo de árbol individual. Estas fueron obtenida mediante ASREML, que utiliza el algoritmo de información promedio descrito por Gilmour *et al.* (2002).

La heredabilidad individual en sentido restringido (h^2) se calculó como (11)

$$(11) \quad h^2 = \sigma_a^2 / (\sigma_a^2 + \sigma_e^2); \text{ donde,}$$

σ_a^2 : Varianza de los valores aditivo del árbol

σ_e^2 : Varianza de los residuos.

El error estándar aproximado de σ_i^2 y h^2 se calculó con el método delta basado en la expansión de una serie de Taylor, usando ASREML.

- Correlaciones

Los valores fenotípicos de diferentes rasgos en un mismo árbol están normalmente correlacionados, tal como la altura y el diámetro. En forma similar a la partición a la varianza fenotípica, se puede descomponer la correlación fenotípica (r_p) en un componente genético (r_A) y en un componente ambiental o residual (r_E), de modo que $r_p = r_A + r_E$

La correlación fenotípica r_p o la correlación observada de los rasgos se define:

$$(12) \quad r_p = \text{cov}(P_1, P_2) / \sigma_{P1} * \sigma_{P2}$$

Donde:

$\text{cov}(P_1, P_2)$: Covarianza de los valores fenotípicos de cada rasgo.

σ_{P1} y σ_{P2} : Desviaciones estándares fenotípicas de los rasgos.

En estricto rigor la suma de la correlación genética y ambiental no da la correlación fenotípica.

La correlación genética se define como (13)

$$(13) \quad r_A = \text{cov}(v_1, v_2) / \sigma_{A1} * \sigma_{A2}$$

Donde:

$\text{cov}(v_1, v_2)$: Covarianza entre los valores aditivos de cada rasgo.

σ_{A1} y σ_{A2} : Desviaciones estándares aditivas de los rasgos.

La correlación ambiental o residual r_E es definida como (14)

$$(14) \quad r_E = \text{cov}(E_1, E_2) / \sigma_{E1} * \sigma_{E2}$$

Donde:

$\text{cov}(E_1, E_2)$: Covarianza entre los valores residuales de cada rasgo.

σ_{E1} y σ_{E2} : Desviaciones estándares ambientales o residuales de los rasgos.

Para cada correlación ASREML, también estima su respectivo error estándar de acuerdo a la formula mostrada por Gilmour *et al.* (2002), en la página 144 del capítulo 6.

- Predicción del Valor de Mejora

El análisis genético cuantitativo del ensayo de progenies y procedencias involucró dos etapas: (i) estimación de los componentes de varianza; y (ii) predicción de los valores genéticos o de mejora para cada uno de los arboles (madres e hijos), usando los componentes de varianza estimados en la primera etapa. El valor genético se obtuvo a través del **BLUP** (*Best Linear Unbiased Predictors*) para cada variable evaluada y se estimó tanto para cada uno de los progenitores maternos, como para cada uno de sus hijos representados en el ensayo.

A partir de los valores de mejora estimados para cada árbol en las seis variables evaluadas, se confeccionó un índice simple que combina el valor obtenido en cada variable, ponderado por su correspondiente heredabilidad. El ordenamiento de mayor a menor de este índice conforma

el *ranking* de valores genéticos del ensayo. Se comparan también los ordenamientos obtenidos usando simultáneamente las mediciones 2009 y 2014 y los obtenidos usando cada medición por separado, graficándose las diferencias entre *rankings* y las correlaciones entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Dasométrico Descriptivo

A los 14 años de edad, el ensayo de procedencias y progenies de raulí Arquihue presenta una supervivencia del 72,2%, con una altura media de 14,7 m y un DAP de 15,4 cm.

Las plantas originadas en semilla del huerto Huillilemu presentan la mejor supervivencia del ensayo, no obstante sus valores de crecimiento en altura y en diámetro, a las dos edades evaluadas, se encuentran bajo la media del ensayo. En el caso de los testigos, tanto la supervivencia como las variables de crecimiento se encuentran bajo la media del ensayo.

A nivel de regiones de procedencia, el mejor desempeño en crecimiento lo exhiben las progenies de la región 3-Costa, particularmente las de la procedencia o punto de muestreo Pichipillahuén, así como las de Releco en la región de procedencia 13-Andes.

En el Cuadro N° 8 se presenta un detalle de la supervivencia y crecimiento de las progenies del ensayo, a los 9 y 14 años de edad, agrupadas a nivel de procedencias y regiones de procedencia de sus madres.

En términos generales la supervivencia y el crecimiento medio del ensayo se comparan favorablemente con los resultados de otras iniciativas equivalentes mencionadas en la bibliografía. En efecto, en términos de supervivencia, el valor de 72,2% alcanzado en el ensayo analizado a los 14 años de edad, resulta superior al indicado por Álvarez y Lara (2008) para plantaciones de raulí de 4 años, establecidas en fajas en los faldeos andinos de la Región de Los Ríos, donde la supervivencia solo alcanzó a un 55 a 60%.

Los valores medios de crecimiento a los 14 años del ensayo Arquihue equivalen a un incremento medio anual de 1,1 cm/año para el DAP y de 1,05 m/año para la altura. Al respecto, Álvarez y Lara (2008) indican un incremento en altura de 0,54 m/año a los 4 años de edad, mientras que Donoso y Gutiérrez (s/f) para plantaciones de 30 años de edad en la zona de Llanquihue señalan valores de 0,5 m/año para altura y 0,8 cm/año para DAP. Por su parte, Vita (1974, cit. por Donoso y Gutiérrez, s/f) menciona un incremento medio anual de 0,7 cm de DAP, mientras que Donoso *et al* (1993, cit por Donoso y Gutiérrez, s/f) estiman este mismo valor en torno 1 cm/año para plantaciones de raulí de 10 años de edad.

Comparando los resultados del ensayo Arquihue, ya no con plantaciones sino con renovales, Donoso (1988) en estudios de crecimiento de renovales de raulí de 30 a 70 años de edad en el área de protección Radal 7 Tazas, Región del Maule, determinó incrementos medios anuales

para los primeros 20 años de 0,57 a 0,70 cm/año en DAP y alturas promedios a los 20 años de 12,1 m, las que son equivalentes a un incremento medio anual de la altura de 0,6 m/año. Estos resultados también resultan inferiores a los logrados en el ensayo analizado.

Cuadro N° 8
SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE RAULÍ A LOS 9 Y 14 AÑOS EN ENSAYO DE
PROGENIES Y PROCEDENCIAS ARQUILHUE

Región de Procedencias y Punto de muestreo		Progenies (N°)	Plantas Inicial (N°)	Plantas Vivas 2014 (N°)	Sup (%)	ALT 2009 (m)	DAP 2009 (cm)	ALT 2014 (m)	DAP 2014 (cm)
3-C	Sub-total 3-C	16	80	47	58,8	11,0	12,4	15,7	18,2
	Nahuelbuta	6	30	12	40,0	10,4	11,6	15,0	15,6
	Pichipillahuén	10	50	35	70,0	11,1	12,6	15,9	19,1
5-C	Sub-total 5-C	17	85	63	74,1	9,8	9,5	14,2	13,4
	Llanacura	9	45	32	71,1	9,6	9,4	14,2	13,1
	Hueyusca	8	40	31	77,5	9,9	9,5	14,3	13,7
8-A	Sub-total 8-A	25	125	88	70,4	9,8	10,4	14,4	14,9
	Radal 7 Tazas	10	50	38	76,0	10,0	11,0	14,7	15,5
	Vilches	5	25	13	52,0	9,4	9,1	13,3	12,4
	Emb. Bullileo	10	50	37	74,0	9,8	10,3	14,4	15,1
9-A	Sub-total 9-A	31	155	117	75,5	10,2	10,6	15,0	15,8
	Recinto	10	50	38	76,0	9,5	9,6	14,2	13,7
	Santa Bárbara	11	55	42	76,4	10,7	11,5	15,8	17,6
	Jauja	10	50	37	74,0	10,4	10,5	15,0	15,8
11-A	Sub-total 11-A	15	75	56	74,7	10,0	10,7	14,5	15,6
	Malalcahuello	3	15	11	73,3	9,4	10,4	13,6	14,2
	Melipeuco	2	10	4	40,0	11,2	11,6	16,1	18,0
	Curarrehue	10	50	41	82,0	10,1	10,6	14,5	15,7
13-A	Sub-total 13-A	10	50	38	76,0	10,2	11,2	15,4	17,0
	Releco	10	50	38	76,0	10,2	11,2	15,4	17,0
Huerto Huillilemu		8	40	32	80,0	9,5	10,0	13,8	14,1
Testigos		4	20	14	70,0	9,3	9,3	13,7	13,8
Total Ensayo		126	630	455	72,2	10,1	10,6	14,7	15,4

El crecimiento medido en los árboles del ensayo evaluado resulta superior al informado para renovales y otras plantaciones de la misma especie establecidas con anterioridad.

Sin duda, parte de esta diferencia obedece a la mejor silvicultura de establecimiento considerada en el ensayo, pero también existen consideraciones respecto a la genética del material que deben ser tenidas en cuenta.

En efecto, dentro del material evaluado hay familias e individuos puros e híbridos cuyo desempeño es significativamente superior a los valores medios informados en el Cuadro N° 8.

Este material resultará el más adecuado para el establecimiento de plantaciones operacionales, cuyo desempeño será incluso mejor que el bosquejado en los párrafos precedentes.

Análisis Genético Cuantitativo

Los parámetros genéticos heredabilidad (h^2), correlaciones genéticas aditivas, correlaciones fenotípicas y correlaciones residuales para las variables Altura, DAP y Rectitud de Fuste de raulí a los 9 y 14 años de edad se presentan en los Cuadros N° 9, N° 10, N° 11 y N° 12, respectivamente.

Cuadro N° 9
HEREDABILIDADES INDIVIDUALES PARA ALTURA, DAP Y RECTITUD DE FUSTE ESTIMADAS A LOS 9 Y 14 AÑOS DE EDAD EN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ ARQUILHUE

ALT₂₀₀₉	ALT₂₀₁₄	DAP₂₀₀₉	DAP₂₀₁₄	RECT₂₀₀₉	RECT₂₀₁₄
0,294 ± 0,176	0,258 ± 0,172	0,204 ± 0,168	0,487 ± 0,187	0,321 ± 0,179	0,125 ± 0,166

Cuadro N° 10
CORRELACIONES GENÉTICAS ENTRE ALTURA, DAP Y RECTITUD DE FUSTE ESTIMADAS A LOS 9 Y 14 AÑOS DE EDAD EN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ ARQUILHUE

Rasgos	ALT₂₀₀₉	ALT₂₀₁₄	DAP₂₀₀₉	DAP₂₀₁₄	RECT₂₀₀₉
ALT ₂₀₁₄	1,00±0,1826	-			
DAP ₂₀₀₉	1,00±0,1851	1,00±0,2930	-		
DAP ₂₀₁₄	0,9316±0,1346	1,00±0,1634	1,00±0,1200	-	
RECT ₂₀₀₉	0,5331±0,3659	0,4545±0,3902	0,5456±0,4743	0,3216±0,3170	-
RECT ₂₀₁₄	0,7285±0,5975	0,6511±0,6008	1,00±0,8333	0,6559±0,5169	0,6923±0,3659

Cuadro N° 11
CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE ALTURA, DAP Y RECTITUD DE FUSTE ESTIMADAS A LOS 9 Y 14 AÑOS DE EDAD EN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ ARQUILHUE

Rasgos	ALT₂₀₀₉	ALT₂₀₁₄	DAP₂₀₀₉	DAP₂₀₁₄	RECT₂₀₀₉
ALT ₂₀₁₄	0,6892±0,0249	-			
DAP ₂₀₀₉	0,7310±0,0220	0,6405±0,0279	-		
DAP ₂₀₁₄	0,7080±0,0237	0,7031±0,0240	0,8980±0,0091	-	
RECT ₂₀₀₉	0,2523±0,0445	0,2509±0,0445	0,1240±0,0467	0,1918±0,0461	-
RECT ₂₀₁₄	0,2585±0,0441	0,2673±0,0439	0,1657±0,0460	0,2208±0,0451	0,6231±0,0289

Cuadro N° 12
CORRELACIONES RESIDUALES O AMBIENTAL ENTRE ALTURA, DAP Y RECTITUD DE FUSTE ESTIMADAS A LOS 9 Y 14 AÑOS DE EDAD EN ENSAYO DE PROGENIES Y PROCEDENCIAS DE RAULÍ ARQUILHUE

Rasgos	ALT ₂₀₀₉	ALT ₂₀₁₄	DAP ₂₀₀₉	DAP ₂₀₁₄	RECT ₂₀₀₉
ALT ₂₀₁₄	0,5233±0,1121	-			
DAP ₂₀₀₉	0,6292±0,0896	0,4716±0,1141	-		
DAP ₂₀₁₄	0,5906±0,1233	0,5069±0,1353	0,8747±0,0407	-	
RECT ₂₀₀₉	0,1278±0,1771	0,1692±0,1684	-0,0213±0,1717	0,1095±0,2126	-
RECT ₂₀₁₄	0,1510±0,1516	0,1865±0,1444	-0,0084±0,1498	0,0878±0,1846	0,6283±0,0979

La heredabilidad de las variables Altura y Rectitud de Fuste experimentan una disminución desde la evaluación del año 2009 a la del 2014; la heredabilidad del DAP sin embargo presenta un importante incremento.

Esta misma situación, de disminución de la heredabilidad de la altura y aumento de la del diámetro, también fue observada en una evaluación similar efectuada en lenga (Capítulo 16).

Las correlaciones fenotípicas entre variables de crecimiento son relativamente altas entre variables del mismo año (Ej. ALT₂₀₀₉-DAP₂₀₀₉), así como entre la misma variable en los 2 años de evaluación (Ej. ALT₂₀₀₉-ALT₂₀₁₄), fluctuando en general alrededor de 0,7. Por el contrario la correlación entre rectitud de fuste y crecimiento es positiva pero de baja magnitud, fluctuando en torno a 0,1 y menos.

Análogamente, las correlaciones genéticas resultan superiores a las fenotípicas, manteniéndose la misma tendencia de que los mayores valores se encuentran entre las variables de crecimiento (ALT y DAP), las que a su vez se correlacionan bastante menos con la rectitud de fuste.

En términos prácticos, lo anterior implica que en los procesos de selección puede ser suficiente basarse en una sola variable de crecimiento, escogiendo la que sea más fácil de evaluar (DAP). Sin embargo no puede hacerse esta misma simplificación con la rectitud de fuste, la cual deberá ser específicamente evaluada si se pretende incorporarla como criterio de selección.

La correlación residual o ambiental entre la ALT y el DAP en sus distintas combinaciones es aproximadamente mayor a 0,5 y esto indica que hay bastante variación no explicada o ambiental que es necesario identificar.

Lo que es interesante en la variable RECT, a mayor rectitud los árboles exhiben una correlación ambiental positiva con la altura de los árboles, lo que seguramente está asociado a la calidad del sitio del ensayo. En cambio la correlación residual de la RECT con el DAP, es relativamente independiente.

Respecto de los valores genéticos (valor de mejora o *breeding value*) estos se utilizaron para confeccionar el *ranking* individual y familiar del ensayo, así como un *ranking* agregado a nivel de procedencias o puntos de muestreo.

Para este efecto se procedió a ordenar los árboles (las familias o las procedencias según el *ranking* del caso) en forma decreciente en función de un índice que combinó los valores de mejora de las seis variables evaluadas a nivel de árbol individual (sus medias familiares o por procedencias según el *ranking* del caso) y ponderadas por sus respectivas heredabilidades.

El *ranking* de procedencias o puntos de muestreo se presenta en el Cuadro N° 13, donde se destaca el buen rendimiento observado por la procedencia Pichipillahuén, seguida de Santa Bárbara y Melipeuco. El peor desempeño corresponde a la procedencia de Vilches, situación que coincide con lo presentado en el análisis descriptivo del ensayo.

Del Cuadro N° 13 se destaca también la desmejorada posición que alcanzan a este nivel los árboles originados en semilla del huerto semillero Huillilemu. No obstante, atendiendo a la gran variabilidad entre individuos y familias dentro de las procedencias, las medias individuales agrupadas a nivel de procedencias no constituyen información suficiente para identificar al material de mejor desempeño, constituyendo solo una primera y muy gruesa aproximación a este objetivo.

Cuadro N° 13
ORDENAMIENTO DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN EN FUNCIÓN DE LA PROCEDENCIA DE CADA MADRE

Ranking	Procedencia	Valores de Mejora						Índice
		ALT ₂₀₀₉	DAP ₂₀₀₉	RECT ₂₀₀₉	ALT ₂₀₁₄	DAP ₂₀₁₄	RECT ₂₀₁₄	
1	Pichipillahuén	0,575	0,886	1,014	2,275	0,117	0,164	0,793
2	Santa Bárbara	0,482	0,569	0,584	1,791	0,126	0,098	0,581
3	Melipeuco	0,358	0,672	0,547	1,719	-0,230	-0,199	0,429
4	Releco	0,258	0,229	0,617	1,220	-0,033	0,053	0,371
5	Jauja	0,183	0,295	0,546	0,828	-0,068	-0,040	0,275
6	Curarrehue	0,006	0,097	0,092	0,176	-0,063	-0,027	0,037
7	Emb. Bullileo	-0,032	-0,025	-0,166	-0,305	0,124	0,015	-0,050
8	Radal 7 tazas	-0,052	-0,132	-0,270	-0,440	0,154	0,119	-0,090
9	Nahuelbuta	-0,117	-0,198	-0,473	-0,640	0,068	0,117	-0,203
10	Hueyusca	-0,150	-0,272	-0,256	-0,910	0,082	-0,048	-0,226
11	Testigos	-0,323	-0,294	-0,315	-0,782	-0,274	-0,175	-0,363
12	Recinto	-0,290	-0,483	-0,608	-1,186	-0,039	-0,088	-0,423
13	Huerto Huillilemu	-0,353	-0,411	-0,688	-1,279	-0,069	-0,049	-0,461
14	Llancacura	-0,329	-0,546	-0,600	-1,300	-0,140	-0,124	-0,485
15	Malalcahuello	-0,388	-0,445	-0,776	-1,491	0,016	0,074	-0,487
16	Vilches	-0,597	-0,654	-1,132	-2,154	-0,250	-0,221	-0,815

Para afinar el proceso de identificación del material genético con mejor desempeño, se repitió el procedimiento anterior para confeccionar un nuevo *ranking*, ahora a nivel de las madres representadas en el ensayo.

De este nuevo ordenamiento se concluye que, de las 126 progenies evaluadas el mejor desempeño de acuerdo al índice de selección confeccionado con sus valores de mejora lo expresa la familia 236 procedente de Pichipillahuén.

Las 20 mejores madres de acuerdo a este índice se presentan en el Cuadro N° 14, donde se observa que en la cabecera del *ranking* figuran madres de distintas procedencias, incluso de algunas que a nivel general presentan un desempeño regular o deficiente.

Entre estas últimas, destacan la progenie 75 que son los hijos de uno de los clones del huerto Huillilemu (clon 36) que se ubica en la quinta posición del ranking familiar, y la progenie 301 de Llanacura en la posición 20 del mismo.

A pesar de lo anterior, se observa una relativa consistencia entre el *ranking* de procedencias (Cuadro N° 13) y la cabecera del *ranking* familiar (Cuadro N° 14), donde en general dominan progenies de procedencias de buen desempeño y no se observa una participación importante de familias pertenecientes a procedencias de desempeño medio inferior.

Cuadro N° 14
PRIMERAS 20 MADRES DEL RANKING*

Ranking	Madre	Procedencia	Valores de Mejora						Índice
			ALT ₂₀₀₉	DAP ₂₀₀₉	RECT ₂₀₀₉	ALT ₂₀₁₄	DAP ₂₀₁₄	RECT ₂₀₁₄	
1	236	Pichipillahuén	1,595	2,481	3,203	7,188	0,084	0,324	2,331
2	212	Santa Bárbara	1,445	1,856	2,555	4,435	0,969	0,589	1,961
3	277	Curarrehue	1,098	1,537	2,315	4,102	0,301	0,241	1,547
4	151	Radal 7 tazas	0,959	1,551	2,003	3,268	0,458	0,188	1,380
5	75	Huerto Huillilemu	0,833	1,464	2,011	3,932	0,099	0,271	1,353
6	174	Emb. Bullileo	0,846	1,553	1,815	3,921	0,046	0,266	1,311
7	233	Pichipillahuén	0,952	1,426	1,514	3,157	0,462	0,454	1,275
8	215	Santa Bárbara	1,036	1,145	1,644	2,649	0,668	0,163	1,240
9	288	Releco	0,984	0,794	1,462	3,402	0,465	0,269	1,219
10	281	Releco	0,746	1,092	1,811	2,888	0,080	0,005	1,070
11	218	Jauja	0,619	0,881	1,694	2,702	0,056	0,045	0,962
12	216	Santa Bárbara	0,727	1,226	1,038	2,676	0,220	0,237	0,961
13	232	Pichipillahuén	0,764	0,890	1,144	2,323	0,416	0,292	0,954
14	287	Releco	0,640	0,774	0,932	2,377	0,358	0,350	0,874
15	214	Santa Bárbara	0,518	0,850	1,389	2,374	0,045	0,038	0,829
16	234	Pichipillahuén	0,538	1,262	0,701	2,061	0,247	0,158	0,777
17	210	Santa Bárbara	0,547	0,646	1,358	2,381	-0,142	0,084	0,760
18	286	Releco	0,505	0,592	1,178	2,547	-0,159	0,213	0,742
19	289	Releco	0,442	0,433	1,396	2,488	-0,151	0,097	0,738
20	301	Llanacura	0,538	0,840	1,031	1,967	0,092	0,044	0,721

**Ranking* confeccionado en base a los valores de mejora familiar refundidos en un índice de selección que reúne a las variables Altura, DAP y Rectitud de Fuste a los 9 y 14 años de edad, ponderadas por sus respectivas heredabilidades

Por último, usando el mismo procedimiento de los dos *rankings* anteriores, se obtuvo el *ranking* individual de los 455 árboles remanentes del ensayo. Las primeras 50 posiciones de este ordenamiento se presentan en el Cuadro N° 15.

A nivel de árboles individuales, de los 455 árboles evaluados el mejor desempeño corresponde a un árbol que es hijo de la madre 236, procedente de Pichipillahuén, el cual se ubica en el cuarto bloque del ensayo.

Coincidentemente el mejor árbol del ensayo es hijo de la mejor madre, que a su vez pertenece a la mejor procedencia. De ahí en adelante, como consecuencia de la gran variabilidad entre árboles, los mejores individuos del ensayo corresponden a distintas familias y procedencias, no necesariamente a las mejores de los *rankings* de procedencias o de familias. En efecto, entre los mejores individuos figura en la posición 16 un individuo de uno de los lotes testigos, los que en general tuvieron pobre desempeño.

Análogamente a lo que se observa en el Cuadro N°14, en la cabecera del *ranking* individual si bien existen árboles de distintas familias y procedencias, hay un predominio de aquellos que pertenecen a familias y procedencias que han evidenciado mejor comportamiento, mientras que la participación de individuos de familias y procedencias de comportamiento inferior es mucho más reducida, aunque no nula.

Además de los *rankings* contruidos en base al índice que combina las seis variables evaluadas (Altura, DAP y Rectitud de Fuste de 2009 y 2014), se confeccionaron otros dos *rankings* familiares adicionales en que se considera por separado a las variables del año 2009 y 2014.

Los cambios de posición de las familias en los *rankings* que consideran solo las variables del año 2009 y conjuntamente las de 2009 y 2014 con respecto al que considera solo las del 2014 se presentan en la Figura N° 1. En ella se representan las variaciones significativas que involucran el movimiento de una familia desde un decil de un *ranking* a un decil distinto en los *rankings* de comparación. Las modificaciones menores, que corresponden al movimiento de familias dentro de un mismo decil, no se consideran por ser menos relevantes.

Cuadro N° 15
PRIMERAS 50 POSICIONES DEL RANKING DE ÁRBOLES INDIVIDUALES*

Ranking	Árbol	Madre	Procedencia	Bloq	Valores de Mejora						Índice
					9 años			14 años			
					ALT	DAP	RECT	ALT	DAP	RECT	
1	1417	236	Pichipillahuén	4	2,592	4,272	5,787	11,650	0,225	0,390	3,939
2	1089	151	Radal 7 tazas	1	1,525	2,597	3,604	6,237	0,325	0,139	2,320
3	1438	75	Huerto Huillilemu	4	1,536	2,431	2,759	6,138	0,558	0,632	2,230
4	1320	218	Jauja	3	1,309	2,173	3,549	6,170	-0,086	0,004	2,082
5	1174	232	Pichipillahuén	2	1,496	2,156	2,760	5,578	0,500	0,519	2,079
6	1108	215	Santa Bárbara	1	1,613	1,899	2,650	4,975	0,878	0,466	2,061
7	1579	289	Releco	5	1,382	1,953	3,105	6,024	0,191	0,259	2,060
8	1554	212	Santa Bárbara	5	1,477	1,993	2,716	4,848	0,879	0,544	2,048
9	1428	212	Santa Bárbara	4	1,495	2,025	2,785	4,592	0,934	0,500	2,041
10	1057	237	Pichipillahuén	1	1,431	2,245	2,705	4,896	0,645	0,461	2,002
11	1338	287	Releco	3	1,365	1,958	2,263	4,977	0,622	0,568	1,885
12	1345	277	Curarrehue	3	1,364	1,910	2,526	4,351	0,794	0,521	1,880
13	1235	219	Jauja	2	1,173	1,718	3,561	6,496	-0,646	-0,554	1,853
14	1622	236	Pichipillahuén	5	1,326	1,960	2,271	5,726	0,182	0,339	1,851
15	1155	174	Emb. Bullileo	2	1,221	2,238	2,479	5,327	0,146	0,395	1,839
16	1376	904	Testigo	3	1,078	1,929	3,547	5,889	-0,536	-0,212	1,823
17	1469	286	Releco	4	1,194	2,024	2,576	5,665	-0,191	0,457	1,785
18	1170	216	Santa Bárbara	2	1,266	2,179	2,087	5,044	0,292	0,492	1,771
19	1302	75	Huerto Huillilemu	3	1,022	1,985	2,989	5,676	-0,347	0,097	1,759
20	1260	311	Hueyusca	3	1,165	2,047	2,675	5,109	-0,021	0,141	1,743
21	1472	281	Releco	4	1,261	1,857	2,569	4,252	0,425	0,161	1,715
22	1440	288	Releco	4	1,289	1,471	1,917	4,607	0,618	0,491	1,684
23	1488	210	Santa Bárbara	4	1,173	1,582	2,580	5,158	-0,040	0,297	1,683
24	1476	223	Jauja	4	1,074	1,937	2,731	5,288	-0,347	0,246	1,665
25	1584	174	Emb. Bullileo	5	0,978	1,991	2,403	4,866	-0,063	0,315	1,615
26	1414	234	Pichipillahuén	4	1,136	1,858	1,954	4,350	0,445	0,326	1,610
27	1524	211	Santa Bárbara	5	1,168	1,596	2,325	4,244	0,345	0,261	1,605
28	1437	215	Santa Bárbara	4	1,237	1,557	2,259	3,648	0,578	0,134	1,566
29	1144	227	Jauja	2	1,118	1,799	1,706	3,786	0,593	0,484	1,521
30	1356	225	Jauja	3	0,981	1,516	2,084	3,523	0,607	0,475	1,498
31	1627	216	Santa Bárbara	5	1,093	1,730	1,791	3,947	0,428	0,344	1,491
32	1490	235	Pichipillahuén	4	1,109	1,458	1,515	3,870	0,527	0,434	1,432
33	1084	214	Santa Bárbara	1	0,901	1,512	2,169	4,323	-0,010	0,116	1,417
34	1132	212	Santa Bárbara	2	1,117	1,275	1,543	2,801	1,039	0,644	1,417
35	1000	287	Releco	1	1,048	1,235	1,623	3,472	0,710	0,511	1,413
36	1120	212	Santa Bárbara	1	0,970	1,204	1,898	3,280	0,539	0,375	1,359
37	1273	233	Pichipillahuén	3	1,012	1,555	1,809	3,541	0,318	0,246	1,358
38	1228	277	Curarrehue	2	0,868	1,512	2,132	4,226	-0,175	0,153	1,345
39	1024	174	Emb. Bullileo	1	0,882	1,391	1,968	3,646	0,204	0,245	1,329
40	1508	288	Releco	5	0,950	0,994	1,510	3,841	0,219	0,186	1,235
41	1485	277	Curarrehue	4	0,895	1,263	1,682	2,942	0,467	0,265	1,231
42	1075	278	Curarrehue	1	0,868	0,928	2,181	3,153	0,208	0,076	1,224
43	1049	288	Releco	1	0,973	0,751	1,515	2,952	0,669	0,320	1,215
44	1013	236	Pichipillahuén	1	0,867	1,211	1,550	4,193	-0,156	0,246	1,205
45	1473	272	Curarrehue	4	0,899	1,537	1,545	3,759	-0,037	-0,004	1,199
46	1534	305	Llancacura	5	0,731	1,476	1,987	3,438	-0,093	0,147	1,192
47	1074	301	Llancacura	1	0,818	1,280	1,787	3,520	0,005	0,083	1,182
48	1087	226	Jauja	1	0,791	1,440	1,943	3,719	-0,282	-0,007	1,167
49	1531	259	Melipeuco	5	0,859	1,398	1,607	3,643	-0,158	-0,102	1,127
50	1162	280	Releco	2	0,727	1,261	1,422	3,908	-0,167	0,109	1,106

*Ranking confeccionado en base a los valores de mejora individuales refundidos en un índice de selección que reúne a las variables Altura, DAP y rectitud de fuste a los 9 y 14 años de edad, ponderadas por sus respectivas heredabilidades

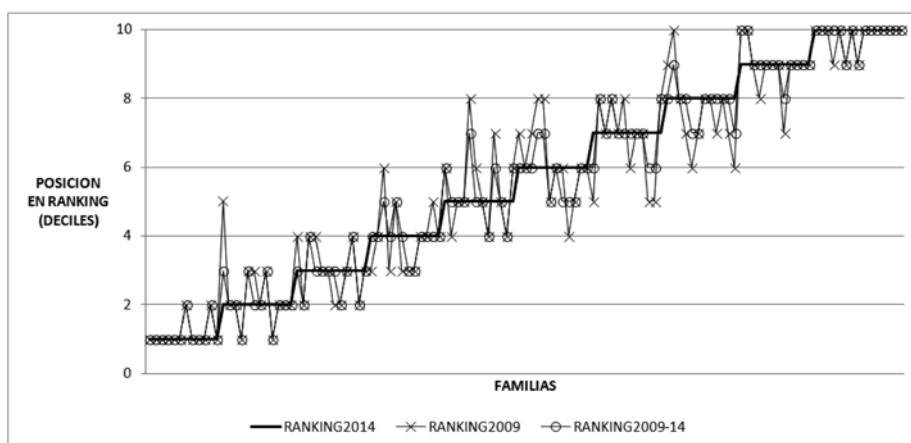


Figura N° 1
VARIACIÓN DE LA POSICIÓN EN EL RANKING DE FAMILIAS
EN FUNCIÓN DE LAS MEDICIONES UTILIZADAS PARA CONFECCIONAR CADA RANKING

La Figura N° 1 pone de manifiesto una alta coincidencia entre los ordenamientos familiares obtenidos en las tres situaciones, particularmente en los extremos del *ranking* (deciles 1 y 10) que son los de mayor interés para seleccionar o descalificar material del programa de mejoramiento genético. La correlación entre el ordenamiento obtenido con medición 2014 respecto al obtenido con la medición 2009 es de $r = 0,95$. El ajuste es aún mejor cuando se compara la medición 2014 con la ordenación que considera simultáneamente a ambas mediciones, en este caso la correlación entre ambos *rankings* es $r = 0,98$.

CONCLUSIONES

El ensayo Arquihue de procedencias y progenies de raulí presenta a los 14 años de edad una supervivencia y crecimiento satisfactorios, que superan al de renovales naturales y de otras plantaciones de la misma especie.

En general sus valores de heredabilidad son moderados, existiendo una alta correlación, tanto fenotípica como genética, entre sus variables de crecimiento y una correlación considerablemente menor entre estas y la rectitud de fuste.

En términos de desempeño, se destaca el comportamiento de las progenies de la procedencia Pichipillahuén, existiendo individuos de otras progenies y procedencias que también exhiben un desempeño superior y que se pueden identificar en los respectivos *rankings* individuales y familiares.

Se confirma una alta consistencia entre los *rankings* familiares confeccionados con las mediciones 2009 y 2014 usándolas cada una por separado o en forma conjunta.

Se recomienda conservar el ensayo y continuar con su programa de evaluación, a objeto de disponer de información que sea aún más representativa del desempeño de los distintos materiales genéticos a una edad más avanzada, al menos un 50% de su rotación comercial, e idealmente más atendiendo a su valor como población base del programa de mejoramiento genético y como unidad de conservación *ex situ* de la variabilidad genética de la especie.

REFERENCIAS

Álvarez, C. y Lara, A., 2008. Crecimiento de una plantación joven en fajas con especies nativas en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia. *Bosque* 29(3): 181-191.

Chambers, P.; Borralho, N. y Potts, B., 1995. The genetic control of survival in *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. En: Proceeding Paper. Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality. CRCTHT-IUFRO Conference Hobart, Australia 189-24 February 1995. Pp: 233-234.

Donoso, P., 1988. Caracterización y proposiciones silviculturales para renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*) en el área de protección "Radal 7 Tazas", VII Región. *Bosque*: 9(2): 103-114.

Donoso, S. y Gutiérrez, F., s/f. Crecimiento de plantaciones de *Nothofagus spp.* y rendimiento volumétrico al aplicar tratamientos silvícolas. Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile. 4 p.

Gilmour, A.; Cullis, B.; Welham, S. y Thompson, R., 1999. ASREML. Beta Version. 177 p.

Gilmour, A.; Cullis, B.; Welham, S. y Thompson, R., 2002. ASREML Reference Manual. Mayo 7 del 2002. 257 p.

Gilmour, A.; Gogel, B.; Cullis, B. y Thompson, R., 2006. ASREML User Guide Release 2.0. VSN International Ltd. Hemel Hempstead, UK.

Gutierrez, B. e Ipinza, R., 2000. Evaluación de Parámetros Genéticos en *Nothofagus*. En: Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble. Ipinza, R.; Gutierrez, B. y Emhart, V. (Eds). Universidad Austral de Chile – Instituto Forestal. Pp: 371-390.

Ipinza, R., 1999. Ensayos de progenie y procedencia en Chile. Análisis Espacial (ASREML) en *Nothofagus alpina*, un estudio de caso. En: Klein, C. and M. Köhl (Eds.) 1999. Long - Term Observation and Research in Forestry. Proceeding of IUFRO S4.11 International Symposium. CATIE, Costa Rica, Feb. 23-27, 1999. Pp: 187-203.

Ipinza, R.; Gutierrez, B. y Emhart, V. (Eds), 2000a. Domesticación y Mejora Genética de raulí y roble. Universidad Austral de Chile / Instituto Forestal. 468 p.

Ipinza, R.; Gutierrez, B. y Medina, A., 2000b. Variación genética del peso y forma de semilla, y crecimiento inicial de procedencias naturales de *N. alpina* y *N. obliqua* en Chile. En: Ipinza, R.; Gutierrez, B. y Emhart, V. (Eds). Domesticación y Mejora Genética de Raulí y Roble. Universidad Austral de Chile – Instituto Forestal. Pp: 323-347.

Ipinza, R.; Gutierrez, B.; Medina, A.; Moreno, P. y Emhart, V., 2000c. Análisis geográfico y genético de rasgos morfológicos de la semilla, germinación y crecimiento inicial en *N. alpina* y *N. obliqua*. Reunión Internacional Modelos y Métodos Estadísticos Aplicados a Bosques Naturales IUFRO S4.11. Valdivia, Chile.

McGuirk, B., 1989. The estimation of genetic parameter for all-or-none and categorical trait. En: Hill y MacKay (editors), Evolution and Animal Breeding. CAB International

Medina, A. e Ipinza, R., 2012. Análisis genético de rasgos morfológicos de la semilla, germinación y crecimiento inicial en raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. & Endl.) Oerst.) y roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) en Chile. Ciencias e Investigación Forestal, INFOR, Chile. Volumen 18 N°3, Diciembre 2012. pp. 7-24.

Vergara, R.; Ipinza, R.; Donoso, C. y Grosse, H., 1998. Definición de Zonas de Procedencia de Roble y Raulí. Estado de Avance. En: Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, El manejo Sustentable de los Recursos Forestales: Desafío del Siglo XXI. Valdivia, Chile. 22 al 28 de noviembre de 1998.

Vergara, R., 2011. Neutral and Adaptive genetic structure of the South America species of *Nothofagus* subgenus *Lophozonia*. Natural History, Conservation, and Tree Improvement Implications. A Dissertation Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy. University of Florida. 169 p.



CONSERVACIÓN Y
MEJORAMIENTO GENÉTICO
INFOR

www.infor.cl



INFOR