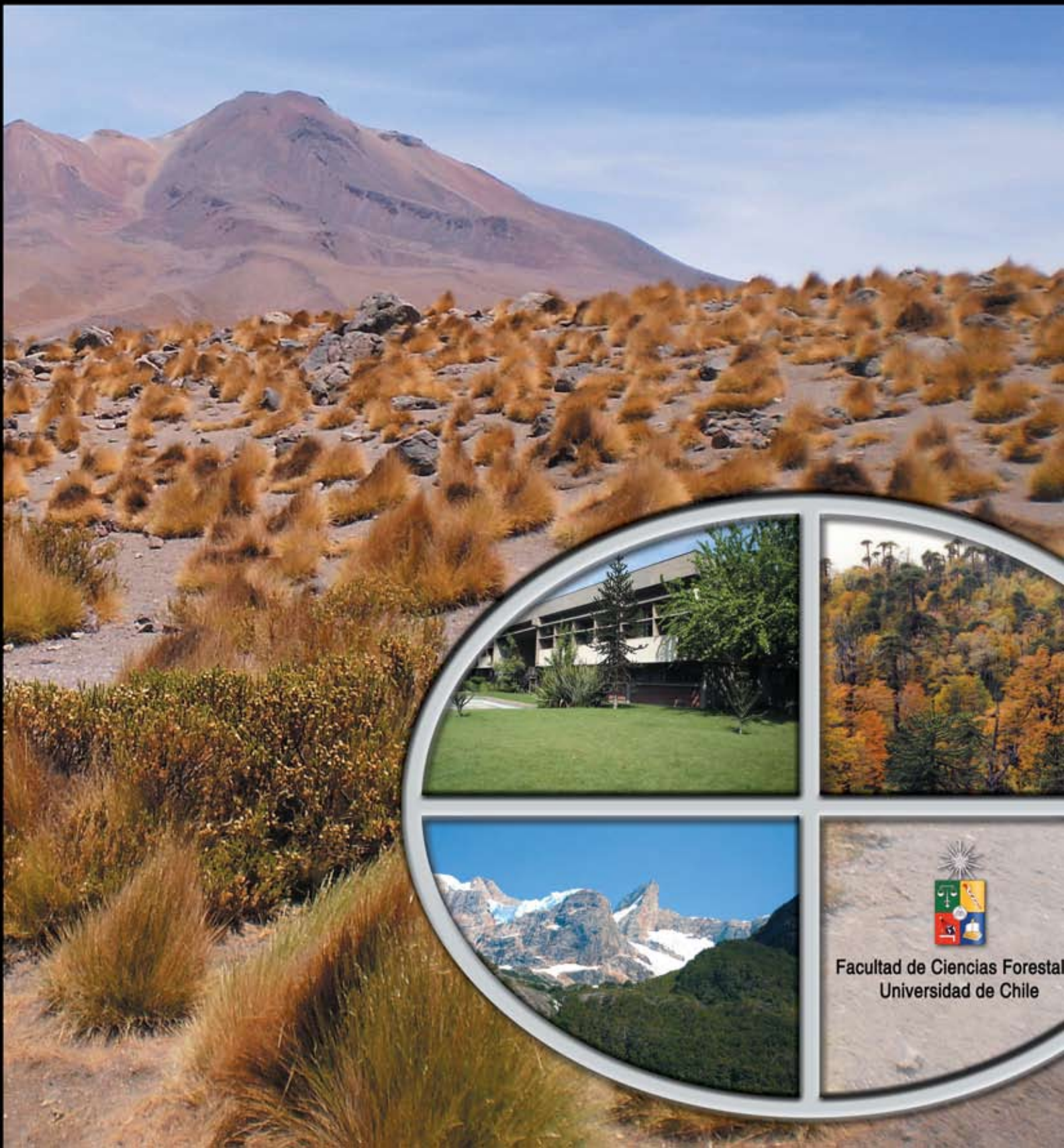


2009  
revista de extensión

ISSN 0718-2708

Año 4, N° 7, 2009

# ambiente **FORESTAL**



Facultad de Ciencias Forestales  
Universidad de Chile

# INDICE INDICE

ÍNDICE .....1

EDITORIAL .....1

**1. Hay desinterés por nuestro patrimonio vegetal .....1**

*Antonia Echenique, Directora del Jardín Botánico Chagual, el primero de Santiago  
Periodista Iván Valdés G.*

**2. Más allá de los enfoques directos de valoración económica:  
un enfoque socioeconómico para valorar servicios ambientales  
proporcionados por ecosistemas boscosos .....1**

*Dra. Ingeniera Forestal Claudia Cerda J.*

**3. Especies invasoras y cambio climático .....1**

*Patricio Corvalán V.*

**4. Fitoestabilización de depósitos de relaves:  
una tecnología basada en el uso de plantas distinta de la forestación .....1**

*Rosanna Ginocchio C. y Claudia Santibáñez V.*

**5. Efecto de la aplicación de lodos celulósicos en plántulas  
de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* .....1**

*Macarena Barros, Javier González; Manuel Rodríguez, Manuel Toral Ibáñez*

**6. *Myrceugenia rufa* (arrayán rojo, arrayán de hoja roja):  
ensayos de propagación vegetativa .....1**

*Ángel Cabello y Daniela Suazo*

**7. Aproximaciones a la propagación de *Polylepis tarapacana phil.*  
en el altiplano de la I región de Iquique .....1**

*Cristina Orchard; Lysette Mersey; Sigal Stern; Daniel Green; Oscar Zepeda*

**8. Bienestar habitacional y eficiencia energética de viviendas sociales  
industrializadas con estructura de madera .....1**

*Marcelo González Retamal, Gabriel Rodríguez Jaque, Tomás Karsulovic Carrasco, Aldo Cisternas  
Petinelli, Alejandro Bozo González*



# EDITORIAL

## EDITORIAL



El tiempo y los análisis posteriores permitirán determinar si la Ley de Bosque Nativo ha sido un buen instrumento de fomento forestal y recuperación del recurso. Sólo en ese instante podrá definirse si la decisión tomada fue la correcta o si debió tener aún más madurez.

Por ahora, es claro que la ley 20.283 depende de un reglamento que debería definir en gran medida los efectos ambientales que tengan las planificaciones y acciones productivas en el bosque, estableciendo restricciones con fines de minimizar daños sobre el suelo, cursos de agua y humedales. A este respecto, la autoridad ha sido clara en requerir mayores conocimientos. Por ello, ha planteado el desafío a los profesionales ambientales, entre los cuales los ingenieros forestales, ecólogos y botánicos tienen una mayor competencia. Son sólo estos profesionales quienes comprenden, por ejemplo, que determinados proyectos podrían nunca cumplir con las compensaciones solicitadas, al desconocerse los protocolos de propagación de determinadas especies o no existir semillación periódica.

Este desafío es mayúsculo, en cuanto toda la información generada por años en nuestros bosques debe ser validada, comparada metodológicamente y seleccionada mediante estándares de procedimientos a asumir como adecuados. A partir de eso, debe forjarse nueva información.

Relacionando lo anterior, no debe interpretarse este comentario como una intención de dilatar el funcionamiento de la ley, toda vez que la investigación forestal, tal como sus ciclos, puede no ser de corto plazo. Al contrario, los mismos proyectos aprobados deben servir como una base de conocimiento si son elaborados con las técnicas más aceptadas hasta ese momento, permitiendo de esa manera revalidar, perfeccionar o modificar las metodologías empleadas.

Resumiendo, la ley 20.283 de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal debe ser vista como una oportunidad de desarrollo sectorial, pero también, como un marco teórico dentro del cual deberá avanzarse en términos de la investigación forestal de utilidad para el progreso del país.

Gabriel Mancilla Escobar  
*Subdirector*

ANTONIA ECHENIQUE, DIRECTORA DEL JARDÍN BOTÁNICO CHAGUAL,  
EL PRIMERO DE SANTIAGO

## HAY DESINTERÉS POR NUESTRO PATRIMONIO VEGETAL



*Levantarse el primer jardín botánico para Santiago es el gran sueño que Antonia Echenique, junto a un par de amigas, ha cultivado desde hace más de un lustro y que hoy está mostrando sus primeros frutos. Una historia de creatividad, compromiso con la comunidad, y vocación que ha debido enfrentarse a una dramática falta de recursos y apoyos estatales. Así, cuesta arriba y a punta de voluntariado, se ha ido construyendo el Jardín Botánico Chagual, el que de aquí a 30 años debería convertirse una de las colecciones vegetales más importantes del país. Un proyecto en el que la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza de la U. de Chile, ha jugado un rol protagónico.*

***¿En términos generales, cuáles son los elementos que caracterizan el proyecto del Jardín Botánico Chagual?***

“El proyecto es desarrollar el primer Jardín Botánico para la ciudad de Santiago. Ésta es una de las pocas capitales del mundo que no tiene Jardín Botánico, lo que en cierta forma indica un desinterés por nuestro patrimonio vegetal. En el fondo, un jardín Botánico es un museo vivo: aquí tienes colecciones, que en este caso son plantas; está toda el área de investigación; el área de conservación; así como también de difusión, que se hace a través de las revistas y libros que se publican; y finalmente está la educación, una educación especialmente dirigida a la población escolar de la Región Metropolitana.

La peculiaridad de este proyecto es que está dedicado a la flora del Chile central, vale decir, a la flora de clima mediterráneo. Cabe recordar, que el clima mediterráneo en el mundo sólo representa el 5% de la biósfera, es muy pequeño, y por lo general está al oeste de los continentes y en la franja de entre los 35 y los 45 grados de latitud tanto norte como sur. Son franjas con el clima más benigno y por la misma razón son las que conservan la población más grande. Estas regiones en el mundo son: California, la zona central de Chile, el sudoeste y sudeste de Australia, la región del Cabo en Sudáfrica y el Mediterráneo europeo. Sus características son inviernos lluviosos, veranos muy secos y con altas temperaturas, muchas diferencias entre el día y la noche, que en el caso de Chile está bastante mitigado por la Corriente de Humboldt. Los árboles

entonces, son en general de hojas muy coriáceas, que resisten las altas temperaturas y hasta nueve meses de sequía”.

### **¿De donde nace esta iniciativa?**

“Maria Victoria Legaza, Estela Cardeza y mi persona somos las gestoras del proyecto, pero ha participado mucha gente. Quienes hicieron el Plan Botánico, fueron unos 40 profesionales, entre botánicos, ingenieros forestales, ingenieros agrónomos y viveristas, que se reunieron el año 2002 en un seminario, en el cual nosotros presentamos la idea. Se debatió durante dos días cómo podía ser el Jardín Botánico de Santiago y se llegó a la conclusión, como es un terreno con laderas muy pronunciadas, que en las partes más altas se organizaran los principales ecosistemas del clima mediterráneo. Y en las partes más llanas, crear jardines temáticos, es decir, pequeños jardines con un tema en especial, por ejemplo el jardín de los niños, que se llama “Jardín del Descubrimiento”; está también el “Jardín de la Botánica Económica”; el “Jardín Filogenético”, que habla del origen de las plantas, haciendo un recorrido de las plantas más antiguas hasta las más modernas; o bien el “Jardín de la Botánica Indígena”, que muestra las plantas que utilizaban nuestros ancestros y sus usos, es decir, cuáles eran las yerbas medicinales, las culinarias, etc.

Todo esto se interpretó en un plano arquitectónico paisajista, lo que estuvo a cargo de un equipo de la Universidad Católica el año 2005. Fue muy lindo el proceso. Nosotros pusimos las bases en el sentido que se respetara absolutamente la topografía, con muy poca intervención. En segundo término se planteó que fuera equilibrado y armónico con el ambiente y

finalmente que fuera sustentable. El edificio que va a unir el Centro Cultural con el Centro de Visitas, tiene que ser concebido en forma sustentable, vale decir con electricidad producida por paneles solares, con reciclaje de las aguas, usando sistemas a través de plantas que van limpiando y depurando, los techos recogiendo aguas lluvia para colectarla con el fin de ser usada, etc. Éstas son las características que las gestoras definimos para el proyecto”.

### **Considerando que este es un proyecto a largo plazo, ¿en qué pie se encuentran actualmente?**

“Estamos en la etapa de reproducir, sistemáticamente y de acuerdo al plan botánico, las especies que van a ser plantadas. Tenemos unas 25 mil especies, todas han sido registradas desde la recolección de la semilla. Es igual que un museo, cada museo tiene una base de datos con sus colecciones. Es la historia de la colección, la historia de la planta desde su semilla hasta su muerte. Esto es importante porque el día de mañana, si llegara a pasar cualquier situación, aquí están las especies reproducidas de distintas partes, que sirve como una base científica. Y si de algún jardín botánico extranjero nos piden especies, tenemos todo su historial. Así funcionan los jardines botánicos, son centros







culturales, pero también científicos. Esto en Chile no lo entienden, creen que simplemente es un área de recreación, no saben que detrás de esto hay una tarea científica importante.

Este proyecto, que ha sido concebido de aquí a 30 años, se dividió en distintas etapas. Una primera etapa que se supone que se implementará hasta el año 2016, implica el desarrollo de los ecosistemas vegetales y los jardines temáticos. Se hizo un cálculo provisorio, sobre el costo general del desarrollo completo del jardín botánico, el que sería de unos 10 millones de dólares a 30 años. La primera etapa tiene un costo aproximado de 4 millones de dólares. No es mucho a la larga. El jardín son 44 hectáreas, cosa que para Santiago es un número considerable.

Fuera de las colecciones, tenemos un laboratorio – a cargo de Daniela Suazo, ingeniera forestal de la U. de Chile - que está en todo el proceso de reproducir las especies, así como también hay un laboratorio especialista en reproducción de especies difíciles. Hemos tenido resultados muy positivos en especies que incluso se creían perdidas, en peligro o frágiles.

El proyecto se ha ido desarrollando en forma lenta, porque no hemos tenido el apoyo suficiente. El Plan Maestro fue subvencionado por el Ministerio de Educación y por la Municipalidad de Vitacura. Ahora tenemos un presupuesto muy reducido, que nos permite solamente contratar dos jardineros, a la ingeniera forestal, los insumos para el jardín botánico y punto. Desde que se creó este proyecto todas trabajamos gratuitamente, porque consideramos que es importante para el país. Tenemos mucho

voluntariado, pero llega un momento en que ya no puedes seguir así, necesitamos recursos.

Se han hecho muchas gestiones con el gobierno, pero el proceso ha sido muy complejo. Lo que más nos interesa en este momento, es que este proyecto se considere “Obra Bicentenario” de la Región Metropolitana. Lo amerita, este proyecto ha sido concebido como un regalo a la ciudad de Santiago. La falta de comprensión y de interés es evidente, a pesar de que se lo hemos presentado a todos los intendentes que han pasado en los últimos 8 años, el proyecto no cuaja, porque no es prioridad. Para este gobierno este tipo de proyectos científico-culturales no es prioridad, porque hay una tremenda falta de cultura en este país. En Australia, por ejemplo, cada ciudad tiene un jardín botánico y esto es porque les interesa que la gente y los alumnos de esa ciudad visiten esos jardines, como parte de la cultura del país, como parte de la aprehensión de un patrimonio que es tan importante. En otros países encuentran insólito que Santiago, como la capital de Chile, no tenga jardín botánico”.

***Entiendo que la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza de la U. de Chile ha jugado un importante papel en el desarrollo de este proyecto.***

“Se firmó un “Convenio Marco” con la Universidad de Chile, que permite firmar convenios particulares con las distintas facultades. Hará unos 5 años atrás. Después, en 2006, se firmó un convenio específico con la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Ha sido muy enriquecedor, porque eso permitió que Ángel Cabello (Profesor del Departamento de Silvicultura), que tiene una gran experiencia en reproducción de especies vegetales nativas y exóticas, trabaje aquí una vez a la semana, todo el día, para asesorarnos sobre protocolos de producción de las especies y además, hacer análisis científicos de las especies que nos llegan. En estos momentos también hay tres alumnos memorantes que han hecho sus investigaciones acerca de especies difíciles, que trabajan acá y usan el laboratorio. Esto es muy enriquecedor, por eso es que estamos muy contentos con esta relación con la Universidad de Chile”. ■

*Periodista: Iván Valdés G.*

# MÁS ALLÁ DE LOS ENFOQUES DIRECTOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA: UN ENFOQUE SOCIOECONÓMICO PARA VALORAR SERVICIOS AMBIENTALES PORCIONADOS POR ECOSISTEMAS BOSCOSOS

**Claudia Cerda J.**

*Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile  
clcerdaj@uchile.cl*

La cuantificación de los beneficios que los ecosistemas boscosos proporcionan a la sociedad representa la esencia de un enorme reto conceptual y metodológico. Investigaciones que contribuyan a llenar este vacío han sido reconocidas como fundamentales, en el aporte al conocimiento de la relación económica que existe entre los beneficios que proporcionan estos ecosistemas y los diferentes grupos humanos. Esto puede beneficiar la calidad de los bosques como proveedores de bienes y servicios que influyen en la calidad de vida de las poblaciones humanas bajo su área de influencia.

La Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, de la Universidad de Chile, está impulsando esta línea de investigación a través de un grupo de académicos. La idea es ir más allá de los enfoques directos de valoración económica y desarrollar metodologías que incorporen la visión social respecto al valor de los ecosistemas. Esta inquietud se fundamenta en el hecho de que los procesos de toma de decisión, respecto al uso y conservación de los bosques, la mayor parte del tiempo son de carácter intersectorial,

por ejemplo, la conservación de la biodiversidad versus el uso de la tierra. En estos casos, el conocimiento científico biológico si bien es relevante, se hace muchas veces insuficiente, ya que existen dimensiones de normas y valores sociales que son fundamentales de ser exploradas.

En este contexto, es ampliamente reconocido que los bosques generan una gran variedad de servicios ambientales, los cuales pueden tener un impacto sustancial en el bienestar humano (Costanza *et al.* 1997). A fin, de compatibilizar los usos productivos con la conservación de estos ecosistemas es muchas veces necesario tener información sobre el valor económico de los bienes y servicios ambientales que ellos proporcionan. Sin embargo, esta demanda de información no es trivial ya que, desde un punto de vista económico existen servicios que no son transados en mercados convencionales (Bateman *et al.* 2002), de tal forma que no se cuenta con indicadores de su valor. Esto hace compleja su adecuada incorporación en los procesos de valoración económica de diferentes alternativas de uso/conservación de los ecosistemas bos-



cosos. Sin embargo, la sociedad valora cada vez más este tipo de servicios. Incluso más ella, puede estar dispuesta a pagar por asegurar sus beneficios (Mitchell & Carson 1989; Bateman *et al.* 2002; Cerda *et al.* 2007; Barkmann *et al.* 2008). Ejemplos de estos servicios incluyen la recreación, el turismo a nivel de paisajes y especies, la belleza escénica, la provisión de agua, la descontaminación, las posibilidades de educación e investigación, y la conservación de la biodiversidad. Experiencias empíricas demuestran que estos servicios pueden muchas veces hasta triplicar en valor a aquellos bienes/servicios de uso productivo (Freeman 2003; Bateman *et al.* 2002). De esta forma, se hace relevante conocer si para la sociedad es importante conservar estos servicios, y si ello es así, analizar de qué forma es posible obtener valores económicos robustos que la reflejen. La valoración socioeconómica a través del uso de Técnicas de Preferencias Declaradas (Mitchell & Carson 1998; Bateman *et al.* 2002), da luces en esta necesidad. Estas herramientas permiten que ciudadanos y tomadores de decisión entiendan mejor la contribución de los bosques al bienestar humano, incluyendo aspiraciones económicas, sociales y culturales, y justificar recursos para asegurar que ellos sean utilizados sustentablemente. Pueden también, estimular conciencia pública frente a la potencial pérdida de servicios ambientales debido al deterioro de estos ecosistemas. Desde el punto de vista de un análisis más ambicioso, permiten tomar decisiones mejor informadas a través del uso de análisis costo-beneficio de diferentes alternativas de uso y conservación de los bosques.

En Chile, la falta de información sobre el valor económico de bienes y servicios no transados en mercados convencionales se ha originado en el hecho de que los bosques han sido tradicionalmente valorados a través de los bienes de uso productivo, cuyo enfoque de valoración está basado en el uso de metodologías directas tales como; las funciones de producción o los costos de reposición o restauración, entre otras. Sin embargo, a nivel nacional e internacional, la “*multifuncionalidad*” de los bosques caracteriza hoy el análisis político y económico de la gestión de su uso y/o

conservación, reconociéndose cada vez con mayor fuerza su importancia social y económica. Esto obedece a que muchas veces la implementación, y desarrollo exitoso de alternativas de uso y conservación de los mismos pueden depender fuertemente de la aceptabilidad social de esas alternativas, sobre todo cuando comunidades humanas se relacionan directamente con los bienes y servicios que los bosques proporcionan. De esta forma, visiones socioeconómicas respecto al valor de estos ecosistemas son hoy consideradas relevantes y se enfatizan en la necesidad de complementar los clásicos enfoques directos de valoración económica incluyendo a la sociedad, en los procesos de asignación de valores a los bienes y servicios ambientales. Este aspecto es clave para la sustentabilidad ambiental y el análisis político.

Instituciones públicas del país han manifestado la extrema necesidad de incorporar este tipo de valoración en la gestión de los bosques chilenos y de contar con capital humano que sea capaz de cuantificar fundamentalmente las preferencias sociales por servicios ambientales, esencialmente por aquellos no transados en mercados, cuya carencia queda demostrada por el financiamiento incipiente de proyectos en esta línea.

Cabe mencionar que la valoración socioeconómica de bienes y servicios, proporcionados por ecosistemas naturales, a través de Técnicas de Preferencias Declaradas es una importante herramienta en el campo de la economía ambiental. No ha sido desarrollada por su valor en sí misma sino que para propósitos políticos. Actualmente se cuenta con enfoques metodológicos que se han ido perfeccionado y difundido a través del tiempo. Sin embargo, en esta área del conocimiento, Chile puede ser clasificado como un país pobre, comparado con Estados Unidos, Europa, países en vías de desarrollo e incluso regiones pobres como África, donde actualmente este tipo de valoración juega un importante rol en la gestión política de los recursos naturales (Barkmann *et al.* 2008). En el ámbito forestal, la mayoría de las experiencias chilenas se restringen a la aplicación de metodologías directas de valoración

basadas en ciencia disciplinaria y que muchas veces no contribuyen a resolver vacíos de información en el ámbito de la evaluación económica y social de proyectos.

Actualmente, un grupo de académicos de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza trabaja en un proyecto financiado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, consistente en proponer una metodología preliminar de identificación y valoración de servicios ambientales proporcionados por las cuencas de los ríos Copiapó, Rapel y Baker, en orden de proporcionar a los tomadores de decisión información que permita adaptar mejor políticas y diseño de opciones de proyectos. En el estudio se aplican herramientas de valoración socioeconómica para valorar servicios ambientales, que no tienen transacción en el mercado.

Adicionalmente, en octubre 2009 la autora de este artículo, en conjunto con la Dra. Carmen Luz de la Maza, presentaron en la conferencia internacional *"Biodiversity and Society: Understanding connections, adapting to change"* desarrollada en Cape Town, Sudáfrica, el trabajo titulado *"Economic Valuation of Biodiversity and Ecosystem Services in Chile: State of the art and future challenges"* en el cual, se dan a conocer experiencias empíricas de las autoras en el campo de la socioeconomía ambiental en el país, principalmente en el ámbito de las áreas protegidas del Estado, así como también de la valoración socioeconómica a nivel de especies animales y vegetales con problemas de conservación. El trabajo también muestra los principales desafíos futuros en esta área.

Finalmente, cabe mencionar el proyecto de Investigación adjudicado en noviembre 2009 *"Valoración económica de no-mercado de servicios ambientales utilizando experimentos de elección: Un estudio de caso en la Reserva de Biosfera La Campana-Peñuelas"*. La investigación, con una duración de dos años, es financiada por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Chile y es liderada por la

autora de este artículo. El proyecto pretende contribuir a cuantificar beneficios proporcionados por servicios ambientales que no son transados en mercados convencionales, a través de metodologías mejoradas de valoración socioeconómica. Un análisis conjoint (AC; Adamovicz *et al.* 1998; Hensher *et al.* 2005), se diseñará e implementará para valorar socioeconómicamente servicios tales como: belleza escénica a nivel de paisaje, beneficios estéticos proporcionados por especies de fauna y flora, y oferta de agua potable, entre otros. Los AC permiten valorar simultáneamente diversos atributos (servicios), de los ecosistemas, lo cual es relevante para el análisis político. Fueron primeramente aplicados en el área de marketing (Louviere 2001). Recientemente esta metodología ha llegado a ser más prominente en el contexto ambiental por resolver diversos problemas que presentan otras técnicas de valoración de servicios ambientales no mercadeables. Ejemplos de su aplicación incluyen valoración económica de la conservación de bosques lluviosos en un hotspot de relevancia internacional (Naidoo & Adamowicz 2005), valoración económica de un ciclo hidrológico por una comunidad rural en Indonesia (Barkmann *et al.* 2008). Existen también estudios en turismo, por ejemplo desarrollo de turismo en Costa Rica (Hearne & Salinas 2002), preferencias locales por infraestructura turística que daña el paisaje de isla Navarino, XII Región, Chile (Cerdeña *et al.* 2007) y valoración económica de servicios proporcionados por bosquetes de ruil (*Nothofagus alessandri*), por una comunidad rural de Curepto, en la Región del Maule, Chile (Villalobos *et al.* 2006).

El proyecto en la Reserva de Biosfera La Campana-Peñuelas pretende dar luces de cómo la valoración socioeconómica del ambiente natural, a través de análisis conjoint puede contribuir al diseño de estrategias de conservación que sean apoyadas por los ciudadanos.

## Bibliografía

- ADAMOVICZ, W. L., BOXALL, P., WILLIAMS, M. Y LOUVIERE, J. (1998). Stated Preference Approaches for measuring passive use values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- BARKMANN, J.; GLENK, K.; KEIL, A.; LEEMHUIS, C.; DIETRICH, N.; GEROLD, G.; Y MARGGRAF, R. (2008). Confronting unfamiliarity with ecosystem functions: The case for an ecosystem service approach to environmental valuation with stated preference methods. *Ecological Economics* 65: 48-62.
- BATEMAN, I.; CARSON, R.; DAY, B.; HANEMANN, M.; HANLEY, N.; HETT, T.; JONES-LEE, M.; LOOMES, G.; MOURATO, S.; ÖZDEMIROGLU, E.; PEARCE OBE, D.W.; SUGDEN, R.; Y SWANSON, R. (2002). *Economic Valuation with Stated Preference Technique: A Manual*. Edward Elgar, Cheltenham.
- CERDA, C.; DIAFAS, J.; BARKMANN, J.; MBURU, J. Y MARGGRAF, R. (2007). WTP or WTA, or both? Experiences from two choice experiments for early planning stages. En: *Stated Preference Methods for Environmental Valuation: Applications from Austria and Germany* (Meyerhoff, J., Lienhoff, N. y Elsasser, P. , eds.), pp. 139-173. Metropolis, Marburg.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT.; FARBERK, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTTONKK, P. Y VAN DEN BELT, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(15): 253-260.
- FREEMAN, A.M.III. (2003). *The measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*. 2nd edn, Resources for the Future, Washington, D.C.
- HEARNE, R. Y SALINAS, Z.M. (2002). The use of choice experiments in the analysis of tourist preferences for ecotourism development in Costa Rica. *Journal of Environmental Management* 65: 153-163.
- HENSHER, D., ROSE, J. Y GREENE, W. (2005). *Applied Choice Methods – A Primer*. Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- LOUVIERE, J. (2001). What if consumer experiments impact variances as well as means ? Response variability as a behavioral Phenomenon. *Journal of Consumer Research* 28: 506- 511.
- MITCHELL, R. C. Y CARSON, R. T. (1989). *Using Surveys to value Public Goods: The Contingent Valuation Method*. Resources for the Future, Washington, DC.
- NAIDOO, R. Y ADAMOVICZ, W.L. (2005): Biodiversity and nature-based tourism at forest reserves in Uganda. *Environment and Development Economics* 10: 159-178.
- VILLALOBOS, P. HUENCHULEO, C. Y SILVA, R. (2007). Economic valuation of environmental services in forests of Nothofagus Alessandri (Ruil): an application of the choice experiment method, Region del Maule, VII Region, Chile. Tropentag 2007 University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen, October 9-11, 2007. Paper presentado en: Conference on International Agricultural Research for Development. ■



# ESPECIES INVASORAS Y CAMBIO CLIMÁTICO

**Patricio Corvalán V. Ingeniero Forestal**  
Departamento Gestión Forestal y su Medioambiente  
Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza  
Universidad de Chile  
pcorvala@uchile.cl

**D**urante el desarrollo del XIII Congreso Forestal Mundial, celebrado recientemente en Octubre, en la ciudad de Buenos Aires, Argentina, se presentaron varios trabajos sobre el cuidado de los bosques abordando varias temáticas, tales como: técnicas para la evaluación de los recursos, restauración y rehabilitación de ecosistemas forestales, arbolado urbano, especies invasoras, plagas y enfermedades, entre otros. De ellos, destacó el presentado por el investigador del Servicio Forestal Canadiense Jaques Régnière, quién al dar cuenta del estado del arte, destaca que:

- El ciclo biológico de los insectos -por su condición de individuos de sangre fría- dependen fundamentalmente de la temperatura y las precipitaciones del medioambiente en que se desarrollan, y sus procesos fisiológicos están necesariamente ligados a las alteraciones de éste. Por ello, es imprescindible conocer los cambios específicos de la biología de los insectos en el marco del cambio climático.
- Muchos insectos demuestran sensibilidad a los fenómenos climáticos extremos (sequías, olas de calor, períodos de mucho frío). Los ambientes tropicales que hoy albergan a la mayor parte de la biodiversidad de la Tierra podrían terminar calentándose, secándose o fragmentándose demasiado a consecuencia del cambio climático y la deforestación. Hoy corren un gran riesgo de extinción las especies que ostentan una interacción

huésped-planta muy evolucionada o que viven en micro hábitats.

- Las regiones templadas se están convirtiendo en lugares de clima cada vez más hospitalario para las especies vegetales y de insectos. El comportamiento de las especies nativas y el riesgo de invasión por especies exógenas se han convertido en motivo de preocupación, así por ejemplo, muchas especies de insectos de zonas templadas han modificado su zona de distribución como es el caso de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) en Europa, la falena invernal (*Operophtera brumata*) o la falena otoñal (*Epirrita autumnata*) en Escandinavia y el gorgojo de los pinos del Sur (*Dendroctonus frontalis*) en América del Norte. Algunas especies cuya distribución tradicional se encontraba contenida por accidentes geográficos, como cadenas de montañas o grandes cuerpos de agua, han podido ahora superar dichas barreras y ampliar repentinamente su ámbito de presencia. La polilla de la col (*Plutella xylostella*), ha superado en 800 kilómetros el límite septentrional de su zona normal de distribución, en el oeste de la Federación Rusa.
- El destino de las especies específicas de insectos depende de su grado de especialización, de su movilidad y de factores que condicionan su distribución. En el Reino Unido, la abundancia de las especies específicas de las mariposas está disminuyendo y las especies genéricas están aumentan-

do. La amplitud de la distribución geográfica de las especies de insectos pareciera estar sufriendo modificaciones simultáneas: de expansión en el extremo superior y de contracción en el extremo inferior de sus respectivos límites de latitud y altitud.

- La estructura genética de las especies de insectos está cambiando. En las especies cuyo ámbito se está modificando, se han observado alteraciones morfológicas excepcionalmente rápidas concentradas en períodos cortos de tiempo en relación con su capacidad de vuelo, su ciclo biológico, la inducción a la diapausa, la fisiología del desarrollo y la criolatenencia.
- Los registros fósiles parecieran indicar que en episodios anteriores de calentamiento mundial acelerados los insectos adoptaron una alimentación más marcadamente herbívora, lo que se ha visto corroborado en la actualidad con mediciones de índices de alimentación en los bosques de abedules de Europa septentrional, que en este caso se explica por el debilitamiento de los mecanismos de defensa de las plantas, la alteración del sincronismo estacional entre plantas, insectos herbívoros y sus enemigos naturales.
- Existen cada vez mayores evidencias de que la distribución de los insectos está cambiando, encontrando éstos mayor número de hábitats hospitalarios, a causa del cambio climático y la intensificación de los intercambios comerciales mundiales.
- Se predice que las zonas de distribución de la mayor parte de las especies de insectos tenderán a desplazarse hacia los polos y hacia lugares de elevación más altas, de acuerdo con predicciones del cambio climático.

Las conclusiones de este trabajo indican que la biodiversidad entomológica se está perdiendo en las zonas tropicales, debido a que las especies altamente específicas deben hacer frente a la desaparición de climas y hospederos apropiados. Por otro lado, en las latitudes medianas, en especial para especies altamen-

te móviles y polífagas existe un desplazamiento hacia latitudes y altitudes más elevadas, y existe un riesgo cada vez mayor de que invadan los ecosistemas templados que se han vuelto cada vez más hospitalarios.

Chile, dada su posición latitudinal no está exenta de estos fenómenos, más aún cuando se tiene extensos cultivos monoespecíficos y de muchas rotaciones sucesivas. Hay que saber leer el mensaje clave: estudiar la biología de nuestros insectos y relacionarla con los cambios del ambiente. ■

# FITOESTABILIZACIÓN DE DEPÓSITOS DE RELAVES: UNA TECNOLOGÍA BASADA EN EL USO DE PLANTAS DISTINTA DE LA FORESTACIÓN <sup>(1)</sup>

Rosanna Ginocchio C. <sup>(2)</sup> y Claudia Santibáñez V. <sup>(3)</sup>

<sup>(2)</sup> Doctor en Ciencias Biológicas mención Ecología, Laboratorio de Fitotoxicidad y Fitorremediación, Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. rginocc@cimm.cl

<sup>(3)</sup> Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias, Laboratorio de Fitotoxicidad y Fitorremediación, Centro de Investigación Minera y Metalúrgica. csantiba@cimm.cl

<sup>(1)</sup> Proyecto Innova Chile CORFO 04CR9IXD-01

Los relaves son los desechos más voluminosos de la minería del cobre, ya que representan un 80% del total de residuos sólidos generados en el proceso de beneficio de minerales sulfurados. Corresponden a una suspensión de sólidos en líquidos (pulpa), los que se generan y desechan en las plantas de concentración húmeda de especies minerales que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina (D.S. 248/2007 del Ministerio de Minería); el vocablo se aplica también a la fracción sólida de la pulpa. En otras palabras, los relaves corresponden a mineral finamente molido (< 2 mm) en solución acuosa, desde el cual no ha sido posible extraer más minerales a través del proceso de concentración por flotación. Usualmente, contienen entre un 10 y 20% de los minerales de interés económico que no han podido ser recuperados desde el mineral.

Los relaves que salen de la planta de concentración son embancados en depósitos artificiales (depósitos de relaves), cuyo diseño, construcción, operación y cierre se encuentran regulados por los D.S. 132/2002, y 248/2007 del Ministerio de Minería. Una vez depo-

sitados en el tranque, los sólidos en suspensión (30-35%), se separan del agua por gravedad, decantando al fondo del tranque, mientras que el agua (agua clara), se acumula en la superficie, formando una laguna. Una vez que los depósitos de relaves cumplen su ciclo de vida útil entran en una etapa post-operativa. Bajo las condiciones climáticas mediterráneas áridas y semiáridas imperantes en la zona norte-centro del país, los relaves se secan y quedan expuestos a diversas fuerzas físicas, como el viento y las lluvias intensas producidas en los años con influencia del fenómeno El Niño, siendo dispersados al medio ambiente donde pueden ocasionar riesgos ambientales (CONAMA, 1999; Ginocchio *et al.*, 2006; Méndez y Maier, 2008). Por ello, las nuevas regulaciones mineras del país han incorporado consideraciones para el cierre adecuado de los depósitos de relaves post-operativos, las que incluyen la ejecución de obras tendientes a la estabilización física y química de ellos (D.S. 248/2007 del Ministerio de Minería).

En los países industrializados, se han usado desde hace varias décadas cubiertas vegetales para con-



trolar los procesos erosivos de los depósitos de relaves post-operativos (Bradshaw *et al.*, 1982; Bradshaw y Jonson, 1992; SALT *et al.*, 1998; Haering *et al.*, 2000). Sin embargo, esta forma de mitigación es un gran desafío, ya que los relaves mineros son inadecuados para el establecimiento de una cubierta vegetal autosustentable, al presentar problemas de (Méndez y Maier, 2008; Ginocchio y León-Lobos, 2009):

- **Fertilidad física**, debido a que el tamaño pequeño (2  $\mu\text{m}$  a 2 mm) y homogéneo de sus partículas genera problemas de mal drenaje y aireación, además de alta compactación.
- **Fertilidad química**, debido a la deficiencia de macronutrientes esenciales como son el nitrógeno y el fósforo, y a la toxicidad por exceso de metales, como el cobre, el hierro y el cinc. En algunos casos también pueden existir problemas de acidez o de alcalinidad de los relaves, de baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), de alta conductividad eléctrica (CE) o salinidad, de contenido muy bajo de materia orgánica (MO) y de altos contenidos de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- **Fertilidad biológica**, debido a la ausencia de la microbiota encargada del ciclado de la materia orgánica y de los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal y animal muerta. Los relaves poseen una diversidad y abundancia muy baja de microorganismos, los que se relacionan con la oxidación de sulfuros de metales (De La Iglesia *et al.*, 2006; Dlabay *et al.*, 2007; Méndez *et al.*, 2007) y no con los ciclos del carbono y del nitrógeno.

Todas estas características adversas deben ser evaluadas y mitigadas antes de introducir las especies vegetales seleccionadas, de forma de permitir el establecimiento y crecimiento adecuados de las plantas y la generación de un ecosistema autosustentable, tanto en el corto como en el largo plazo, el cual no requiera de mantención permanente.

## Forestación de depósitos de relaves post-operativos

A finales de la década de los 70 e inicios de los 80, se iniciaron en el país algunas iniciativas pioneras de forestación de depósitos de relaves post-operativos, con los objetivos de (a) controlar la erosión eólica e hídrica de los relaves a las zonas aledañas, (b) desecar los relaves con mayor rapidez y (c) mejorar la calidad visual y paisajística del lugar. Es así como en los tranques El Cobre 1, 2 y 3 de la División El Soldado de Anglo American Chile (ex Disputada de Las Condes, Región de Valparaíso; Gutiérrez y Hoffmann, 1991; Devia, 1992) y en el tranque Cauquenes de la División El Teniente de CODELCO Chile (Región del Libertador General Bernardo O'Higgins; Lemus y Videlña, 2008), se realizaron los primeros ensayos de introducción de especies forestales. Posteriormente, estas iniciativas de forestación han sido replicadas en otros depósitos de relaves, tales como los existentes en la planta Manuel Antonio Matta Ruiz de ENAMI (Región de Atacama; Olaeta, 2004), en la Cía. Minera y Comercial Sali Hochschild (Región de Atacama; Santana, 2000), en la planta Tunquén (Región de Coquimbo; CONAF, 2007; Pizarro, 2008), en la minera Las Cenizas (Región de Valparaíso; Marín, 2004; Grupo Minero Las Cenizas, 2005), y en la División Andina de CODELCO (Región de Valparaíso; Green, 2004; 2006), entre otras.

Las forestaciones realizadas han consistido, generalmente, en la plantación de árboles y/o arbustos de rápido crecimiento, principalmente exóticos, y en el acondicionamiento básico de la casilla de plantación. El acondicionamiento básico ha consistido en el mejoramiento de la fertilidad química del relave, focalizado fundamentalmente en correcciones de pH (ej., encalamiento en el caso de relaves ácidos como los del tranque Cauquenes, División El Teniente, y del tranque Piuquenes, División Andina) y de carencias macronutricionales, con especial énfasis en los dos principales macronutrientes, nitrógeno y fósforo. En este último caso, se ha privilegiado el uso de fertilizantes químicos (nitrato de potasio y superfosfato triple), y la aplica-

ción de un volumen variable de tierra, guano, turba y/o compost en la casilla de plantación. En estos últimos años, también se ha probado el fertirriego, o sea, la aplicación de fertilizantes solubles a través de los sistemas de riego presurizados (Lemus y Videla, 2008). Adicionalmente, se han implementado sistemas de riego para apoyar las etapas iniciales de establecimiento y desarrollo de las especies forestales transplantadas, y se han considerado medidas de control de herbívoros, como la protección de los individuos con mallas metálicas.

Es interesante destacar que en la aproximación forestal usada en el país normalmente no han sido consideradas algunas de las restricciones más importantes de los relaves para el establecimiento y el desarrollo de la vegetación, como son la fertilidad física (Tabeada, 2008) y la toxicidad por metales (Ginocchio *et al.*, 2006). En el caso de la fertilidad física de los relaves, no se han considerado aspectos relacionados con los problemas de textura y estructura, los que determinan alta compactación, baja infiltración y mala aireación. En el caso de la toxicidad por metales, no se han realizado acondicionamientos adecuados que permitan abatir las cargas biodisponibles de estos elementos en los relaves; aunque el encalamiento a pH neutro reduce en forma importante las concentraciones de metales biodisponibles en los relaves ácidos (Verdugo *et al.*, 2009), las concentraciones de metales biodisponibles en relaves neutros aún pueden producir problemas de

toxicidad en las plantas (Verdugo *et al.*, 2009; Ginocchio *et al.*, 2009).

Las escasas evaluaciones cuantitativas realizadas en estas experiencias de forestación, permiten agruparlas en dos tipos de resultados, dependiendo de la temporalidad del manejo de la plantación. El primero, consistente en fertilizaciones químicas y riego sólo en las etapas iniciales (primeros años), ha resultado en un adecuado establecimiento y desarrollo inicial de las especies forestales, pero con baja supervivencia o inadecuado desarrollo posterior, una vez finalizado el riego y la fertilización (Devia, 1992; Santana, 2000; Figura 1); sólo algunas de las especies introducidas han mostrado mejores resultados, tales como *Acacia saligna*, *Acacia menaloxylon*, *Acacia cyclops*, *Atriplex nummularia*, *Prosopis chilensis*, *Acacia caven*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus camaldulensis*, pero en muchas de ellas se observan síntomas de deficiencias macronutricionales y de toxicidad por exceso de metales en el follaje (hojas con necrosis, clorosis y coloración rojiza; Figura 2; Devia, 1992; Olaeta, 2004; Santana, 2000; Pizarro, 2008; CONAF, 2007). El segundo, consistente en fertilizaciones químicas y riego iniciales, seguidas por fertilizaciones químicas periódicas y sostenidas en el tiempo, ha resultado en mayores coberturas vegetacionales, pero también se presentan síntomas de deficiencias macronutricionales y de toxicidad por exceso de algunos metales en el follaje (hojas con necrosis,



**Figura 1:** Forestaciones históricas realizadas en depósitos de relaves del país, con establecimiento y desarrollo inadecuado de los árboles transplantados.

clorosis y coloración rojiza; Figura 2; Ochoa, 1997). Adicionalmente, se han detectado problemas de salinización de los relaves debido a la fertilización química sostenida (Olaeta, 2004; Ochoa, 1997). Algunas de las especies que han presentado crecimiento y desarrollo aceptables en estas condiciones son *A. menaloxylon*, *A. saligna*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *A. nummularia*, *Muehlenbeckia hastulata*, *P. chilensis*, *Prosopis tamarugo*, *A. caven* y *Acacia semperflorens* (Olaeta, 2004; Marín, 2004; Ochoa, 1997). En ambos casos, se han determinado contenidos moderados a altos de metales en el follaje, tales como cobre, hierro, zinc y manganeso (Olaeta, 2004; Ochoa, 1997; Ortiz-Calderón *et al.*, 2008) y recubrimiento del relave con hojarasca bajo el dosel de los árboles/arbustos, pero sin incorporación al relave por ausencia de procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica (Figura 2; Santana, 2000; Santibáñez *et al.*, 2005).

Estas plantaciones generan microhábitats puntuales y acotados con mejores condiciones generales del sustrato, debidas principalmente al suelo o sustrato de propagación usado al momento del trasplante. Este hecho es enfatizado por la información disponible en Devia (1992), quien indica que 'el sistema de propagación y de trasplante en macetas de mayor volumen ha resultado ser más adecuado para mejorar el prendimiento y crecimiento de árboles y arbustos, en comparación con macetas de menor volumen'. Esta observación demuestra la existencia de una disponibilidad extremadamente limitada de macronutrientes de un relave minero y de la condición de 'isla'

nutricional del sustrato de plantación. Una vez que los nutrientes del sustrato original van siendo agotados, los individuos comienzan a presentar síntomas visuales de déficit de nutrientes en el follaje, seguido por escaso crecimiento y, finalmente, mortalidad. Sin embargo, las especies leñosas que han mostrado mejores resultados en estas condiciones, en cuanto a establecimiento y crecimiento de la copa, pertenecen al género *Acacia* y *Prosopis* (Devia, 1992; Olaeta, 2004; Santana, 2000; Pizarro, 2008; CONAF, 2008; Ochoa, 1997). Ambos géneros se encuentran dentro del grupo de las leguminosas, las que se caracterizan por ser fijadoras de nitrógeno (Ovalle *et al.*, 1996). Por ejemplo, *A. caven* (espino) posee una alta eficiencia de nodulación y de fijación de nitrógeno (Ovalle *et al.*, 1996; Aronson *et al.*, 2002). A partir de estudios realizados por nuestro grupo de trabajo en forestaciones antiguas realizadas con estas especies en depósitos de relaves, hemos detectado nodulación en raíces de individuos de *A. saligna* y *A. caven* (Consuelo Gazitúa, P. Universidad Católica de Chile, datos no publicados). Sin embargo, no se ha demostrado el restablecimiento de los procesos de fijación biológica de nitrógeno.



**Figura 2: Problemas de déficit macronutricionales y de toxicidad por metales en el follaje de árboles transplantados a depósitos de relaves post-operativos (fotos superiores) y de acumulación superficial de hojarasca sin mineralización (fotos inferiores) en experiencias de forestaciones históricas.**



A pesar de estos resultados, se suele indicar que las forestaciones históricas y actuales realizadas sobre los depósitos de relaves del país han sido efectivas o exitosas (Lemus y Videla, 2008; Marín, 2004; Grupo Minero Las Cenizas, 2005). Es interesante que se llegue a esta conclusión a pesar de los limitados resultados reales obtenidos, y más aún, cuando no se han realizado mayores evaluaciones cuantitativas para verificar el cumplimiento de los objetivos básicos planteados y la sustentabilidad en el largo plazo de la plantación establecida, particularmente en condiciones de ausencia de mantención. Por ejemplo, rara vez se han usado criterios formales de evaluación, como la cuantificación de la tasa de crecimiento de las especies transplantadas, el estado sanitario y nutricional de las especies leñosas introducidas, el contenido de metales de la biomasa aérea y la ocurrencia de procesos efectivos de mineralización de la biomasa vegetal muerta (ciclos biogeoquímicos) y de fijación biológica de nitrógeno, entre otros parámetros. Quizá estas conclusiones tan positivas tienen que ver con el hecho planteado por Green (2006), en cuanto a que la *'Forestación es un concepto clásico aplicado por los ingenieros forestales en proyectos de recuperación de terrenos degradados. Son formas muy específicas y simplistas de restablecer vegetación, ya que en la composición se considera exclusivamente árboles. Un nivel siguiente de segregación sería si las especies arbóreas son nativas o exóticas, o si hay participación de especies arbustivas, pero siempre con predominancia de árboles. Este concepto es probablemente el más cuestionado hoy, a la luz de las experiencias de varias décadas en tratamiento de relaves abandonados'*. La asimilación de los relaves mineros a suelos degradados, aunque adecuada en algunos aspectos, ha sido insuficiente en la identificación y el mejoramiento de todas aquellas variables limitantes del relave para el adecuado establecimiento y desarrollo de la vegetación introducida, sobre todo en el largo plazo y sin actividades de mantención.

<sup>1</sup> Fitorremediación, uso de especies vegetales para remover contaminantes orgánicos (aceites, dioxinas, etc.) o inorgánicos (metales) desde el medio ambiente o para dejarlos en sus formas inocuas. Actualmente, la fitorremediación incluye la fitoestabilización, la fitoextracción, la rizofiltración, la fitovolatilización, la fitodegradación y la fitopurificación (Cunningham et al., 1995; Raskin y Ensley, 2000).

## Fitoestabilización de depósitos de relaves post-operativos

La fitoestabilización es una de varias tecnologías agrupadas bajo el concepto de fitorremediación<sup>1</sup>. En relación a los depósitos de relaves, la fitoestabilización consiste en el uso simultáneo de un tipo particular de plantas tolerantes a concentraciones elevadas de metales, denominadas metalófitas excluyentes, y de acondicionadores de sustrato adecuados para lograr la estabilización física, química y biológica de los relaves, en el marco conceptual de la rehabilitación ecológica (Méndez y Maier, 2008; Ginocchio y León-Lobos, 2009; Tordoff et al., 2000). De esta forma, los objetivos de un programa de fitoestabilización de depósitos de relaves post-operativos son:

- Inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales presentes (*estabilización química*). Los metales son complejados, precipitados, absorbidos y/o adsorbidos por las raíces de las plantas, los microorganismos asociados a las raíces de las plantas (rizósfera) y por los acondicionadores de sustrato incorporados, donde son acumulados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos y el lavado de elementos tóxicos a las napas freáticas.
- Prevenir la dispersión eólica e hídrica del material hacia las zonas aledañas al disminuir eficientemente el potencial de erosión de los relaves (*estabilización física*).
- Asegurar la autosustentabilidad del ecosistema recreado artificialmente al restituir la actividad de la microbiota encargada del ciclado de la materia orgánica muerta (*estabilización biológica*) y al mitigar los factores físicos (ej., compactación y mal drenaje) y nutricionales (e.j., ausencia de nitrógeno y de materia orgánica), limitantes de los relaves. Esto permite asegurar el adecuado establecimiento y desarrollo de las plantas introducidas, tanto en el corto como en el largo plazo.

Adicionalmente, la vegetación introducida sobre un depósito de relaves ayuda a reducir el volumen de agua que percola a través de los relaves, al crear una demanda de agua para transpirar. La fitoestabilización también reduce la transferencia de metales a los suelos y a las napas subterráneas, y evita la transferencia de los metales a los tejidos vegetales aéreos de las plantas establecidas, asegurando que los herbívoros no queden expuestos a biomasa vegetal enriquecida con metales y evitando la transferencia de estos elementos a las cadenas tróficas (Cunningham *et al.*, 1995).

En las zonas con climas semiárido, como en Chile norte-centro, la elección de las especies fitoestabilizadoras no sólo debe considerar su capacidad de tolerancia a los metales, sino que también debe considerar su adaptación a otros factores ambientales limitantes, tales como la sequía y la salinidad del sustrato (Méndez y Maier, 2008; Ginocchio y León-Lobos, 2009). Por ello, la selección de especies nativas/endémicas cobra importancia, ya que están adaptadas a estas condiciones edafoclimáticas locales. El privilegiar el uso de especies nativas/endémicas por sobre especies exóticas, tiene la ventaja adicional de asegurar que las especies establecidas no se transformarán en especies invasoras que reduzcan la biodiversidad de los sistemas naturales presentes en las zonas aledañas a los depósitos de relaves. Esto es especialmente relevante para países como Chile que han firmado y ratificado diversos convenios internacionales de protección de la biodiversidad.

La fitoestabilización es una tecnología probada y sustentada por muchos estudios exitosos realizados en depósitos de relaves, y en suelos contaminados con metales en Europa, Estados Unidos, Australia, Sudáfrica y Canadá desde hace más de 20 años. Sin embargo, esta tecnología ha sido recientemente validada en el país gracias a un esfuerzo conjunto realizado por los grupos de trabajo del Laboratorio de Fitotoxicidad y Fitorremediación del Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) y el Banco Base de Semillas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-

Intihuasi). A partir de este proyecto se generó una guía metodológica con las bases técnicas para la fitoestabilización de depósitos de relaves en la zona norte-centro de Chile. La guía consistente en un set de cinco volúmenes complementarios, donde se entrega información sobre el marco ambiental y las características generales de los relaves mineros (Casale *et al.*, 2009), las especies vegetales nativas/endémicas metalófitas excluyentes (León-Lobos *et al.*, 2009) y su forma de propagación (De La Fuente *et al.*, 2009), los acondicionadores disponibles para mitigar las limitaciones físicas, químicas y biológicas de los relaves (Santibáñez *et al.*, 2009) y los procedimientos metodológicos para aplicar esta tecnología en depósitos de relaves post-operativos de la zona centro-norte del país, con clima Mediterráneo semiárido, incluyendo los criterios de evaluación y de monitoreo temporal (Ginocchio y León-Lobos, 2009).

### Consideraciones finales

Actualmente, se ha intentado asimilar los programas de forestación tradicionalmente realizados sobre depósitos de relaves post-operativos en el país a la metodología de fitoestabilización, a través de un simple cambio de nombre o denominación: forestación por fitoestabilización. Sin embargo, el marco conceptual y los procedimientos metodológicos involucrados en estas dos aproximaciones son fundamentalmente distintos, por lo que los nombres no son intercambiables. Adicionalmente, la efectividad de la cubierta vegetal lograda por la fitoestabilización, en cuanto a su estabilidad física, química y biológica en el largo plazo, es significativamente mayor que la de la forestación.

La fitoestabilización de relaves mineros post-operativos es una tecnología adecuada para la estabilización física, química y biológica de los depósitos de relaves post-operativos en el largo plazo, la que permite dar adecuado cumplimiento a los actuales requerimientos para el cierre de depósitos de relaves mineros establecidos en la normativa chilena, incorporados al Reglamento de Seguridad Minera (D.S. 132/2002 y

248/ 2007 del Ministerio de Minería). Esto se debe a que el objetivo final de la fitoestabilización es lograr la evolución exitosa, de la formación vegetal creada artificialmente sobre los relaves, en el largo plazo, a través de la promoción de los procesos de formación de suelo y de la rehabilitación de las funciones ecosistémicas que aseguran la autosustentabilidad del sistema. Sin embargo, el objetivo de la forestación es fundamentalmente el trasplante de especies arbóreas, a través de una aproximación metodológica específica y simple, que no considera las limitaciones físicas, químicas y biológicas de los relaves mineros y la autosustentabilidad del sistema en el largo plazo.

Aunque, la metodología de fitoestabilización es adecuada para la estabilización los depósitos de relaves post-operativos, no constituye la solución única a todos los depósitos de relaves post-operativos del país. Por ejemplo, esta no sería una solución adecuada para la zona con clima árido del país (Región de Arica-Parinacota a Región de Atacama), debido a que la falta de agua y la alta evapotranspiración imposibilitan el desarrollo de cubiertas vegetales significativas que aseguren el control efectivo de los procesos erosivos, a costos razonables y sin mantención permanente de largo plazo, aunque se usen especies vegetales nativas/endémicas adaptadas a esas condiciones climáticas.

### Bibliografía

- ARONSON, J.; OVALLE, C.; AVENDAÑO, J.; LONGERI, L. Y DEL POZO, A. (2002). Agroforestry tree selection in central Chile: biological nitrogen fixation and early plant growth in six dryland species. *Agroforestry Systems* 56: 155-166.
- BRADSHAW, A.; JOHNSON, M. Y WILLIAMSON, N. (1982). *Mine waste reclamation*. Mining Journal Books Ltd., England, UK.
- BRADSHAW, A.D. Y JOHNSON, M. (1992). *Revegetation of Metalliferous Mine Waste: The Range of Practical Techniques Used in Western Europe*. Elsevier, Manchester, UK.
- CASALE, J.F.; GINOCCHIO, R. Y LEÓN-LOBOS, P. (2009). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 4: Marco ambiental y relaves mineros abandonados en la Región de Coquimbo. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago.
- CONAMA (1999). Diagnóstico y propuesta de manejo de tranques de relaves y depósitos de rípios en la IV Región. Informe técnico final. Ingenieros Geotécnicos Ltda., La Serena.
- CONAF (2007). Resultados preliminares de una plantación para estabilización de relave minero en la comuna de Illapel, Región de Coquimbo. Documento técnico, Corporación Nacional Forestal, Illapel.
- CUNNINGHAM, S.D.; BERTI, W.R. Y HUANG, J,W,W. (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends in Biotechnology* 13:393–397.
- DE LA FUENTE, L.M.; LEÓN-LOBOS, P. Y GINOCCHIO, R. (2009). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 5: Propagación de especies nativas y endémicas. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago.
- DE LA IGLESIA, R.; CASTRO, D.; GINOCCHIO, R.; VAN DER LELIE, D. Y GONZÁLEZ, B. (2006). Factors influencing the composition of bacterial communities found at abandoned copper-tailings dumps. *Journal of Applied Microbiology* 100: 537-544
- DEVIA, J. (1992). Forestación de depósito en mina El Soldado. Informe técnico preparado para la Cía. Minera Disputada de Las Condes Ltda. por la Empresa Javier Devia Saavedra, Santiago, Chile.
- DLABY, N.; DOLD, B.; PFELEFER, H.-R.; HOLLGER, C.F.; JONSON, D.B. Y HALLBERG, K.B. (2007). Microbial communities in a porphyry copper tailings impoundment and their impact on the geochemical dynamic of the mine waste. *Environmental Microbiology* 9(2): 298-307.
- GINOCCHIO, R.; SÁNCHEZ, P.; DE LA FUENTE, L.M.; CAMUS, I.; BUSTAMANTE, E.; SILVA, Y.; URRESTARAZU, P.; TORRES, J.C. Y RODRÍGUEZ, P.H. (2006). *Agricultural Soils Spiked with Copper Mine Wastes and Copper Concentrate: Implica-*



- tions for Copper Bioavailability and Bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25: 712-718.
- GINOCCHIO, R. Y LEÓN-LOBOS, P. (2009). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 1: Metodología general. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago.
  - GINOCCHIO, R.; DELA FUENTE, L.M.; SÁNCHEZ, P.; BUSTAMANTE, E.; SILVA, Y.; URRESTARAZU, P. Y RODRÍGUEZ, P.H. (2009). Soil acidification as a confounding factor on metal phytotoxicity in soils spiked with copper-rich mine wastes. *Environmental Toxicology & Chemistry* (aceptado).
  - GREEN, D. (2004). Forestación del depósito de relaves Piuquenes, CODELCO División Andina, V Región, Chile. Seminario Ingeniería Forestal y Minería, Santiago.
  - GREEN, D. (2006). Recuperación de Relaves Abandonados. *Revista Ambiente Forestal* 1: 42-46.
  - GRUPO MINERO LAS CENIZAS (2005). Tranque Forestado de Cabildo. *Revista Institucional* 4: 8-9.
  - GUTIÉRREZ, J.R. Y HOFFMANN, A. (1991). Reclamation of a copper tailing in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 77-83.
  - HAERING, K.C.; DANIELS, W.L. Y FEAGLY, S.E. (2000). Reclaiming mined lands with biosolids, manures and papermill sludges. En: *Reclamation of drastically disturbed lands* (Barnhisel, R., ed.), pp 615-644. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
  - LEÓN-LOBOS, P.; GINOCCHIO, R. Y BAKER, A.J.M. (2009). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 3: Flora y vegetación asociados a relaves mineros abandonados. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago.
  - LEMUS, M. Y VIDELA, J. (2008). Revegetación del embalse Cauquenes. Un paso hacia su fitoestabilización. *Revista Chile Forestal* 335: 32-33.
  - MARÍN, J. (2004). Forestación y estabilización de los tranques de relaves en abandono de la minera Las Cenizas S.A., Cabildo. Seminario Ingeniería Forestal y Minería, Santiago.
  - MÉNDEZ, M.O.; GLENN, E.P. Y MAIER, R.M. (2007). Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: growth, metal accumulation, and microbial community changes. *Journal of Environmental Quality* 36:245-253.
  - MÉNDEZ, M.O. Y MAIER, R.M. (2008). Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments. An emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives* 116: 278-283.
  - OCHOA, M. (1997). Rehabilitación y estabilización de relaves de cobre. Un estudio de caso. Memoria Ing. Forestal, Universidad de Chile, Santiago.
  - OLAETA, J.A. (2004). Rehabilitación de tranques de arena de relave, en base a plantaciones. Proyecto FONDEF D0011101, P. Universidad Católica de Valparaíso. URL: <http://icc.ucv.cl/fondef/intermedia.htm>.
  - ORTIZ-CALDERÓN, C.; ALCALDE, O. Y KAO, J.L. (2008). Copper distribution in leaves and roots of plants growing on a copper mine-tailing storage facility in northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 489-499.
  - OVALLE, C.; LONGERI, L.; ARONSON, J.; HERRERA, A. Y AVENDAÑO, J. (1996). N<sub>2</sub>-fixation, nodule efficiency and biomass accumulation after two years in three Chilean legume trees and *Tagasaste*, *Chamaecytisus proliferus* subsp. *Palmensis*. *Plant and Soil* 179: 131-140.
  - PIZARRO, R. (2008). Relave Illapel. Documento técnico preparado para CONAF IV Región. Universidad de Talca, Talca.
  - RASKIN, I. Y ENSLEY, B.D. (2000). Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York, USA.
  - SALT, D.E.; SMITH, R.D. Y RASKIN, I. (1998). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology* 49: 643-668.
  - SANTANA, R. (2000). Caracterización y evaluación de un caso de plantaciones forestales asociadas a tranques de relaves en la región de Atacama. Memoria Ing. Forestal, Universidad de Talca, Talca.

- SANTIBÁÑEZ, C.; VARNERO, M.T. Y GINOCCHIO, R. (2005). Evaluation of indices of maturity used for organic amendments to improve soil properties. 9th International Symposium on Soil and Plant Analysis. 30 Enero – 4 Febrero, Cancún, México.
- SANTIBÁÑEZ, C.; GINOCCHIO, R. Y BROWN, S. (2009). Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N° 2: Aplicación sustentable de acondicionadores. CIMM & INIA-Intihuasi, Santiago.
- TABEADA, M.A. Y ÁLVAREZ, C.R. (2008). Fertilidad física de los suelos. Segunda Edición. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- TORDOFF, G.M.; BAKER, A.J.M. Y WILLIS, A.J. (2000). Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere* 41:219–228.
- VERDUGO, C.; SÁNCHEZ, P.; SANTIBÁÑEZ, C.; URRESTARAZU, P.; BUSTAMANTE, E.; SILVA, Y.; GOURDON, D. Y GINOCCHIO, R. (2009). Efficacy of biosolids and ecto-mycorrhiza for the phytostabilization of copper tailings in Chile: a greenhouse experiment. *International Journal of Phytoremediation* (aceptado). ■

# EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LODOS CELULÓSICOS EN PLÁNTULAS DE *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*

Macarena Barros, Javier González<sup>1</sup>; Manuel Rodríguez<sup>1</sup>, Manuel Toral Ibáñez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, jgonzale@uchile.cl; mrodrigu@uchile.cl; mtoral@uchile.cl

La producción de pasta de celulosa se ha transformado en una importante fuente de ingreso para Chile, posicionándola dentro del sector forestal como el producto de mayor crecimiento de las últimas décadas, con exportaciones cercanas a los US\$ 2.200 millones/año. Este aumento en la producción de pasta, trae como consecuencia una mayor cantidad de residuos sólidos que es necesario eliminar o reciclar para disminuir su impacto en el medio ambiente.

En estudios recientes se ha determinado que la aplicación de lodos celulósicos en suelos agrícolas o forestales, han presentado múltiples beneficios, como el aporte de materia orgánica, incremento de la actividad microbiana, mayor retención de agua y contenido de nutrientes en los suelos; además de promover la absorción de éstos por las plantas (Zambrano *et al.* 2000, 2003).

Dado lo anterior, la incorporación de lodos de celulosa y la utilización de compost de corteza de pino en viveros forestales se presenta como potencial solución a los problemas ambientales producidos por la acumulación de desechos industriales (Toral *et al.* 2000).

En consecuencia el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y calidad de la planta en dos

especies forestales y en relación a diferentes dosis de lodos provenientes del sistema de pulpaje Kraft, utilizando como sustrato de vivero compost de corteza de pino.

El estudio se realizó en un vivero ubicado en la comuna de Calera de Tango, Provincia del Maipo, Región Metropolitana. (33° 37' 04" sur y 70° 47' 52" oeste, 474 m s.n.m.), cuyo clima es templado mesotermal estenotérmico mediterráneo semiárido. Las temperaturas medias varían entre 28,2° C y 4,4° C. El régimen hídrico se presenta con una precipitación media anual de 419 mm, y un periodo seco de ocho meses (Santibáñez y Uribe 1990).

Se utilizaron plántulas de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), cuya edad al inicio del experimento fue de 12 meses y eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.), con nueve meses, ambas especie provenientes del área de Constitución. Como sustrato se utilizó corteza de pino radiata compostada, producida en el predio Pantanillos, propiedad de la Universidad de Chile, ubicado en la Región del Maule.

En la evaluación se utilizó un diseño completamente al azar, de efectos fijos, con cinco tratamientos y

<sup>1</sup> Ingenieros Forestales. Universidad de Chile. El orden de los autores es alfabético

tres repeticiones, la unidad experimental correspondió al plantel de 25 plantas por tratamiento y un nivel de significación de  $P < 0,05$ . Los lodos utilizados fueron mezclados en una proporción 10:3 (sales y arenas, respectivamente). Los tratamientos fueron: T0 (testigo) = 500 g de compost sin lodo; T1= 500 g de compost + 15 g de lodo (3%); T2 = 500 g de compost + 20 g de lodo (4%); T3 = 500 g de compost + 25 g de lodo (5%) y T4= 500 g de compost +30 g de lodo (6%).

Para medir la variable vigor de las plantas se construyó un ranking con tres categorías, basándose principalmente en la coloración de las hojas y la presencia de necrosis (muerte de tejidos), en éstas. La categoría 1 se le asignó a la planta vigorosa, de follaje verde oscuro a verde claro, turgente; la categoría 2, a la planta débil con decoloración del follaje localizada y notoria, con presencia de necrosis y finalmente la categoría 3, a la planta muy débil con follaje con clorosis y necrosis generalizadas; individuo muriendo (Silva 2001).

El análisis foliar se realizó tomando una muestra compuesta de seis plantas por tratamiento. Se determinaron las concentraciones de cobre, hierro, manganeso y zinc, por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica.

## RESULTADOS

En pino radiata los tratamientos más exitosos fueron T1 (3%) y T2 (4%). Se destacaron principalmente en peso seco total y sobrevivencia. T1 es levemente superior a T2 en diámetro a la altura de cuello (DAC), peso seco raíz, y volumen de tallo. Mientras que; T2, supera a T1 en altura total (1,8 cm), peso seco parte aérea (0,1 g) y sobrevivencia (2,7 %) (Cuadro 1). El tratamiento testigo (T0), mantuvo las menores tasas de crecimiento en gran parte de las variables, pero se diferenció de T3 (5%) y T4 (6%) en la sobrevivencia, ya que superó en 33,3 % a T3 y en 74,6 % a T4.

Variables	T0	T1 (3%)	T2 (4%)	T3 (5%)	T4 (6%)
AT (cm)	37,6 ± 1,9	39,1 ± 3,6	40,9 ± 0,7	37,5 ± 4,3	37,7 ± 0,5
DAC (cm)	0,37±0,004	0,39 ± 0,03	0,38 ± 0,04	0,37 ± 0,06	0,36 ± 0,07
PST (g)	8,2 ± 0,48b	10,9 ± 0,97a	10,9 ± 1,14a	9,2 ± 1,38ab	10,4 ± 0,08a
PSR (g)	2,8 ± 0,2c	4,0 ± 0,42a	3,9 ± 0,37ab	3,2 ± 0,48bc	3,3 ± 0,45abc
PSA (g)	5,4 ± 0,28	6,9 ± 0,56	7,0 ± 0,8	6,2 ± 0,91	6,3 ± 0,86
VR (ml)	5,4 ± 0,79	7,4 ± 0,62	6,9 ± 1,93	6,6 ± 2,12	6,7 ± 0,47
VA (ml)	10,4 ± 0,6	13,1 ± 1,51	12,6 ± 1,94	12,6 ± 2,39	11,9 ± 0,9
S (%)	90,6 ± 4,6a	93,3 ± 6,1a	96 ± 4,0a	57,3 ± 2,3b	16 ± 13,9c

Letras minúsculas iguales, indican igualdad de la variable respuesta según tratamiento.  
Letras diferentes indican diferencias de la respuesta según tratamiento con  $p < 0,05$ .

**Cuadro 1. Valores medios ± desviación estándar de las variables respuestas: Altura total (AT), Diámetro a la altura del cuello (DAC), Peso seco total (PST), Peso seco raíz (PSR), Peso seco aéreo (PSA), Volumen raíces (VR), Volumen aéreo o tallo (VA), Sobrevivencia (S), para cada tratamiento aplicado en pino radiata.**



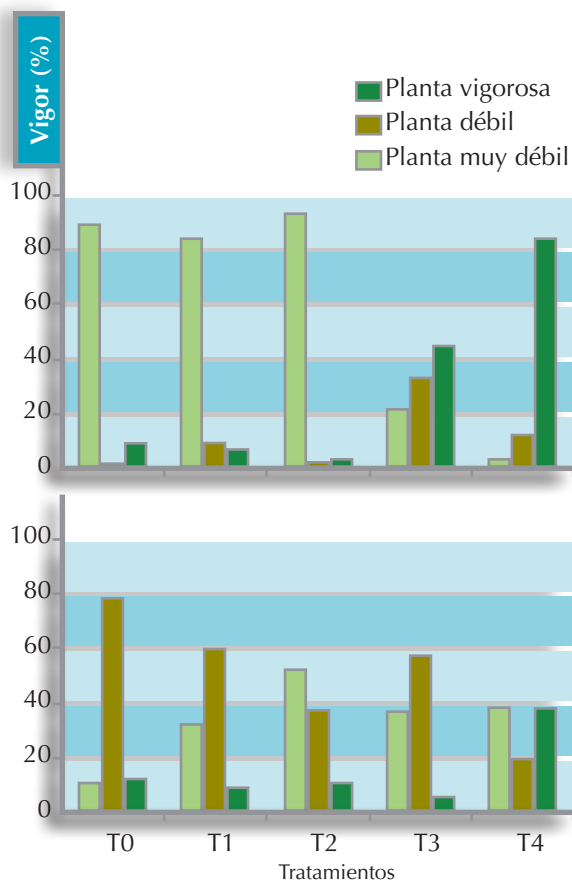
Variables	T0	T1 (3%)	T2 (4%)	T3 (5%)	T4 (5%)
AT (cm)	71,2 ± 5,3 c	84,3 ± 2,7 b	83,5 ± 4,8 b	87,4 ± 3,3 ab	93,5 ± 2,8 a
DAC (cm)	0,43 ± 0,04c	0,46 ± 0,02ab	0,46 ± 0,02ab	0,45 ± 0,03 bc	0,48 ± 0,03 a
PST (g)	11,9 ± 0,7c	13,3 ± 0,39b	12 ± 0,07c	12,8 ± 0,42 bc	15,1 ± 0,81a
PSR (g)	3,8 ± 0,15c	4,6 ± 0,28b	4,4 ± 0,19b	4,5 ± 0,14 b	5,3 ± 0,06 a
PSA (g)	8,1 ± 0,89bc	8,7 ± 0,19b	7,6 ± 0,14c	8,4 ± 0,31 bc	9,8 ± 0,84 a
VR (ml)	9,9 ± 1,39a	10,1 ± 1,13a	7,3 ± 0,9b	7,1 ± 0,25 b	7,9 ± 0,91 b
VA (ml)	15,9 ± 2,44	16,9 ± 0,7	14,6 ± 1,14	16,6 ± 0,48	17,8 ± 0,32
S (%)	90,6 ± 8,3a	94,7 ± 2,3a	90,7 ± 2,3a	96 ± 1,3 a	62,7 ± 4,6 b

Letras minúsculas iguales, indican igualdad de la variable respuesta según tratamiento.  
Letras diferentes indican diferencias de la respuesta según tratamiento con  $p < 0,05$ .

**Cuadro 2. Valores medios ± desviación estándar de las variables respuestas; Altura total (AT), Diámetro a la altura del cuello (DAC), Peso seco total (PST), Peso seco raíz (PSR), Peso seco aéreo (PSA), Volumen raíces (VR), Volumen aéreo o tallo (VA), Sobrevivencia (S), para cada tratamiento aplicado en eucalipto.**

Las plantas de pino más vigorosas se encuentran en los tres primeros tratamientos llegando a un máximo en T2 (3%) con 93 %. En T3 (4%) y T4 (5%), se presentó una disminución en el porcentaje de plantas vigorosas y por ende un aumento en las plantas débiles y muy débiles. En T3 los porcentajes de vigor fueron muy similares y sólo existió una diferencia de 24 % entre el valor máximo y mínimo. Para T4 la respuesta a la aplicación de los lodos fue inversa a las registradas en los primeros tratamientos, ya que el mayor porcentaje se obtuvo en las plantas muy débiles con un valor medio de 84 % y el menor para plantas vigorosas con 4% del total (Figura 1).

En eucalipto, las plantas débiles presentan en general mayor participación, con un máximo de 77 % en T0 y, 66 % en T1. Esta tendencia se mantiene en T3 pero en menor porcentaje. Las plantas vigorosas sólo superaron el 50% en T2. En T1, T3 y T4 se mantuvo un porcentaje similar, pero en T0 se aprecia la menor cantidad de plantas vigorosas. En la categoría de plantas muy débiles no se observaron diferencias entre los cuatro primeros tratamientos. Sólo T4 respondió de manera negativa a la dosis de lodos, al igual que en el caso de pino radiata (Figura 1).



**Figura 1. Porcentaje promedio por categoría de vigor asociado a cada tratamiento en Pinus radiata y Eucalyptus globulus.**

Nutrientes <sup>1</sup>	Concentración de nutrientes (mg g <sup>-1</sup> )					Valor de referencia <sup>2</sup>
	T0	T1	T2	T3	T4	
Cu	2,6	2,2	2,6	2,0	2,8	> 4
Zn	32,5	33,1	30,5	32,5	32,4	> 20
Fe	82,9	50,1	60,5	82,2	73,1	> 40
Mn	341,1	305,1	245,5	207,7	190,2	> 20

<sup>1</sup> No hay diferencias significativas entre tratamientos. <sup>2</sup>Will (1981).

**Cuadro 3. Comparación de concentración de nutrientes; Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), en pino radiata.**

En el análisis foliar de acículas de pino radiata las concentraciones de cobre estuvieron por debajo de lo óptimo, lo que implica un déficit de éste en los cinco tratamientos. Las concentraciones de zinc y hierro fueron muy similares en todos los tratamientos y se encuentran dentro del rango normal de referencia. El manganeso encontrado en los diferentes tratamientos va disminuyendo a medida que se aumentó la dosis de lodos. Al realizar el análisis de varianza no se presentaron diferencias significativas en las medias de los tratamientos, para los cuatro elementos estudiados (Cuadro 3).

En eucalipto, las concentraciones de cobre presentaron diferencias significativas, la principal diferen-

cia se observó en T0, los demás tratamientos fueron similares en sus medias. La presencia de cobre en eucalipto es baja al igual que en pino radiata, en consideración a los valores referenciales citados por Español *et al.* (2000) (Cuadro 4)

Las concentraciones de zinc e hierro fueron muy similares en todos los tratamientos al igual que en el caso de pino radiata, y éstos se encuentran dentro del rango normal de referencia. El manganeso encontrado en los diferentes tratamientos se muestra de forma dispersa, ya que el mayor valor lo presentó T2 y el menor en T4. Tomando en cuenta el valor de referencia, se puede apreciar que para T3 y T4 existió un déficit de manganeso a nivel foliar.

Nutrientes	Concentración de nutrientes (mg g <sup>-1</sup> )					Valor de referencia <sup>2</sup>
	T0	T1	T2	T3	T4	
Cu	4,6 a	3,6 b	3,1 b	2,9 b	3,3 b	6,2
Zn	15,4	16,3	17,7	15,8	15,1	7,1
Fe	78,4	80,9	69,8	54,9	68,0	33,2
Mn	694,1	645,8	703,4	420,3	396,9	577,0

<sup>2</sup> Español *et al.*, (2000).

**Cuadro 4. Comparación de concentración de nutrientes en eucalipto.**

## DISCUSIÓN

En este estudio, si se aplica una dosis de 4 % (T2) de lodos en los sustratos con pino radiata, el crecimiento en altura supera en 8 % al testigo y, en eucalipto la incorporación de 5 % (T3) de lodos celulósicos al sustrato el crecimiento es 18,5 % superior que el testigo.

Según Jordán *et al.* (2002), el crecimiento en altura para pino radiata se ve afectado según la proporción de lodos aplicados, para los casos de aplicación de sales en suelo, el mayor crecimiento se observa al aplicar un 30% con lo cual las plantas aumentan su altura en un 19 % con respecto al testigo; con mayores porcentajes de este lodo la altura comienza a disminuir hasta un 66,6 % por debajo del testigo, ya que presen-

tan fitotoxicidad. Cuando se aplica arena entre 10 % y 90 %, todas las plantas del ensayo murieron después de 180 días de aplicación.

Por otro lado, en el estudio de Jordán y Rodríguez (2004), la altura de eucalipto al utilizar 10 % de sales aumentó a 13 cm con respecto al testigo (8,1 cm), después de 180 días de aplicación de este lodo; con 50 % de lodo las plantas disminuyeron su tasa de crecimiento incrementando la mortalidad de éstas. Para el caso de arenas aplicadas a eucalipto se observaron los mismos resultados que en pino radiata, ya que las plantas no sobrevivieron a una aplicación mínima de 10% del lodo (Jordán 2002).

El mayor efecto de los lodos en el pino radiata se observó en la sobrevivencia de las plantas, las cuales se vieron altamente afectadas con dosis superiores a 5 % de aplicación de lodos. El primer síntoma de debilitamiento de las plantas se inició con el amarillamiento de las hojas viejas, luego las hojas nuevas y posteriormente se presentó una clorosis generalizada produciendo la muerte de los individuos. En el caso de los lodos de celulosa, la relación C/N obtenida es 181,6, lo cual indicaría que su incorporación en el sustrato podría generar problemas de inmovilización de nitrógeno, por lo tanto este nutriente se encontraría menos disponible para las plantas (Andrade *et al.* 2000).

El mayor porcentaje de plantas muertas en pino radiata se produjo en el cuarto mes de ensayo y, en eucalipto al sexto. Las diferencias en los tiempos de mortalidad de ambas especies, se puede asociar a la tolerancia de cada una ante condiciones edáficas y climáticas específicas. En pino radiata la aplicación de lodos en dosis superior a 5 % aumenta la decoloración del follaje y la presencia de clorosis. En eucalipto las distintas porciones de lodos no afectan negativamente la calidad de las plantas; ya que con un 4 % de lodos, las plantas vigorosas se mantienen con un leve porcentaje superior a las otras categorías, resultados similares se reportan por Bellote *et al.* (1995), en los cuales las

plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden bajo aplicación de lodos celulósicos, del orden de 50 Mg ha<sup>-1</sup>, incrementaron su biomasa, manteniendo un óptimo estado fitosanitario.

Se observa que comparado con pino, el sustrato para eucalipto no fue del todo adecuado, ya que en general la calidad de las plantas no es buena, principalmente en T0 y T1, indicando en parte que no sólo el lodo participa en la calidad de plantas, si no que también participan otros factores no determinados en este estudio, como la calidad genética de las plantas o calidad de la semilla.

La presencia de metales pesados como cobre y zinc en los lodos, no es suficiente para realizar un traspaso de éstos a la planta, lo que sugiere que la aplicación de lodos de hasta 6 % no produciría toxicidad en ellas por metales pesados.

La concentración de manganeso en los diferentes tratamientos aplicados a pino radiata, va disminuyendo a medida que se aumenta la dosis de lodos, esto puede deberse a la relación de este elemento con otros presentes en los lodos. Según Barceló *et al.* (1992), existe una relación competitiva entre elementos estructurales como manganeso e hierro, exceso de uno de éstos induce a la disminución de la disponibilidad del otro. En eucalipto este nutriente se presenta en forma dispersa en los tratamientos, ya que el mayor valor se encuentra en T2 y el menor en T4. Considerando el valor de referencia se puede apreciar que para T3 y T4 existe un déficit de manganeso a nivel foliar y podría ser que porcentajes de lodo superiores a 5% tuvieran un efecto negativo en la absorción de manganeso. Las mayores implicancias de una deficiencia en este elemento son principalmente la aparición de manchas necróticas en las hojas (Barceló *et al.* 1992).

## CONCLUSIONES

La aplicación de lodos de celulosa en sustratos de compost de corteza, en viveros de pino radiata y eucalipto en un porcentaje no superior al 4 %, es una alternativa de reciclaje de residuos industriales. Las plantas de pino y eucalipto no se vieron afectadas en su crecimiento, ni calidad y, en el caso de eucalipto promovió su crecimiento. Por lo tanto, se puede afirmar que el uso de lodos de celulosa en sustratos de compost de corteza de pino para la producción de plantas en vivero es una opción válida para reciclar este tipo de residuos.

## Bibliografía

- ANDRADE M, M MONTERO, P MARCET, J ESTÉVEZ, M REYZABAL. 2000. Mineralización del nitrógeno en un suelo ácido tratado con dos tipos de lodos residuales. *Edafología* 7-3: 21-29.
- BARCELÓ J, G NICOLÁS, B SABATER, R SÁNCHEZ. 1992. Fisiología Vegetal. 6° Edición. Madrid, España. 657 p.
- BELLOTE A, C FERREIRA, H DA SILVA, G ANDRADE. 1995. Efecto de la aplicación de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y crecimiento de *Eucalytus grandis*. *Bosque* 16 (1): 95-100.
- ESPAÑOL E, R ZAS, G VEGA. 2000. Contenidos foliares en macro y micronutrientes de *Eucalyptus* en el Noroeste Español. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 9 (2):.
- JORDÁN M, E RODRÍGUEZ. 2004. Effect of residues from the cellulose industry on plant growth. *Journal Plant Nutrition Soil Science* 167: 351-356.
- JORDÁN M, M SÁNCHEZ, L PADILLA, R CÉSPEDES, M OSSES, B GONZÁLEZ. 2002. Kraft mill residues effects on monterrey pine growth and soil microbial activity. *Journal Environmental Quality* 31(3): 1004-1009.
- JORDÁN, M. 2002. Metal detoxification properties of phytomass: physiological and biochemical aspects. Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plants. 415-426.
- SANTIBÁÑEZ F, J URIBE. 1990. Atlas Agroclimático de Chile: Regiones de Valparaíso y Metropolitana. 65 p.
- SILVA G. 2001. Efecto de los acondicionadores del suelo en plantación de sectores de ductos en la Región Metropolitana. Memoria de Título Ingeniería Forestal. Santiago, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile 97 p.
- TORAL M, D CAMPOS, A FRATTI, R VARELA. 2000. Manual de producción de plantas forestales en contenedores. Documento Técnico 25. Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco. FIPRODEFO. GDL, Jal. Méx. 219 p.
- WILL G. 1981. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forest. New Zealand forest service, FRI. Bulletin N° 97. Rotawa. New Zealand, 53 p.
- ZAMBRANO M, S RIVERA, G VIDAL. 2000. Residuos sólidos: la realidad industrial de un país en desarrollo. *Residuos* 58: 108 – 112.
- ZAMBRANO M, V PARODI, F GALLARDO, G VIDAL. 2003. Caracterización de dregs y grits provenientes de la industria de pasta celulósica: Estudio para su aplicación a suelos ácidos. *Afinidad* 60(503): 16-25. ■



# *Myrceugenia rufa* (ARRAYÁN ROJO, ARRAYÁN DE HOJA ROJA): ENSAYOS DE PROPAGACIÓN VEGETATIVA

Ángel Cabello<sup>1</sup> y Daniela Suazo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr. Ingeniero Forestal, Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, [acabello@uchile.cl](mailto:acabello@uchile.cl)

<sup>2</sup> Ingeniera Forestal, Jardín Botánico Chagual, [dsuazoh@gmail.com](mailto:dsuazoh@gmail.com)

**M***yrceugenia rufa* (Colla) Skottsberg ex Kausel (arrayán rojo, arrayán de hoja roja), es un arbusto nativo endémico, de 1 a 2 m de altura (Figura 1), bastante escaso y de distribución reducida (Kausel 1942, Serra *et al.* 1986). Se le encuentra entre el cerro Talinay, en la costa de Ovalle (30°50'S-71°40'O), IV Región, y las colinas costeras cercanas a Cartagena (33°31'S-71°35'O), V Región (Serra *et al.* 1986), entre los 10 y 700 msnm, sobre acantilados costeros, y hasta 15 km hacia el interior, donde prevalecen las brisas marinas (Hechenleitner *et al.* 2005). A diferencia del resto de las mirtáceas chilenas, que son higrófitas, *M. rufa* es xerófito, al igual que *Reichea* (Kausel 1944).



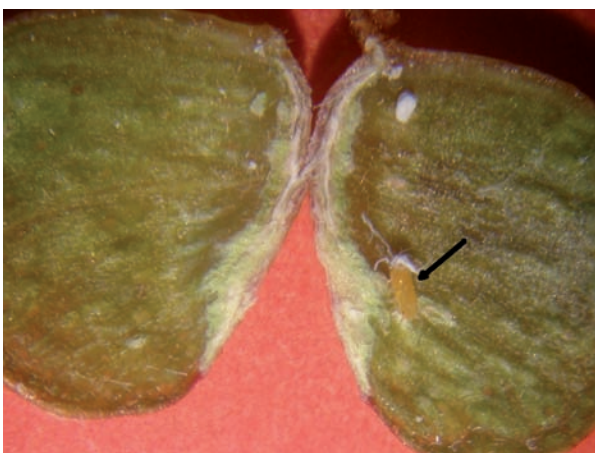
Figura 1. Ejemplar adulto de *Myrceugenia rufa*, creciendo a orillas del mar, Cerro La Cruz, Zapallar, V Región (Fotografía: Antonia Echenique C.).

A pesar de haber sido clasificada como especie "rara" (Benoit 1989), o "en peligro" (Hechenleitner *et al.* 2005), no se encuentra protegida en parques o reservas nacionales. La mayor parte de sus poblaciones se encuentra en lugares frecuentemente perturbados por incendios forestales u otras acciones antrópicas negativas; además, es posible que *M. rufa* esté sometida a un proceso de regresión debido a un cambio general de las condiciones ambientales de Chile Central (Serra *et al.* 1986). También se ha observado que *M. rufa* es afectada por algunos insectos, que atacan las hojas nuevas y las semillas.

Novoa (2005), informa que la coloración roja que adquieren las hojas apicales a comienzos de primavera, correspondería a malformaciones causadas por el ataque de agentes dañinos. Sin embargo, Cabello y Suazo (2008), han observado, en dos años consecutivos, esta coloración roja en algunas hojas a comienzos de enero, mientras que el resto de las hojas son de color verde. De acuerdo a estos últimos autores, las hojas rojas son deformes, más cortas y anchas que las normales, se encuentran plegadas a través del nervio medio, y quedando el envés como superficie externa en ambas caras, tomando una coloración morada o rojiza (Figura 2). Al interior de cada hoja plegada se ha encontrado una larva pequeña (Figura 3). A diferencia de las hojas normales, las hojas plegadas mueren en poco tiempo (Figura 4).



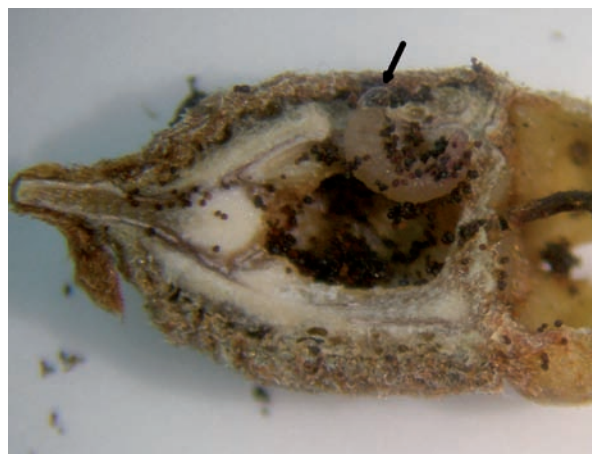
**Figura 2. Hojas anormales, plegadas a través del nervio medio, y el envés como superficie externa en ambas caras, de coloración morada o rojiza. A la derecha: arriba, una hoja normal, de color verde; abajo, hoja iniciando el plegamiento (Fotografía: Angel Cabello L.).**



**Figura 3. Larva encontrada al interior de cada hoja plegada se ha encontrado una larva pequeña (Fotografía: Angel Cabello L.).**



**Figura 4. Ramilla portadora de frutos en maduración. La flecha roja indica hojas anormales muertas, mientras otras más antiguas se mantienen vivas (Fotografía: Daniela Suazo H.).**



**Figura 5. Corte longitudinal de un fruto, cuyo interior se encuentra ocupado por los excrementos de la larva que consumió las semillas y que está haciendo un orificio de salida en el pericarpio (Fotografía: Angel Cabello L.).**



**Figura 6. Corte transversal de fruto mostrando dos semillas (Fotografía: Angel Cabello L.).**

Las semillas son destruidas por un insecto (Figura 5), prácticamente en un 100%, al punto que Landrum (1981), al describir la especie declara que nunca ha podido encontrar una semilla al interior de los frutos. Los frutos atacados por insectos permanecen unidos a la planta madre por lo menos hasta marzo (Landrum 1981, 1988). Sin embargo Novoa (2005), informa que una muestra de frutos puede tener entre 1% y 5% de semillas no parasitadas; que los frutos poseen entre 1 y 3 semillas (Figura 6); que germinan pocos días después de sembradas, casi en 100%; y que las plántulas crecen muy lentamente y son afectadas por las heladas.



Es probable que este fuerte ataque a las semillas de *M. rufa* esté afectando a su regeneración natural y se sume a los otros factores que merman su población.

Se ha comprobado que *M. rufa* florece muy abundantemente algunos años, en otros la floración es baja, y en otros no se produce, como en la primavera del año 2008. A partir de enero de 2009 se ha observado presencia de algunas yemas florales (Figura 7) y en septiembre de 2009 se han colectado algunas flores (Figura 8). Esto implica que la producción de frutos varía significativamente, llegando a ser nula algunos años (Cabello y Suazo 2008).

Aunque *M. rufa* presenta dificultades en su propagación por semillas, se ha observado ejemplares que retoñan (Figura 9), después de ser afectados por incendios (Cabello y Suazo 2008).

Debido a la necesidad de propagar *M. rufa*, el Jardín Botánico Chagual, en conjunto con el Departamento de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, inició una serie de ensayos cuyo objetivo es lograr su propagación vegetativa. Al mismo tiempo y siempre en trabajo conjunto de ambas instituciones, se está estudiando la morfoanatomía de las estructuras reproductivas de la especie.

Para realizar los ensayos, tanto de estaquillado como de cultivo *in vitro*, se han colectado ramillas de individuos adultos en tres poblaciones naturales de *M. rufa* en la V Región: la mayor cantidad provino del Cerro de la Cruz (Figura 1), Zapallar (septiembre de 2007; marzo de 2008; enero, marzo y septiembre de 2009) y en menor cantidad, de Tunquén (enero y septiembre de 2007) y de Los Molles (Cabello y Suazo 2008).

Las ramillas se lavaron durante 30 min en agua circulando y se remojaron 60 min en una solución de Benlate (6 g/l) y Captan (2 g/l). De algunas ramillas se obtuvieron estacas, y otras se destinaron a la obtención de yemas y brotes para el cultivo *in vitro* (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).



Figura 7. Ramilla con yemas florales, colectada en el mes de enero de 2009 (Fotografía: Angel Cabello L.).



Figura 8. Flor de *Myrceugenia rufa*, octubre de 2009 (Fotografía: Angel Cabello L.).



Figura 9. Rebotes en ejemplar afectado por un incendio, Cerro La Cruz, Zapallar, V Región (Fotografía: Antonia Echenique C.).

Los ensayos de enraizamiento de estacas se realizaron en el invernadero del Jardín Botánico Chagual y los de cultivo *in vitro* en el laboratorio de la misma Institución.

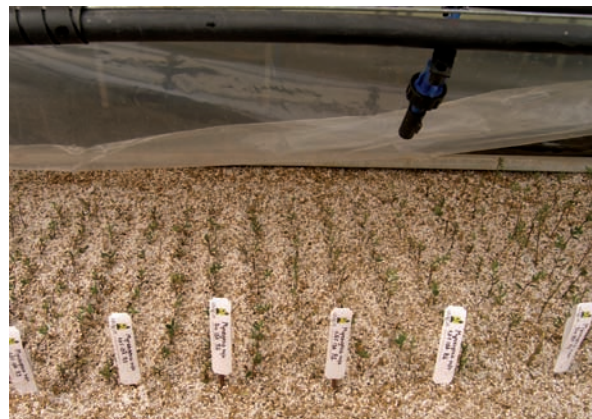
### Ensayos de Propagación por Estacas

La propagación por estacas ha sido difícil. El enraizamiento ha sido lento, la calidad de él ha sido baja y sólo se ha logrado cuando las estacas se han ubicado en una cama caliente con sistema de neblina (Figura 10). Se han realizado ensayos de enraizamiento entre los años 2007 y 2009.



**Figura 10.** Las estacas se ubicaron en una cama caliente con sistema de neblina, al interior del invernadero del Jardín Botánico Chagual (Fotografía: Angel Cabello L.).

En los primeros ensayos, año 2007, las estacas se dispusieron en *speedlings* (celdillas de 100 ml de capacidad), con una mezcla de corteza de *Pinus radiata* compostada y arena (1:1), y se instalaron en el invernadero (con ventanas de ventilación, pero sin sistema de enfriamiento, calefacción ni riego automático). En un primer ensayo, realizado en verano, las bases de las estacas fueron tratadas durante 24 horas en soluciones de ácido indolbutírico (IBA 0; 50 y 140 ppm); posteriormente, en un ensayo instalado en primavera, a las estacas se les aplicó IBA en polvo talco (0% y 5%). Aunque la mayoría de las estacas del primer ensayo iniciaron brotes, posteriormente se marchitaron y murieron. Las estacas del segundo ensayo tuvieron un comportamiento semejante, salvo que un 0,4% de las estacas procedentes de Zapallar y un 1% de las prove-



**Figura 11.** Estacas dispuestas directamente en la cama caliente (22 °C), empleando perlita como sustrato (Fotografía: Angel Cabello L.).

nientes de Tunquén se mantuvieron vivas luego de 11 meses de cultivo y no obstante, desarrollaron nuevos brotes no enraizaron (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).

A partir de marzo 2008, las estacas se ubicaron directamente en la cama caliente (22 °C), al interior del invernadero, empleando perlita como sustrato y sistema de neblina (Figura 11) (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008). Al cabo de 20 meses enraizaron un 12,0%, formando un sistema radical pobre, generalmente constituido de una raíz larga y frágil, con unas pocas, o ninguna, raíz secundaria (Figura 12). Muchas estacas aun sobreviven sin iniciar raíces.

Durante el año 2009, se han instalado dos ensayos, invierno e inicios de primavera, y hasta mediados de noviembre de 2009, las estacas no han enraizado y han sobrevivido un 79% y 58%, respectivamente.

### Ensayos de Cultivo *in vitro*

Los explantes (Figura 13), se obtuvieron principalmente de ramas colectadas de ejemplares del Cerro de la Cruz, Zapallar, a comienzos de otoño de 2008. Antes de su introducción *in vitro*, las ramas se mantuvieron en la cama caliente del invernadero, aplicándoles abono foliar y fungicidas para iniciar brotes nuevos. En la desinfección de los explantes se han probado diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y la



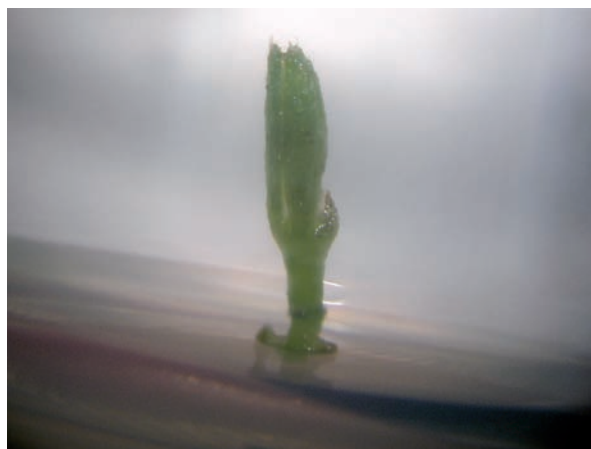


**Figura 12.** Las estacas forman un sistema radical pobre, generalmente constituido de una raíz larga y frágil, con unas pocas, o ninguna, raíz secundaria (Fotografía: Daniela Suazo H.).

inmersión en peróxido de hidrógeno o en alcohol al 70% (Cabello y Suazo 2008).

Como medio de cultivo se utilizó el de Muras-hige & Skoog (MS), diluido a la mitad, con 20 g/l de sacarosa y 7 g/l de agar. En la multiplicación se empleó el mismo medio, sin diluir, con cuatro concentraciones de bencilaminopurina (BAP). Para inducir el enraizamiento en los brotes obtenidos *in vitro*, al medio MS se le adicionó IBA en cuatro concentraciones. El material se mantuvo, a 23°C con un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad, en la pieza de cultivo del Jardín Botánico Chagual (Figura 14) (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).

En los 11 ensayos de desinfección realizados durante el año 2008, los resultados mejoraron paulatinamente, partiendo con un 5,8% de explantes libres de contaminantes hasta un 78,6% (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).



**Figura 13.** Explante obtenido del extremo apical de una ramilla (Fotografía: Daniela Suazo H.).



**Figura 14.** El material cultivado *in vitro* se mantuvo en la pieza de cultivo del laboratorio de semillas del Jardín Botánico Chagual (Fotografía: Daniela Suazo H.).

El número de brotes promedio obtenidos de cada explante varió entre 0 y 44,5. La presencia de BAP en el medio de cultivo favoreció la multiplicación de los explantes, obteniendo la concentración más baja el mayor factor de multiplicación (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).

Durante la etapa de multiplicación (Figura 15) y después de varios subcultivos, algunos brotes iniciaron raíces adventicias, en bajo porcentaje, en los diferentes tratamientos. Los brotes que iniciaron raíces fueron aclimatados en vasos plásticos conteniendo una mezcla de arena: corteza:perlita (1:1:1) como sustrato, tapados con otro vaso dispuesto en forma invertida, para

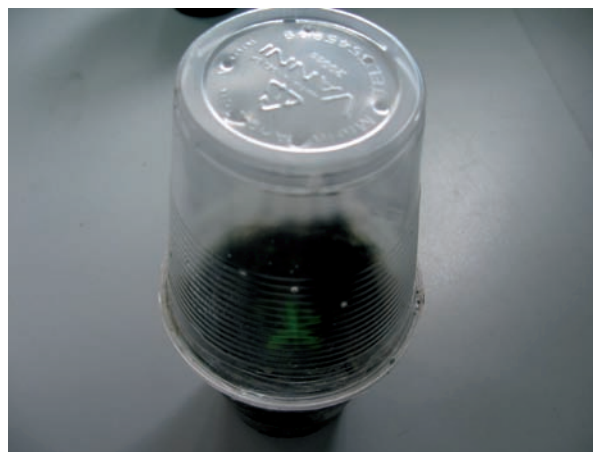


**Figura 15.** Multiplicación de brotes obtenidos *in vitro* a partir de los explantes (Fotografía: Angel Cabello L.).

mantener una alta humedad ambiente inicial. Posteriormente, para favorecer la regularización de la humedad relativa y el intercambio gaseoso, se fueron adicionando perforaciones a las tapas (Figura 16), a lo largo de un par de semanas y luego estas se retiraron. La sobrevivencia de los brotes llevados a aclimatación fue de un 60%. Inicialmente, la calidad del enraizamiento fue pobre, semejante al enraizamiento obtenido en los ensayos de propagación por estacas, sin embargo, al aumentar el número de subcultivos, la calidad del enraizamiento ha mejorado (Figura 17).

La adición de IBA al medio MS, sólo logró la formación de callo, pero no de raíces (Cabello y Suazo 2008; Suazo y Cabello 2008).

Los resultados obtenidos muestran que *M. rufa* se puede multiplicar vegetativamente, aunque con dificultad y al igual que otras Mirtáceas nativas, es posible que a través de la realización de nuevos ensayos se puedan mejorar estos resultados. La afirmación anterior es respaldada por los resultados obtenidos en varias Mirtáceas nativas, en las que se han realizado ensayos de enraizamiento de estacas. En algunas especies (Sabja 1980), o épocas (Vásquez 1998), el resultado ha sido nulo, en otras el enraizamiento ha sido



**Figura 16.** Brotes enraizados, en aclimatación en vasos plásticos con sustrato, tapados con otro vaso dispuesto en forma invertida, para mantener una alta humedad ambiente inicial. Posteriormente, para favorecer la regularización de la humedad relativa y el intercambio gaseoso, se fueron perforando las tapas a lo largo de un par de semanas y luego estas se retiraron (Fotografía: Daniela Suazo H.).

bajo (Sabja 1980; Rademacher 2001; Pais 2002), en algunas especies el enraizamiento estuvo cercano al 50% (Vásquez 1998; Rademacher 2001) y en un par de especies el enraizamiento fue elevado (Avery 1947; Lavín y Muñoz 1988; Avendaño 1998). En general, los resultados pueden variar mucho, dependiendo de: la época, la condición ambiente, del sustrato, del regulador de crecimiento aplicado y su concentración, entre otros factores.



**Figura 17.** Aunque inicialmente la calidad del enraizamiento fue pobre, al aumentar el número de subcultivos, la calidad del enraizamiento *in vitro* ha mejorado (Fotografía: Daniela Suazo H.).

## Bibliografía

- AVENDAÑO C. 1998. Multiplicación por estacas y cultivo *in vitro* de murtillo (*Ugni molinae* Turcz.). Memoria Ingeniería Agrónoma. Universidad Santo Tomás, Escuela de Agronomía, Santiago. 81 pp.
- AVERY G. 1947. Hormones and horticulture. The use of special chemicals in the control of plant growth. Mc Graw-Hill, Nueva York. 326 pp.
- BENOIT I. 1989. El libro rojo de la flora terrestre de Chile (primera parte). Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile. 157 p.
- CABELLO, A. & SUAZO, D. 2008. Propagación Vegetativa de *Myrceugenia rufa* (Colla) Skottsberg ex Kausel (arrayán rojo, arrayán de hoja roja). Revista Chagual 6: 65- 72.
- HECHENLEITNER P, M GARDNER, P THOMAS, C ECHEVERRÍA, B ESCOBAR, P BROWNLESS & C MARTÍNEZ. 2005. Plantas amenazadas del centro-sur de Chile. Distribución, conservación y propagación. Trama Impresores, Valdivia. 188 p.
- KAUSEL E. 1942. Contribución al estudio de las mirtáceas chilenas. Revista Argentina de Agronomía 9(1): 39-68.
- KAUSEL E. 1944. Contribución al estudio de las mirtáceas chilenas. Revista Argentina de Agronomía 11(4): 320-327.
- LANDRUM L. 1981. A monograph of the genus *Myrceugenia* (Myrtaceae). The New York Botanical Garden. Flora Neotropica. Monograph 29. 135 p.
- LANDRUM L. 1988. The myrtle family (Myrtaceae) in Chile. Proceedings of the California Academy of Sciences, 45(12): 277-317.
- LAVÍN A. & C. MUÑOZ. 1988. Propagación de la murtillo (*Ugni molinae* Turcz.) mediante estacas apicales semileñosas. Agricultura Técnica, Chile, 48(1): 58-59.
- NOVOA P. 2005. **Antecedentes del proyecto Libro rojo, flora V Región.** [http://www.conaf.cl/cd\\_sitio\\_web\\_flora\\_regional/comprimidos/Plantillas/Continental/Myrceugenia\\_rufa\\_individuo.htm](http://www.conaf.cl/cd_sitio_web_flora_regional/comprimidos/Plantillas/Continental/Myrceugenia_rufa_individuo.htm)
- PAIS P. 2002. Ensayos de propagación de *Myrceugenia correifolia* (H. et A.) Berg "petrillo" mediante estacas procedentes del Parque Nacional Fray Jorge. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Santiago. 54 pp.
- RADEMACHER C. 2001. Propagación vegetativa mediante estaquillado de mirtáceas autóctonas con propiedades medicinales. Memoria Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Valdivia. 55 pp.
- SABJA A. 1980. Métodos de propagación vegetativa de algunas especies leñosas chilenas con posibilidades ornamentales. Memoria Ing Forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 120 p.
- SERRA MT, R. GAJARDO & A. CABELLO. 1986. *Myrceugenia rufa* (Colla) Skottsberg. Programa de Protección y Recuperación de la Flora Nativa de Chile. Corporación Nacional Forestal & Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Silvicultura y Manejo. Ficha Técnica de Especies Amenazadas. Santiago. 20 p.
- SUAZO D. & A. CABELLO. 2008. Avances en la propagación vegetativa de *Myrceugenia rufa*. En: Taller Internacional y Curso Práctico Propagación de Plantas Nativas para Conservación, Reintroducción y Restauración de Hábitat. La Serena, Chile. 1 al 3 de octubre, 2008. Centro Regional e Investigación Intihuasi, INIA. - Millenium Seed Bank Project Kew - Río Tinto Plant for Life Partnership.
- VÁSQUEZ M. 1998. Propagación vegetativa de *Gevuina avellana* Mol., *Amomyrtus luma* (Mol.) Lerg. et Kaus., *Tepualia stipularis* (Hook. et Arn.) Griseb. y *Pilgerodendron uviferum* (D. Don.) Flor. et Bout. mediante técnicas simples. Memoria Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia. 129 pp. ■



# APROXIMACIONES A LA PROPAGACIÓN DE *Polylepis tarapacana* Phil EN EL ALTIPLANO DE LA I REGIÓN DE IQUIQUE

## Investigación, propagación, plantación y monitoreo de queñoas en Collahuasi

Cristina Orchard<sup>1</sup>; Lysette Mersey<sup>2</sup>; Sigal Stern<sup>3</sup>; Daniel Green<sup>4</sup>; Oscar Zepeda<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera Agrónoma, MSc. RR.NN; meristema + dbl, Teknoriego; caorchar@gmail.com

<sup>2</sup>Ingeniera Agrónoma; meristema + dbl, Teknoriego; lysette.mersey@gmail.com

<sup>3</sup>Ingeniera Agrónoma; Teknoriego; sstern@teknoriego.cl

<sup>4</sup>Ingeniero Forestal; meristema + dbl, Teknoriego; meristema@terra.cl

<sup>5</sup>Biólogo; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi; ozepeza@collahuasi.cl

### Introducción

El presente artículo resume las experiencias obtenidas en propagación de *Polylepis tarapacana* Phil. (queñoa de altura; figuras N° 1a y 1b), perteneciente a la familia Rosaceae, durante el *Proyecto Investigación, propagación, plantación y monitoreo de queñoas* en Collahuasi, desarrollado a partir del año 2009 por Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) en colaboración con la empresa Jack Stern y Cía. Ltda. (Teknoriego). Estas actividades se relacionan con el

compromiso de reforestar con la especie mencionada, un área igual a la afectada por la actividad extractiva del yacimiento Ujina (149 ha), en el altiplano de la I Región de Iquique, considerando que se trata de una especie clasificada en estado vulnerable por el Libro Rojo de la Flora Nativa Terrestre de Chile (Benoit, 1989) y recientemente también por el Comité de Clasificación de Especies (Minsegespres, 2008).



Figura N°1. *P. tarapacana* en a) Parque Nacional Isluga, sector de Arabilla, y en b) faldeos de Volcán Irruputuncu.



## Recopilación de antecedentes de propagación del género *Polylepis*

Se realizó una revisión de antecedentes sobre propagación de *Polylepis tarapacana*, con lo que se constató que las experiencias han sido escasas y no documentadas. Si bien es conocida, la experiencia de reforestación con *Polylepis tarapacana* desarrollada por CMDIC en años anteriores, no se han publicado los hallazgos en cuanto a la propagación de la especie. La Corporación Nacional Forestal (CONAF), ha transplantado plántulas provenientes de regeneración natural, obteniéndose un 50 % de prendimiento luego de un año de realizado el repique (CONAF, 2005; Ríos, 1998), actividad muy costosa y que atenta contra la regeneración natural de la especie.

Existen al menos 24 especies del género *Polylepis* distribuidas en Los Andes centrales de América del Sur, a alturas superiores a los 3.000 m.s.n.m., con gran variabilidad morfológica entre ellas, indicativa de la gran amplitud ecológica de las diferentes especies de *Polylepis* y de los bosques formados por ellas. *P. tarapacana* es la especie mejor adaptada a las condiciones climáticas más desfavorables, llegando a formar la vegetación leñosa más alta del mundo en el Volcán Sajama, Bolivia. Habita la cordillera volcánica occidental altiplánica, desde el sur de Perú hasta el norte de Chile, entre 3.900 y 5.200 m de altitud, en regiones con sólo 100 a 500 mm de precipitación media anual (Kessler, 2006). Estas adversas condiciones en las que se desarrolla, unido a la falta de experiencias publicadas en su propagación, son las que dificultan abordar la actividad. Ello demanda considerar algunos antecedentes sobre ecología, propagación y plantación de otras especies de *Polylepis tarapacana* que se desarrollan en ambientes áridos y semiáridos, aun cuando las experiencias dependen altamente de la especie y de las condiciones particulares de cada sitio, por lo que no son replicables en otras situaciones. No obstante, existen algunas experiencias que permitirían dar indicios y bases mínimas para desarrollar la propagación de *P. tarapacana*.

Se sabe que *P. tarapacana* presenta reproducción sexual (fruto seco del tipo pseudo-aquenio alado con una semilla en su interior) y asexual del tipo acodos naturales. La floración ocurre principalmente en la época seca y fría aunque, se ha reportado una gran variabilidad de información al respecto. El periodo de floración está directamente relacionado con la disponibilidad de agua, pudiendo durar hasta 8 meses en zonas con mayor humedad y 4 meses en zonas más secas (CONAF, 1989). La fructificación presenta una duración aproximada de 8 meses, entre octubre y mayo, aunque en la zona de Collahuasi parece producirse a partir de febrero (Ríos, 1998).

Numerosos autores indican que las especies del género *Polylepis* presentan dificultad para ser propagadas por semillas, dados sus bajos porcentajes de germinación. Estudios realizados en *P. rugulosa* indican que la especie posee un muy bajo porcentaje de germinación, apreciándose un estado de dormancia que puede ser provocado por factores mecánicos, químicos como la presencia de inhibidores al nivel de cubierta seminal (Argollo *et al.* 2004; Ríos, 1998). El porcentaje de germinación de semillas sometidas a tratamientos pregerminativos ha alcanzado un máximo de 8 % (Argollo *et al.* 2004; Ríos, 1998). Según estudios realizados por Pezoa *et al.* (1986), el bajo porcentaje de germinación de *P. besseri*, también cercano al 8 %, se atribuye a que sólo el 43 % de los frutos analizados presentan embriones con capacidad de desarrollarse, encontrándose los restantes con embriones muertos (53 %) o dañados con parásitos (4 %). Estos porcentajes variarían de año en año según las condiciones ambientales imperantes, aunque dadas las condiciones adversas de ambientes altoandinos sería esperable una importante proporción de frutos vanos por temporada.

Por otra parte, se ha demostrado que la viabilidad de la semilla de *P. australis* se correlaciona con una degradación antropogénica del hábitat, encontrándose un alto porcentaje de semillas vanas e inviábiles en bosques de *Polylepis* alterados antropogénicamente.

<sup>1</sup> Guillén, Carlos. 2009. Comunicación Personal.

Esta sería una característica común a las especies de este género, lo que dificulta su propagación reproductiva (Renison *et al.* 2004). No obstante, estudios realizados en *P. australis* han reportado porcentajes de germinación de hasta un 86 % (Seltmann *et al.* 2007).

La propagación vegetativa de especies de *Polylophos* ha sido posible mediante el enraizamiento de estacas. Es el caso de *P. besseri*, *P. incana*, *P. racemosa*, *P. weberbauerii*, *P. sericea* y *P. australis* (CONAF, 1989; CONAF, 2005; Fjeldsa y Kessler, 1996; Guillen, 2009<sup>1</sup>; Renison y Cingolani, 1998; Reynel y León, 1990; Ríos, 1998). Esta última, ha sido ampliamente investigada en Argentina, y actualmente existe gran experiencia en su germinación y propagación vegetativa, que ha sido utilizada en proyectos de reforestación con esta especie (Renison y Cingolani, 1998). Al respecto, se recomienda realizar la recolección de estacas entre diciembre y marzo, coincidiendo con el invierno altiplánico, ya que en otras épocas es muy difícil el enraizamiento. (CONAF, 2005; Ríos, 1998;).

En relación a las recomendaciones de donde coleccionar, existen discrepancias en la literatura revisada, algunos autores indican que ésta debe realizarse en ramas basales y otros, que es mejor seleccionar ramas de la porción central de ejemplares maduros. Hay concordancia en cuanto a que las estacas deben tener cerca de 20 cm de longitud con abundantes protuberancias, cuidando de no dañarlas al remover las hojas, lo que disminuiría el porcentaje de enraizamiento.

En cuanto al uso de hormonas enraizantes, en la mayoría de las especies evaluadas se han conseguido mayores porcentajes de enraizamiento en estacas que no han sido tratadas con enraizante (Arizapana, 2009<sup>2</sup>; Renison y Cingolani, 1998). Mientras algunos autores recomiendan plantar directamente las estacas en bolsa (CONAF, 2005), otros proponen colocarlas en camas de enraizamiento para su posterior repique, considerando que el uso de camas calientes (a

20 °C) ha sido reportado como detrimental (Arizapana, 2009<sup>2</sup>; CONAF, 1989; CONAF, 2005; Ríos, 1998). En cualquiera de los casos se recomienda utilizar un sustrato poroso, liviano, con adecuada retención de agua y buen drenaje.

A la fecha no existe suficiente literatura disponible sobre reproducción de *P. tarapacana* para responder las interrogantes básicas de propagación, lo que es una limitante en términos de su propagación masiva. Las diferentes metodologías de propagación evaluadas en otras especies del género han sido exitosas en algunos casos y en otros no. En consecuencia, se decidió adaptar prácticas de propagación, apoyadas en la ecología de la especie y en el análisis de los ambientes en que habita, complementarias a ensayos montados en laboratorio e invernadero a 4.000 m.s.n.m.

### ¿Qué ocurre en la naturaleza y cómo aplicarlo a la viverización?

Las características ecológicas de las especies y los ambientes en que habitan otorgan importantes pautas para abordar técnicas de propagación. Dadas las características ambientales en que se desarrolla esta especie, resulta difícil pensar que, de existir barreras a la germinación, estas puedan ser superadas por altas temperaturas (técnica del agua hirviendo), como ocurre con especies de semilla dura de zonas áridas, como algarrobo, tamarugo y espino, entre otras. Además, considerando las características del fruto, no sería esperable que la germinación esté relacionada con la ingesta animal y el consecuente ablandamiento de cubiertas seminales por su degradación química en el tracto digestivo. En consecuencia, se trataría de otro proceso que determina que esta especie prospere y deje descendencia.

Probablemente, una combinación de bajas temperaturas y humedad, sea la que determine la transformación de los polisacáridos al interior de la semilla hacia productos que activan la germinación, que sumado a un ascenso primaveral de las temperaturas, activa el

<sup>1</sup> Arizapana, Marcos 2009. Comunicación personal. Ingeniero Zootecnista y Forestal. Perú.

proceso. Esto puede simularse a través de la estratificación fría y posterior siembra en cama caliente, siempre y cuando el invernadero mantenga condiciones ambientales similares a la primavera altiplánica.

Considerando las condiciones ambientales del altiplano, con precipitaciones en verano y temperaturas y humedad relativa extremadamente bajas gran parte del año, las situaciones que podrían ocurrir con la semilla de la queñoa podrían ser las siguientes:

- Que la semilla apenas cae en época de lluvia (enero - marzo), inicie su germinación de inmediato y logre superar el invierno posterior. Esta hipótesis sugiere siembra inmediata de la semilla recién cosechada.
- Que la semilla necesite un período frío (invierno post lluvias de verano), para prepararse fisiológicamente para germinar apenas aumente la temperatura en primavera. Esta hipótesis sugiere estratificación fría seguida de la siembra en cama caliente.
- Que la semilla, por falta de agua y exceso de frío, no germine al momento de caer y se almacene seca (en la tierra o en los intersticios de rocas) hasta que lleguen las lluvias del invierno altiplánico siguiente, combinadas con calor. Esta hipótesis sugiere almacenamiento de la semilla durante el invierno y posterior siembra en primavera.

Estas situaciones están siendo evaluadas en el invernadero de Collahuasi, lo que se encuentra descrito más adelante.

## Caracterización de la semilla y su germinación

Durante febrero del 2009 se cosecharon frutos de distintos lugares de distribución de la especie en el altiplano de la I Región. De una muestra representativa de éstos se determinó un porcentaje de pureza de 65 %, al eliminar ramillas y hojas, y una cantidad aproximada de frutos por kilogramo de 124.560.

Para determinar la dureza de la semilla se aplicó un corte a un amplio número de semillas (luego de su extracción del fruto) y se pudo constatar que la testa no es dura ni limita físicamente la germinación, por lo que no es necesario realizar tratamientos de escarificación química o mecánica. Posteriormente, las semillas cortadas fueron observadas bajo lupa y se contabilizó la cantidad de semillas con endosperma y de semillas vanas o muertas. Ello indicó que aproximadamente el 10% de las semillas observadas presentan un endosperma aparentemente sano e hidratado, lo que no significa necesariamente que posean embrión viable.

Para determinar la capacidad germinativa, se realizó un ensayo evaluando la germinación de semillas con y sin fruto, embebidas en agua fría, en agua tibia y sin imbibición (control), ensayo realizado en cápsulas de petri (sobre algodón y tapadas con papel absorbente), en cámara climática con condiciones controladas de temperatura (20 °C) y luz (16 h de luz y 8 h de oscuridad), perteneciente al Departamento de Ciencias Vegetales de la Facultad de Agronomía e



**Figura N°2.** Frutos de *Polylepis tarapacana* germinando en placas de petri donde se puede apreciar la a) emisión de radícula desde el fruto y b) emisión de radícula y cotiledones a partir de semillas aisladas. c) Plántulas de *P. tarapacana* en activo crecimiento provenientes de semilla de estratificación fría húmeda y siembra en cama caliente.

Ingeniería Forestal, Universidad Católica de Chile (figuras N° 2a y 2b). En todos los casos los porcentajes de germinación de semillas limpias fueron mayores en comparación con los alcanzados por los frutos, y su germinación fue anterior a la de los frutos, lo que podría implicar la presencia de inhibidores químicos presentes en el fruto que limitarían la germinación, aunque no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de imbibición.

Al término del ensayo de germinación, se cuantificó un rango entre 2 y 12 % de germinación, con un promedio de 5 % con respecto al total de semillas iniciales y un promedio de 92 % de semillas vanas (analizadas luego del término del ensayo de germinación). Considerando solamente el número de semillas no vanas, el porcentaje de germinación varió entre un 17 y un 100 % para los distintos tratamientos. Se desprende que los bajos porcentajes de germinación reportados en la literatura y obtenidos en los ensayos realizados, estarían relacionados con la baja proporción de semillas viables y no con limitantes a la germinación. No obstante, es posible que ciertos tratamientos como el remojo de frutos para lavar los posibles inhibidores e hidratar la semilla o, la estratificación fría de ellos podrían acelerar el proceso.

Complementariamente, se realizó un ensayo de germinación en el invernadero de Collahuasi en bandejas *speedling*. Los resultados fluctuaron entre 0 y 13 % de germinación para las semillas provenientes de distintos sectores de colecta, con una media en torno al 6,5 %. Nuevamente, este bajo porcentaje de germinación estaría determinado por la pequeña proporción de semilla viable y no tendría mayor relación con tratamientos pregerminativos, aunque en esta ocasión no se evaluaron estos tipos de tratamientos. El período de máxima germinación se produce entre 30 y 40 días después de realizada la siembra y puede extenderse por una a dos semanas más. Por otra parte, entre las partidas sembradas, una estuvo almacenada durante un año a temperatura ambiente en bolsa de papel y presentó una germinación equivalente o superior a

las partidas cosechadas durante la temporada, lo que revela que después de un año de almacenamiento la semilla no perdería su viabilidad.

### **Siembras operacionales en el invernadero de CMDIC**

Sobre la base de los antecedentes obtenidos de la literatura, el análisis de la ecología de la especie, los ambientes en que habita y los ensayos realizados, se diseñó un programa de siembra que determinó aplicar tres tratamientos:

- Siembra inmediata en bandejas *speedling* en invernadero no calefaccionado (sustrato: una parte de suelo franco arenoso local, una parte de perlita de granulometría media y una parte de turba fina)
- Estratificación fría húmeda a 4 °C, por un período de 35 días y posterior siembra en cama caliente (temperatura en torno a los 20 °C) y en cajas almacigueras dentro del invernadero calefaccionado (sustrato: 35 % de perlita de granulometría media y 65 % de turba fina)
- Almacenamiento de semillas en frascos de vidrio a temperatura ambiente (baja), para posterior siembra a inicios de primavera en cama caliente y en cajas almacigueras en invernadero no calefaccionado (sustrato: 35 % de perlita de granulometría media y 65 % de turba fina).

Como metodología común a todas las siembras realizadas, se determinó conveniente lavar el fruto con abundante agua y dejarlo en remojo durante toda una noche antes de sembrar, de modo de remover los posibles inhibidores químicos que pudiese contener el fruto o la cubierta seminal e hidratar la semilla para activar la germinación. Complementariamente, se realizó una siembra a pequeña escala de semillas sin previa imbibición, de manera de determinar la relevancia de realizar dicha labor. Posterior a la siembra se efectuó un riego abundante y una aplicación de fungicida preventivo de amplio espectro, cuya aplicación se conti-



nuó cada 10 días por un par de meses y luego con una frecuencia mensual.

De esta manera se hace posible evaluar distintos métodos de siembra, probando en términos prácticos la posible mejor opción para futuras cosechas y siembras, dando inicio a la propagación masiva de *P. tarapacana* (figura N° 2c).

### Propagación vegetativa

En febrero del presente año se montó un ensayo de propagación vegetativa mediante estacas, cuyo diseño contempló tres tipos de estacas y tres tratamientos de productos enraizantes más un control o testigo. Se colectaron estacas entre 30 y 40 cm de largo, las que a las pocas horas fueron procesadas en el invernadero para la obtención de tres tipos de estacas (figura N° 3):

- Estaca apical: entre 15 y 25 cm de longitud y entre 3 y 5 mm de diámetro del tallo.
- Estaca media: entre 15 y 25 cm de longitud y entre 4 y 6 mm de diámetro del tallo, con un corte en bisel en el extremo superior, por lo que no presenta ápice
- Ramilla lateral: entre 5 y 10 cm de longitud y entre 1 y 3 mm de diámetro del tallo, que corresponde a las ramificaciones laterales de cada estaca.



**Figura N°3. Procesamiento de estacas. a) Corte en bisel de estacas colectadas en terreno y b) obtención de los tres tipos de estacas experimentales; estaca apical, estaca media y ramilla lateral de izquierda a derecha.**

Se removieron las ramillas laterales dejando solamente la ramilla apical en caso de la estaca apical y dejando la ramilla lateral superior tratándose de la estaca media. Las ramillas laterales también fueron procesadas eliminando subramillas laterales. Lo anterior, con el fin de minimizar potencial tejido de pudrición bajo el sustrato y de minimizar la transpiración foliar. Como se expone a continuación, la eliminación de ramillas laterales (braquiblastos), habría determinado el nulo enraizamiento de todas las estacas experimentales luego de aproximadamente 2 meses de montado el ensayo, por lo que no se detallan los tratamientos de enraizamiento y las condiciones del ensayo. Adicionalmente, se observó pudrición del material vegetal bajo el sustrato.

Dado que transcurridos dos meses no hubo enraizamiento, se determinó conveniente realizar estudios histológicos en distintas partes de estacas nuevamente colectadas para determinar la localización de las yemas y su estado de diferenciación. Estos estudios se realizaron durante los meses de abril y mayo en el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Universidad Católica de Chile.

Se realizaron cortes histológicos de dos segmentos del braquiblasto, el segmento apical y el medio, además de un segmento del tallo lignificado. Ello permitió comprender que las yemas se ubicarían principalmente en los braquiblastos, material que fue eliminado al momento de preparar las estacas. Cabe destacar que a la fecha del estudio histológico, gran parte de las yemas se encontraban ya diferenciadas a hojas, ramas o flores y por lo tanto, no mantenían su carácter meristemático, impidiendo la formación de tejido radicular a partir de éstas. Esto es sumamente importante para determinar la época apropiada para la colecta de estacas.

En el segmento apical de la ramilla fue posible apreciar el meristema apical (figura N° 4a), yemas activas e incluso una yema floral donde es posible distin-

guir todas las partes florales (figura N° 4b). En el segmento medio se observó la mayor cantidad de yemas, siendo estas acompañadas de la hoja que deja tejido meristemático al formarse (figura N° 4c). Por el contrario, en el segmento de tallo lignificado no fue posible observar yemas; sólo se pudo observar claramente los tejidos del xilema, floema y corteza. Sería poco probable encontrar yemas en tejidos tan lignificados.

### Conclusiones y recomendaciones

Los ensayos de germinación han determinado porcentajes de germinación entre 0 y 13 %, con un promedio que varió entre 5 y 6 %. Esto coincide con el análisis interno que se realizó a las semillas, donde se observó que sólo el 10 % de las semillas estarían vivas, encontrándose las otras vanas. Es decir, de la semilla que se encuentra viva, una importante proporción es capaz de germinar, por lo que en la práctica no existen grandes limitaciones a la germinación, sino escasez de semillas viables, las que no perdería viabilidad luego de un año de almacenamiento en condiciones secas.

Se determinó que el fruto no posee limitaciones físicas ni mecánicas (dureza extrema, impermeabilidad) y además la eventual presencia de inhibidores químicos sería despreciable, dado que siembras con y sin fruto generan similares resultados, aunque ligeramente superiores en la semilla aislada. Estos potenciales inhibidores se pueden reducir o eliminar mediante el lavado de los frutos y cambiando el agua de remojo previo a la siembra.

Aparentemente, la semilla no requiere estratificación fría, dado que las siembras realizadas en febrero con semillas sin tratamiento de frío previo, presentaron germinación. Se encuentra pendiente evaluar si la estratificación aceleraría o maximizaría la germinación de *P. tarapacana*.

El uso de cama caliente ha resultado un buen medio de propagación de *P. tarapacana* en las adversas condiciones altiplánicas. El sustrato inerte utilizado, compuesto por 65 % de turba y 35% de perlita ha demostrado ser adecuado, aunque podrían existir otras combinaciones igualmente favorables. Se recomienda el uso de sustratos inertes para evitar enfermedades fungosas.

En relación con la propagación vegetativa, sobre la base de los hallazgos realizados, es esperable que un nuevo ensayo, con estacas colectadas en primavera (previo a la diferenciación de las yemas) y plantadas manteniendo sus ramillas laterales (braquiblastos, estructura que mantiene el tejido meristemático, potencial formador de raíces), entregue mejores resultados, siendo esta nuestra nueva hipótesis de trabajo. Sin embargo, no resulta todavía seguro ni eficiente como método masivo de propagación respecto de la propagación por semilla. No obstante, esta técnica puede ser la forma más efectiva de producir plantas en grandes cantidades, por lo que es necesario continuar la investigación en esta línea.

Como resultado y aprendizaje de todo este proceso de estudio, se llega a la conclusión de que se debe

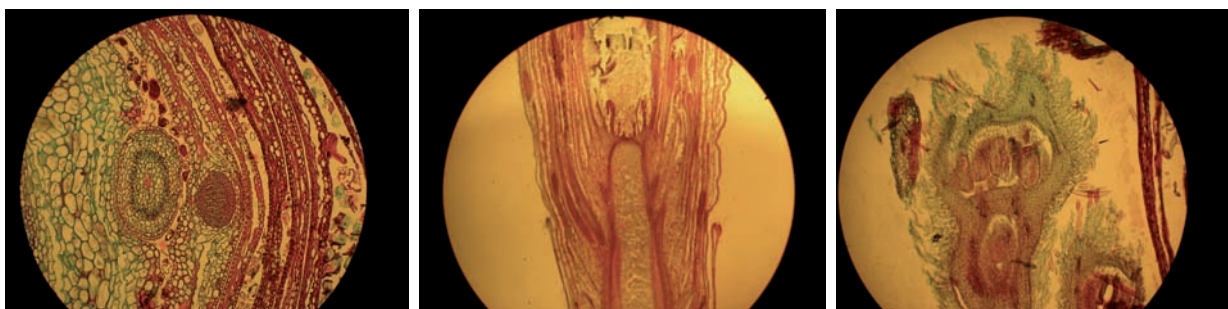


Figura N°4. Cortes histológicas para microscopía óptica. a) Segmento apical del braquiblasto donde se puede apreciar el ápice meristemático y b) yema floral. c) Segmento medio del braquiblasto con yema activa acompañada de haz vascular del pecíolo (nódulo más pequeño).

aumentar el esfuerzo de colecta de semilla, de manera oportuna y de fuentes diversas. La clave para producir grandes cantidades de queñoa es cosechar y sembrar a lo menos 20 veces más semilla que las plantas que se desea producir.

### Bibliografía

- ARGOLLO, J., SOLIZ, C. Y VILLALBA, R. (2004) Potencialidad Dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia. 27 p.
- BENOIT, I. (1989) Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile. Corporación Nacional Forestal, CONAF. Santiago, Chile. 157p.
- CONAF (1989) Informe Final de Evaluación Técnicas de producción de *Polylepis besseri*. Corporación Nacional Forestal. 51 p.
- CONAF (2005) Informe de Propagación de *Polylepis besseri* en Vivero CONAF Putre. Corporación Nacional Forestal. 16 p.
- FJELDSA, J. Y KESSLER, M. (1996) Conserving the biological diversity of *Polylepis* woodlands of Peru and Bolivia. A contribution to sustainable natural resource management in the Andes. Nordeco. Copenhagen, Denmark. 250 pp.
- KESSLER, M. (2006) Bosques de *Polylepis*. En: Botánica Económica de los Andes Centrales (Moraes, M., Ollgaard, B., Kvist, L. P., Borchsenius, F. y Balslev, H.; eds.), pp. 110-120. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- MINSEGPRES (2008) Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Decreto Supremo No 51/2008
- PEZOA, C., ESCOBAR, A. Y BAHAMONDES, C. (1986) Estudio de la germinación en laboratorio de la especie *Polylepis besseri*. Chile.
- RENISON, D. Y CINGOLANI, A.M. (1998) Experiencias en germinación y reproducción vegetativa aplicados a la reforestación con *Polylepis australis* (Rosaceae) en las sierras Grandes de Córdoba, Argentina. Agriscientia XV: 47-53.
- RENISON, D., HENESEN, I. Y CINGOLANI, A. M. (2004) Anthropogenic soil degradation affects seed viability in *Polylepis australis* mountain forests of central Argentina. Forest Ecology and Management 196: 327-333.
- REYNEL C. Y LEÓN, J. (1990) Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. Tomo II. Proyecto FAO- Holanda /DGFF. Lima, Perú.
- RÍOS, R. (1998) Estudios de la Distribución y Caracterización Ecológica de las Poblaciones Locales de Queñoa de Altura (*Polylepis tarapacana* Phil.) en el Sector de la Provincia de Iquique, Tarapacá. Santiago, Chile. 1998. 61p.
- SELTMANN, P, LEYER, H., RENISON, D. Y HENSEN, I. (2007) Variation of seed mass and its effects on germination in *Polylepis australis*: implications for seed collection. New Forests 33: 171-181. ■

# BIENESTAR HABITACIONAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE VIVIENDAS SOCIALES INDUSTRIALIZADAS CON ESTRUCTURA DE MADERA

Marcelo González Retamal<sup>1</sup>, Gabriel Rodríguez Jaque<sup>2</sup>, Tomás Karsulovic Carrasco<sup>3</sup>, Aldo Cisternas Petinelli<sup>4</sup>, Alejandro Bozo González<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ing. de la Madera, U. de Chile. [mgonzalezret@ing.uchile.cl](mailto:mgonzalezret@ing.uchile.cl)

<sup>2</sup> Profesor del Depto de Ing. Civil, U. de Chile. [grodriguez@maclin.cl](mailto:grodriguez@maclin.cl)

<sup>3</sup> Profesor del Depto. Ing de la Madera, U. de Chile. [dirac@uchile.cl](mailto:dirac@uchile.cl)

<sup>4</sup> Mg. Productos Forestales, U. de Idaho. [aldocisternas@gmail.com](mailto:aldocisternas@gmail.com)

<sup>5</sup> Profesor del Depto. Ing. de la Madera, U. de Chile. [abozo@uchile.cl](mailto:abozo@uchile.cl)

## Introducción

Actualmente, en Chile la construcción de viviendas con madera se asocia a soluciones habitacionales transitorias que presentan bajos estándares de bienestar, lo que ha generado una suerte de rechazo por parte del público en adquirir este tipo de viviendas. No obstante, presentan bondades cuando son construidas en forma industrial y bajo un buen diseño, lo que puede llevar a obtener una construcción de excelente calidad y a un bajo costo.

En Chile, existe el Sistema Constructivo Modular Industrializado (SCMI), inscrito en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que permite construir viviendas con estructura de madera en forma industrializada. Este sistema asegura altos niveles de calidad, facilidad y rapidez de construcción, una menor emisión de gases de efecto invernadero, buen comportamiento acústico y de resistencia al fuego, y un excelente comportamiento sísmico debido a su menor peso estructural. Además, experiencias realizadas por Fundación Chile y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, resaltan interesantes atributos como el buen comportamiento térmico que presentan por sobre las viviendas tradicionales de ladrillo y hormigón, lo que genera un importante ahorro energético y un muy buen confort térmico (Rodríguez, 2000).

Este trabajo evalúa el bienestar habitacional y eficiencia energética de un conjunto de 225 viviendas sociales de madera, construidas con el SCMI el año 2003, en la comuna de Buín, Región Metropolitana, siendo el primer proyecto de su tipo en el país. El primer piso de estas viviendas tiene una superficie de 31m<sup>2</sup> y está constituido por un estar-comedor, baño, cocina y un dormitorio; en tanto el segundo piso tiene una superficie habitable de 21m<sup>2</sup>, el cual se entregó a los propietarios en condiciones “cuasi habitables”, y contempla la ubicación de dos dormitorios. Es necesario aclarar que las viviendas en estudio fueron financiadas por medio del programa habitacional “Vivienda Social Dinámica sin Deuda” a un precio de 290 UF por vivienda; donde el objetivo de dicho programa era la entrega de una vivienda nueva con una superficie mínima habitable de 25m<sup>2</sup> incorporando en el diseño arquitectónico y estructural una proyección de crecimiento de 50m<sup>2</sup> en total (SERVIU, 2008).

Este análisis, está dirigido a demostrar que la construcción industrializada de viviendas con estructura de madera puede entregar un excelente confort habitacional, y transformarse en un aporte importante para poder dignificar la vivienda de interés social en Chile, lo que se transforma en un aporte directo para las familias de menores recursos.



## Evaluación del bienestar habitacional

Para evaluar el bienestar habitacional que entregan las viviendas sociales SCMI, se confeccionó un instrumento de medición o encuesta para observar la actitud de los propios habitantes de las viviendas, después de cuatro años de uso. La encuesta, consistió en un conjunto de catorce preguntas o ítems relativos al bienestar habitacional que brindan las viviendas a sus habitantes. La confección de las preguntas se basó en los factores definidos por la "Guía de diseño para un hábitat residencial sustentable" elaborado por Fundación Chile como resultado del proyecto de investigación FONDEF/CONICYT N° D0011039 (Fundación Chile, 2004):

- Factor térmico
- Factor acústico
- Factor lumínico
- Factor seguridad de la edificación

Fue también de interés averiguar el nivel de satisfacción de los habitantes con sus viviendas. Todos los ítems fueron medidos en un escalamiento tipo Likert, con una escala de uno a cinco puntos; por lo que si la persona encuestada al presentarle una pregunta su actitud fue "muy mala" entonces el puntaje asignado fue de un punto. De igual forma, si al contestar el propietario consideró que la respuesta es "muy buena" entonces se le asignaron cinco puntos en ese ítem. La confiabilidad de la encuesta se estimó mediante el coeficiente Alfa-Cronbach, a través del programa de análisis estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Science).

Se seleccionó una muestra aleatoria del 20%, correspondiente a 45 viviendas de un total de 225 del conjunto en estudio. Para la selección de las viviendas sólo se tomó en cuenta el factor exposición del frontis de las viviendas, ya que esta puede condicionar en forma considerable la cantidad de luz natural y la temperatura al interior de una vivienda durante el día.

De los datos obtenidos mediante la aplicación de la encuesta, se obtuvo que la cantidad de habitantes promedio por vivienda fue de 4,9 personas, mientras que el tiempo de residencia promedio de los encuestados fue de 3,7 años. En relación a los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la encuesta, en la figura 1 se encuentran los puntajes promedio para cada una de las preguntas de la encuesta de bienestar habitacional

Por medio de una encuesta de percepción se obtuvo que el factor térmico de las viviendas sociales SCMI, fue evaluado como regular, la iluminación natural fue considerada buena y la aislación acústica deficiente según los jefes de hogar. Además, la seguridad frente al fuego y termitas fueron consideradas como deficientes, mientras que el comportamiento de las viviendas sociales frente a la lluvia y a sismos fueron bien evaluados. Finalmente las familias manifestaron que sus viviendas sociales SCMI son de calidad aceptable y se sienten satisfechas con ellas.

El coeficiente de confiabilidad obtenido para la encuesta de bienestar habitacional fue de 0,93; lo que indica una alta confiabilidad del instrumento de medición. A continuación se detallan los factores de bienestar habitacional considerados en la encuesta

## Percepción de los habitantes

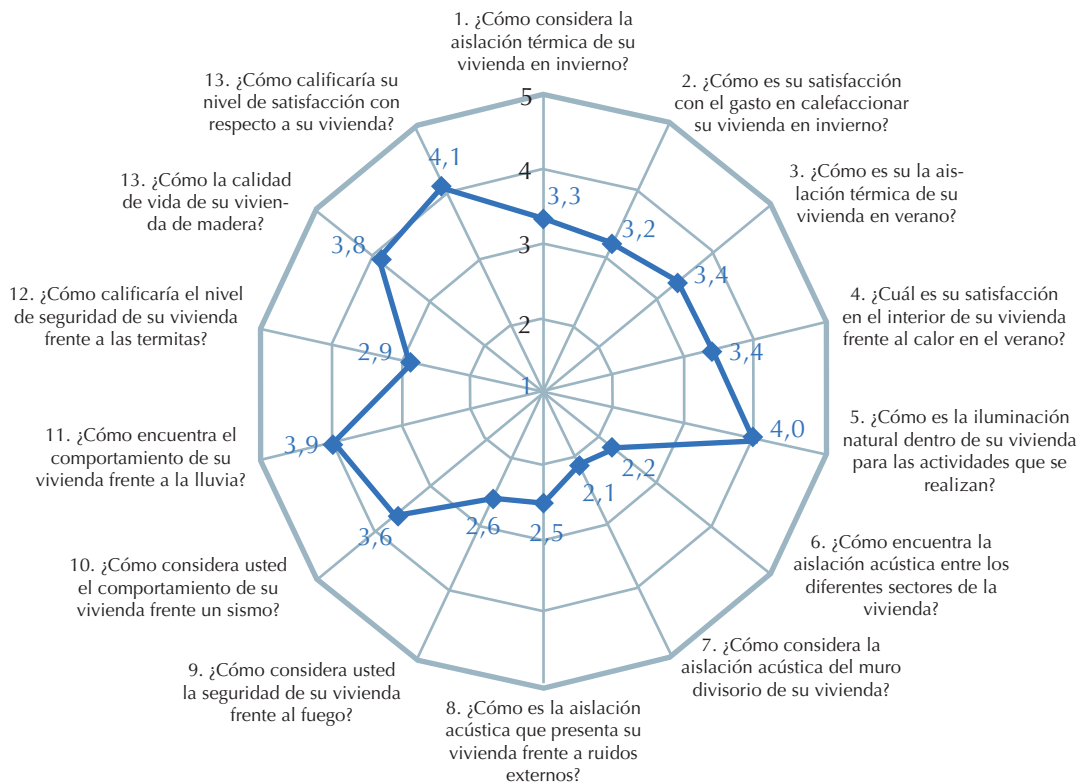


Figura 1: Puntaje promedio obtenido para cada pregunta de la encuesta de bienestar habitacional de las viviendas sociales SCMI

- Factor térmico: El confort térmico que necesitan los habitantes de un hogar depende de diversos factores, entre los principales se encuentra la temperatura, la humedad y el movimiento del aire al interior de la vivienda. Una persona, para estar térmicamente confortable, no debe sentir ni frío ni calor, es una sensación que varía ligeramente de acuerdo a cada individuo, dependiendo de su metabolismo, edad, sexo, contextura física, alimentación, nivel de actividad física, grado de aislación de la ropa, entre otras. Se sabe que para lograr esto la temperatura de confort que se debe mantener al interior de la vivienda está comprendida en el rango de 17-24 °C dependiendo de la humedad relativa del aire y de la velocidad del aire del recinto (Rodríguez, 2006).
- En cuanto a la percepción de los encuestados, poco más de la mitad de los propietarios considera como buena y muy buena la aislación térmica de su vivienda en invierno, mientras que el 24% la considera sólo como regular; y los que la consideran mala y muy mala alcanzan a un 25%. Para la condición de verano, la cantidad de habitantes que considera la aislación térmica de las viviendas como buena y muy buena es un 49%, semejante a la percepción para la condición de invierno. Mientras que los que la consideran mala y muy mala baja de un 25% a un 15% realizando la

misma comparación. Sin embargo, la cantidad de jefes de hogar que considera regular la aislación térmica en verano es de un 36%, doce puntos porcentuales más que para la condición de invierno. Una mirada desde el espacio: empleo de imágenes satelitales para la evaluación y monitoreo

- Factor iluminación natural: La iluminación natural dentro de una vivienda tiene una gran influencia en la calidad de vida de las personas, tiene ventajas psicológicas en comparación con la iluminación artificial, y afecta en forma considerable el ahorro de energía para mantener un recinto a una temperatura confortable (Sarmiento, 2007). Este factor fue considerado como bueno y muy bueno por el 85% de los habitantes encuestados, lo que se puede explicar por la adecuada superficie de ventana que presenta el diseño arquitectónico de la vivienda (cercano al 10%).
- Factor acústico: El ruido es un conjunto de sonidos inarticulados de diversa intensidad, desagradable y molesto al oído, y que puede producir un gran impacto negativo en la salud física y psíquica de las personas; en sus relaciones familiares y sociales, en el valor patrimonial de la vivienda afectada y en los derechos fundamentales a la intimidad (Colonelli y Rodríguez, 2004). Los datos obtenidos de la encuesta indican que la aislación acústica, de los muros interiores de las viviendas sociales SCMI, son consideradas como malas y muy malas por el 65% de los encuestados, el 70% de los propietarios consideró como mala y muy mala la aislación acústica del muro divisorio. En tanto, la aislación acústica de la vivienda frente ruidos externos es considerada como mala y muy mala por la mitad de los encuestados. Se puede apreciar entonces que los habitantes tienen una mala percepción sobre el comportamiento acústico de sus viviendas; sin embargo estudios realizados por Fundación Chile *et al.* (2004) y Ferrada (2003), concluyen que las viviendas sociales de albañilería también presentan falta de aislación acústica,

por lo que este es un factor de diseño que se debe mejorar en general en Chile y que no sólo atañe a la construcción en madera. No obstante, en el “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Aislamiento Acústico” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), se presentan soluciones de muro divisorio o medianero con estructura de madera que cumplen con la aislación mínima requerida por la normativa chilena actual.

- Factor seguridad de la edificación: Para las viviendas en estudio se consideró como parte de este factor la resistencia frente al fuego, la seguridad ante los sismos, y el comportamiento frente a la lluvia y a potenciales ataques de termitas.
- Seguridad de la vivienda frente al fuego: El objetivo, que persigue el diseño de edificios contra incendios, es dar un tiempo suficiente para que los moradores puedan ponerse a resguardo antes de que la estructura colapse, además de considerar el uso de métodos para minimizar el riesgo de incendio. Se obtuvo la resistencia al fuego de todos los elementos constructivos que conforman la vivienda social SCMI de Buín mediante el “Método Aditivo de Componentes CAM”; obteniendo que las viviendas estudiadas cumplen con las exigencias mínimas de resistencia al fuego según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), al presentar terminaciones interiores adecuadas de muros y techumbre utilizando revestimientos difícilmente combustibles (planchas de yeso-cartón y/o fibrocemento). No obstante a lo anterior la percepción de seguridad en caso de incendio de las viviendas fue evaluada como mala y muy mala por el 47% de las personas, como regular por el 35%, y como buena por sólo el 18% restante. Esta mala percepción se debe en gran medida a que al interior del segundo piso de las viviendas los elementos estructurales de madera se encuentran a la vista (condición cuasi habitable), lo que genera la inseguridad manifestada.

- Seguridad de la vivienda frente a un sismo: La fuerza con que actúa un sismo sobre una edificación depende de la aceleración del movimiento y del peso de la estructura. Para iguales condiciones de aceleración de movimiento, se cumple que a menor masa de una estructura, menor es la fuerza lateral del sismo sobre ella. Esta ventaja de menor masa (y por lo tanto menor peso), la presentan las viviendas estructuradas en madera que son entre seis a nueve veces más livianas en comparación a las construidas en albañilería y hormigón. Además, las estructuras conformadas por materiales pétreos, como el hormigón y el ladrillo, son más frágiles que las estructuras de madera, ya que soportan una menor deformación durante un movimiento lateral. Gran parte de la ductibilidad de las estructuras de madera se debe a las conexiones metálicas que estos sistemas constructivos utilizan, lo que le da a una estructura de madera la habilidad para soportar mejor los sismos. En cuanto a la percepción de los jefes de hogar sobre este punto, un 68% considera que la seguridad de su vivienda frente a un sismo es buena y muy buena.
- Seguridad de la vivienda frente a la lluvia: Es de vital importancia que las viviendas no presenten infiltraciones debido a la lluvia, ya que esto provoca problemas serios de humedad en la estructura y afecta en forma significativa el bienestar de sus habitantes. En general, las viviendas sociales SCMI presentan un buen comportamiento frente a las lluvias debido a un buen diseño de la vivienda y a la elección de materiales adecuados en su envolvente. Esto se ve reflejado en el nivel de seguridad que perciben los jefes de hogar encuestados frente a este tema, ya que un 84% la considera como buena y muy buena, sólo un 9% como regular y el restante 7% como mala.
- Seguridad de la vivienda frente a las termitas: Las termitas son el mayor exponente dentro de los agentes bióticos que degradan la madera, siendo un factor importante a considerar en el diseño de

cualquier edificación que utilice la madera como material estructural. Las termitas subterráneas son la causante de mayor preocupación debido a su difícil control, encontrándose principalmente en la zona central de Chile. Las viviendas estudiadas presentan una fundación y radier de hormigón con una altura adecuada (150 mm), sobre el cual se ubican las soleras inferiores de madera de los muros perimetrales. Esto genera una barrera física importante para prevenir ataques de termitas subterráneas. Además, toda la estructura de madera se encuentra preservada con sales CCA (Cromo Cobalto Arsénico), según la norma chilena NCh 819. Of2003; con lo cual se asegura un nivel de protección satisfactorio frente al exceso de humedad y al ataque termitas. Como también, el panel OSB (Oriented Strand Board), que actúa como revestimiento de las viviendas, las hojuelas fueron preservadas mediante un baño de borato de zinc, que es un inhibidor metabólico no tóxico que evita el ataque de termitas y la proliferación de hongos.

Se puede concluir entonces, que el comportamiento que tienen las viviendas sociales SCMI frente a las termitas es suficiente, es decir, las especificaciones técnicas que tienen las viviendas ayudan en forma considerable a prevenir ataques de termitas. Sin embargo, la percepción de los habitantes es negativa debido a que más de la mitad de los encuestados considera que la seguridad de sus viviendas frente a las termitas es mala y muy mala, mientras que sólo un 38% la considera como buena y muy buena. Es importante señalar que ninguno de los encuestados manifestó tener ese problema en su vivienda, por lo que la regular percepción de los jefes de hogar se puede atribuir simplemente a un factor cultural imperante en el país, que califica a priori como vulnerable al ataque de termitas cualquier edificación con estructura de madera, sin conocer las consideraciones de diseño.

- Factor satisfacción y calidad de las viviendas: La calidad de las viviendas sociales SCMI es considerada como buena y muy buena, por el 78% de



los jefes de hogar encuestados, mientras que el 11% considera la calidad como regular y el 11% restante califica su percepción como mala. Esta buena reacción por parte de los jefes de hogar, es resultado de una de las grandes fortalezas que tiene la construcción de viviendas bajo el SCMI: la calidad controlada. Durante la construcción de las viviendas sociales en estudio, la calidad de los elementos industrializados: paneles, casetones de piso y techumbre y cerchas fue garantizada por la empresa que los fabricó a través de un sistema de gestión de calidad. De esta manera, se logra un control de la calidad tanto de los materiales, de los elementos industrializados y del montaje de las viviendas, lo que es muy difícil de realizar en una obra tradicional de albañilería en forma tan completa. Finalmente, la satisfacción de los propietarios respecto de sus viviendas sociales SCMI es considerada como buena y muy buena, por el 82% de los encuestados y como regular por el 18% restante.

### Eficiencia energética de las viviendas

Se analizó el comportamiento térmico de las viviendas sociales, de Buín construidas con el SCMI, utilizando los planos y las especificaciones técnicas como base para los cálculos térmicos que se realizaron (Según normas chilenas NCh 853.0f91 y NCh 1960.0f60). Estos consideraron tres tipos de vivienda: la vivienda social SCMI en su diseño original, la vivienda social SCMI con una propuesta de terminación del segundo piso y la alternativa de comparación en construcción tradicional de ladrillo. La energía requerida en calefacción (ERC), obtenida para los tres tipos de vivienda emplazadas en la comuna de Buín, Región Metropolitana, considerando como período de calefacción los meses de abril hasta octubre son los que aparecen en la Figura 2.

De los resultados expuestos en la figura 2, se concluye que la vivienda social SCMI con la propuesta de terminación del segundo piso, es la alternativa

más eficiente térmicamente, presentando un ahorro del 30% respecto a la vivienda social SCMI original y a la alternativa de ladrillo. De la misma manera, los requerimientos energéticos de la vivienda social SCMI original y de la vivienda de ladrillo son prácticamente iguales entre ellas, con una diferencia del 0,35%.

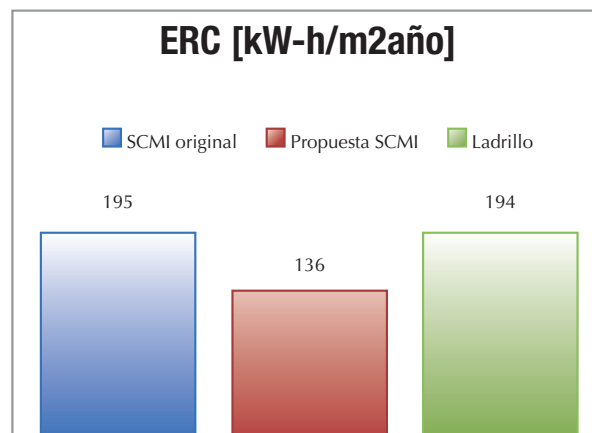


Figura 2: Energía requerida en calefacción por unidad de superficie para las viviendas en estudio emplazadas en la comuna de Buín.

Según resultados del CENSO del año 2002, el requerimiento de construcción de nuevas viviendas, sólo en la Región Metropolitana es de 242.971 viviendas (MINVU, 2004). Asumiendo una superficie promedio por vivienda de 50 m<sup>2</sup> y un factor de forma similar al de las viviendas en estudio, el ahorro energético que se lograría al construir la totalidad de las viviendas requeridas, con el Sistema Constructivo Modular Industrializado de madera en vez de albañilería de ladrillo alcanzaría a las 608 Teracalorías por año, lo que equivale a dejar de utilizar 61.000 millones de litros de parafina anualmente, ahorro que supera en un 18% al consumo nacional de sector residencial<sup>6</sup>.

Además, la utilización de la madera como material constructivo en desmedro de materiales que se utilizan tradicionalmente en la construcción de viviendas en el país, como lo son el ladrillo, cemento y el

<sup>6</sup> El consumo nacional de kerosene doméstico del sector residencial durante el año 2006 fue de 515 Teracalorías [2]

acero (Sistema Metalcom), significaría también una disminución energética importante sólo por el cambio de material debido a la menor energía que requiere la industria maderera en su proceso de remanufactura- ción. Finalmente se debe recordar el concepto de sus- tentabilidad de la madera, al ser un material renovable y menos contaminante en su proceso de obtención en comparación con materiales como el cemento, ladrillo y los metales.

Entonces, el ahorro de ERC se traduce para las familias en un ahorro económico significativo y en una menor contaminación intradomiciliaria debido a la menor demanda por combustible, disminuyendo de esta manera los riesgos asociados a contraer enferme- dades respiratorias por parte de sus moradores.

Se obtuvo el ahorro energético que entrega la vivienda social SCMI, respecto a la alternativa de la- drillo, para cada una de las zonas térmicas especifi- cadas en la normativa nacional existente<sup>2</sup>. Los valores de ahorro energético se muestran en la tabla 1. Se puede apreciar que el gasto energético de la vivienda social industrializada de madera es siempre menor al de la alternativa de ladrillo. Los ahorros energéticos van des- de 15,7% en la zona de menor requerimiento térmico, hasta 37,4% en la zona de mayor requerimiento tér- mico.

Zona Térmica	Ahorro Energético
	SCMI respecto ladrillo
1	15,7%
2	16,1%
3	23,8%
4	24,1%
5	26,9%
6	32,8%
7	37,4%

**Tabla 1: Ahorro energético en calefacción de la vivienda social SCMI respecto a la vivienda de ladrillo.**

<sup>2</sup> Ver los mapas de las siete zonas térmicas del país en el Manual de Aplicación Re- glamentación Térmica (www.mart.cl)

## Conclusiones y comentarios

El SCMI de viviendas de madera cumple con la reglamentación térmica existente en todo el país, pro- duciendo ahorros energéticos importantes, garantiza la calidad de sus componentes por medio de un proceso industrializado y puede cumplir con todos los requeri- mientos técnicos necesarios para garantizar el bienest- ar habitacional de los habitantes, por lo que aparece como una buena alternativa para la construcción de viviendas sociales teniendo en cuenta las variables de diseño analizadas en este estudio.

En general las familias se sienten satisfechas respecto de sus viviendas sociales industrializadas de madera. Sin embargo, hay aspectos tecnológicos que se deben mejorar, lo cuales son factibles de realizar sujetos a la restricción presupuestaria de las viviendas sociales.

Es importante señalar que los puntos clave del sistema constructivo que se estudió son que se realiza en forma industrializada, garantizando la calidad de sus componentes mediante un proceso controlado y que los elementos estructurales de madera no se en- cuentran expuestos a la intemperie, ayudando a pro- longar la vida útil de la vivienda.

## Bibliografía

- COLONELLI, P., RODRIGUEZ, G. 2004. Carac- terísticas acústicas de viviendas sociales urbanas. Proyecto Fondef D0011039 Bienestar habitacional. Fundación Chile. Santiago, Chile. 75 p.
- FERRADA, J., 2003. Estudio acústico de viviendas sociales de albañilería. Memoria para optar al títu- lo de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 133 p.
- FUNDACIÓN CHILE, UNIVERSIDAD DE CHILE, UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MA- RIA Y CORPORACIÓN DE DESARROLLO TEC- NOLÓGICO DE LA CÁMARA CHILENA DE LA

- CONSTRUCCIÓN, 2004. Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable. Santiago, Chile. 123 p.
- MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU). 2004. El déficit habitacional en Chile: medición de los requerimientos de vivienda y su distribución espacial. Santiago, Chile.
  - RODRÍGUEZ, G., 2000. Aspectos físico-ambientales Sistema Constructivo Modular Industrializado. Fundación Chile. Santiago, Chile. 36 p.
  - RODRÍGUEZ, G., 2006. Confort térmico. Apuntes del curso Física de la Construcción. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
  - SARMIENTO, P. 2007. Energía Solar en Arquitectura y Construcción. Primera edición. Editorial Ril. Santiago, Chile. 343 p.
  - SERVICIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (SERVIU). 2008. Programa de vivienda social dinámica sin deuda. [En línea]. <[http://www.serviurm.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=60&Itemid=74](http://www.serviurm.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=60&Itemid=74)>. [Consulta: 30 de agosto de 2008] ■





## CADA VEZ SON MAS LOS QUE COMPRUEBAN LA VERDADERA CALIDAD

STIHL, por más de 36 años, ha desarrollado en Chile toda su calidad y eficiencia en el mercado forestal, a través de productos de primera línea tecnológica, fabricada con las más altas normas de calidad europea y con una amplia cobertura a lo largo y ancho de todo Chile.

Durante todo este tiempo, son miles los que han comprobado la satisfacción de tener en sus manos la comodidad y rendimiento que solo STIHL ha podido lograr. Esa confianza y preferencia es la que nos motiva, a seguir innovando y entregando soluciones eficientes a miles de hombres en los bosques de nuestro país.

