

# Propagación, producción y establecimiento de especies leñosas de alta montaña con fines de restauración

Carlos Magni<sup>1\*</sup>, Iván Grez<sup>1</sup>, Eduardo Martínez H<sup>1</sup>, Betsabé Abarca<sup>1</sup>, Suraj Vaswani<sup>1</sup>, Nicole Toro<sup>1</sup>, Angela Faúndez<sup>1</sup>

1. Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales (CESAF). Departamento de Silvicultura y Conservación de la Naturaleza. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Avenida Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago, Chile.

\*[crmagni@uchile.cl](mailto:crmagni@uchile.cl)

## RESUMEN

La propagación, producción y establecimiento de especies leñosas en la alta montaña con fines de restauración es un tema poco investigado y desarrollado. Además, son escasas las revisiones referidas a la ecología, ecofisiología de semillas o propagación de especies que componen los cortejos florísticos altoandinos de Chile central. Este capítulo muestra los esfuerzos desarrollados por el Centro Productor de Semillas y Árboles Forestales de la Universidad de Chile para generar un sistema que contribuya a los esfuerzos de restauración en la cuenca alta del río Mapocho, a través de la colecta, propagación, producción y plantación de especies propias de ambientes de montaña.

Los resultados muestran que, si bien los antecedentes sobre la ecología reproductiva de las **plantas altoandinas** para desarrollar mejores prácticas de propagación y plantación son escasos, se ha avanzado suficiente para entender como las nuevas condiciones climáticas influyen los procesos de restauración activa. Estas primeras observaciones y sucesivas campañas de prospección y colecta para las especies de interés de este capítulo han logrado identificar los patrones fenológicos y su interacción con el ambiente, lo que constituye un primer paso para entender los procesos de repoblamiento. Esto entrega una importante información de base para desarrollar estas actividades en forma exitosa.



### Éxito de métodos pregerminativos:

Remojo de semillas en agua a temperatura ambiente: 30 a 70% en *C. odorifera*, *G. trinervis* y *S. polygamus*

### Estratificación fría:

*C. oppositifolia*, *E. chilensis*, *K. angustifolia*, *K. oblonga*, *S. ligustrinum* y *T. alatum*



## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de montaña son frágiles, complejos y diversos tanto desde un punto de vista cultural como ambiental, entregando una importante cantidad de servicios ecosistémicos (Spehn et al., 2005) y, debido al escenario de cambio climático actual, han sido clasificados como uno de los ecosistemas más comprometidos en su desarrollo (Körner, 2000). Por otra parte, sin duda las actividades antrópicas los han afectado y es tiempo de considerar dichas actividades en un contexto de cambio global, pues los impactos serán exacerbados y las dinámicas naturales negativas acentuadas.

En este escenario, se hace imperativo aumentar el nivel de conocimiento sobre el desarrollo de buenas prácticas para revertir o reducir el efecto de los procesos naturales y antrópicos que afectan dichos ecosistemas. En particular, la cantidad de información para desarrollar procesos de restauración activa son escasos, al igual que los antecedentes sobre las especies leñosas altoandinas, para su propagación, plantación y posterior establecimiento (Smith-Ramírez et al., 2015; Bannister et al., 2018). La propagación y producción de especies leñosas, además de su plantación y establecimiento son un desafío constante en las especies nativas, que conlleva a un bajo nivel de desarrollo y utilización; por otra parte, entender los procesos subyacentes de estos ambientes ayuda a mejorar los procesos de propagación y, al mismo tiempo, cumplir los compromisos ambientales que contraen las empresas frente a las actividades de mitigación, restauración y compensación como la revegetación e investigación.

Dado lo anterior, en este capítulo se abordarán opciones de buenas prácticas que considerarán desde una breve descripción de las especies de interés, pasando por su colecta y apresto de semillas, hasta su posterior propagación y técnicas especiales de plantación. La información de las especies alto andinas leñosas que se presentan a continuación tiene el objetivo de mostrar su gran variación morfológica, lo que impacta en los procesos posteriores de colecta a plantación.

Por último, se debe considerar que cualquier intervención en ambientes montañosos por definición es compleja, aunque esta tenga como objetivos planes de cumplimientos ambientales, restauración y/o conservación.

## 2. PROPAGACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ESPECIES ALTOANDINAS LEÑOSAS

La reproducción de las especies es el mecanismo natural que las plantas emplean para dispersarse y perpetuarse en el tiempo (Quiroz et al., 2001). La propagación y producción de especies leñosas es un desafío constante en las especies nativas, pues el nivel de conocimientos puede desarrollarse aún más y el entender estos procesos ayuda para cumplir los compromisos ambientales que contraen las empresas frente a las actividades de mitigación, restauración y compensación como la revegetación e investigación.

A través del tiempo, se han realizado diversos esfuerzos en relación con la investigación de la propagación de especies nativas, como aquellas realizadas por Acuña (2001) o recopiladas por Donoso (2013), sin embargo, pocas son las investigaciones o revisiones referidas a la ecología, ecofisiología de semillas o propagación de especies que componen los cortejos florísticos altoandinos, recalando en sus estudios que la información es escasa y los esfuerzos son muy limitados (Figueroa et al., 2004; Mersey et al., 2015).

El manejo y conservación de especies que habitan ambientes rigurosos presentan características que necesitan ser analizadas para entender y poder gestionar las acciones referidas a su conservación. En el caso específico de la propagación, es necesario comprender desde los eventos de reproducción como es la floración y fructificación, hasta los procesos de polinización, dispersión y formación de banco de semillas (Körner, 2003; Figueroa et al., 2004). El entender si las floraciones son tardías, si las semillas presentan **latencias** asociadas o la forma de dispersión de sus propágulos entregarían herramientas muy valiosas para la flora de los pisos vegetacionales de altura.

Dentro de estos proyectos y estudios, las especies altoandinas presentan grandes desafíos, pues hasta la fecha cuentan con estudios escasos y de información limitada. Por tanto, generar evidencia confiable basada en ensayos y pruebas en campo es uno de los objetivos planteados en las investigaciones para reducir las incertidumbres que hasta la fecha rodean a estas formaciones vegetacionales y a las especies que la conforman (Peñaloza et al., 2001; Jordan et al., 2010; de

la Fuente et al., 2011; Mersey et al., 2015; Rojas, 2019).

En adelante, se entregarán antecedentes sobre las especies de los estratos andinos o cordilleranos y de aquellas cuyo rango de distribución se amplía hacia aquellas zonas, conformando especies acompañantes de relevancia. Las especies consideradas para este estudio fueron *Colliguaja odorifera* (Mol.) (colliguay), *Chuquiraga oppositifolia* (D. Don.) (hierba blanca), *Ephedra chilensis* (K. Presl.) (pingo-pingo), *Fabiana imbricata* (Ruiz & Pav.) (pichi romero), *Guindilia trinervis* (Gillies ex Hook. et Arn.) (guindilla), *Kageneckia angustifolia* (D. Don.) (frangel), *Kageneckia oblonga* (Ruiz & Pav.) (bollén), *Schinus polygamus* ((Cav.) Cabr.) (huigán), *Solanum ligustrinum* (Lood.) (natre) y *Tetraglochin alatum* (Gillies ex Hook. et Arn.) (horizonte). En la Tabla 1, se muestran las especies nombradas anteriormente en conjunto con el nivel de dificultad y el detalle de esta.

En general, las especies estudiadas presentaron un nivel medio a alto de dificultad, siendo un patrón transversal para el éxito de la propagación la disponibilidad de semillas viables en las poblaciones naturales y la incertidumbre de los procesos germinativos, lo cual va de la mano con la calidad de los lotes colectados.

Las especies catalogadas con una baja dificultad de propagación, como es el caso de colliguay y huigán, se explican por una disponibilidad constante de semillas en los períodos reproductivos, baja dificultad de **tratamientos pregerminativos** y un buen porcentaje natural de germinación. Cabe destacar, que estas características corresponden a patrones generales de las especies descritas, puesto que cada población y lote colectado presenta particularidades y calidades distintas que pueden hacer más o menos difícil los procesos de propagación.

**Tabla 1.** Dificultad en la propagación de algunas especies andinas de la zona central de Chile según complejidad.

Nombre científico	Nombre común	Dificultad de propagación	Tipo de complejidad
<i>Colliguaja odorifera</i>	colliguay	Bajo	Disponibilidad de semillas en poblaciones naturales.
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	hierba blanca	Alto	Disponibilidad de semillas viables en las poblaciones naturales; porcentaje de germinación diferencial entre lotes de colecta; labores de vivero (repique); propagación vegetativa dependiente de material colectado en poblaciones naturales.
<i>Ephedra chilensis</i>	pingo-pingo	Medio	Disponibilidad de semillas; propagación vegetativa dependiente de material colectado en poblaciones naturales.
<i>Fabiana imbricata</i>	pichi romero	Alto	Disponibilidad de semillas viables en las poblaciones naturales; porcentaje de germinación diferencial entre lotes de colecta; labores de vivero (repique); propagación vegetativa dependiente de material colectado en poblaciones naturales.
<i>Guindilia trinervis</i>	guindilla	Medio	Disponibilidad de semillas en poblaciones naturales.
<i>Kageneckia angustifolia</i>	frangel	Medio	Disponibilidad de semillas en poblaciones naturales; cuidados en vivero.
<i>Kageneckia oblonga</i>	bollén	Medio	Disponibilidad y calidad de semillas en poblaciones naturales.
<i>Schinus polygamus</i>	huigán	Bajo	N/A
<i>Solanum ligustrinum</i>	natre	Medio	Porcentajes de germinación diferenciales en lotes colectados.
<i>Tetraglochin alatum</i>	horizonte	Medio	Calidad de lote de semilla colectado; porcentaje de germinación diferencial entre lotes.

N/A = no aplica.

## PRINCIPALES DIFICULTADES DE LA PROSPECCIÓN Y COLECTA DE PROPÁGULOS

**MEGASEQUÍA:** Las temporadas de sequía, que año a año repercuten en la flora nativa, tienen mayor relevancia en los climas de condiciones extremas, como son aquellos de tipo andino (Figuerola et al., 2004). En particular, causan modificaciones al crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto se evidencia en la generación de tejido adecuado para la propagación vegetativa, el aborto o baja generación de flores, el no cuaje de frutos o simplemente la nula reproducción.

**DIFERENCIACIÓN DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS:** también se ha observado que, debido a que las especies altoandinas se desenvuelven en ambientes extremos desde el punto de vista climático, el desarrollo de sus etapas como el crecimiento vegetativo, elongación de ramas o procesos reproductivos se genera de forma mucho más lenta y añera comparadas con otras especies de climas o micrositios más favorables, o simplemente no ocurren de forma cíclica anualmente (Mersey et al., 2015).

**HERBIVORÍA:** debido a que en los climas andinos la disponibilidad de alimento para la fauna y microfauna es limitado, existe una gran presión de herbívora sobre las especies que presentan tejidos vegetales o reproductivos (semillas/frutos) palatables, lo cual se ha observado constantemente en las prospecciones realizadas. Ejemplo de esto es el ramoneo a ramas de pingo-pingo, la predación de sus frutos (que poseen un arilo carnoso) o la infestación de las flores y frutos de hierba blanca por insectos. A esto, se debe añadir la reiterada intrusión de ganado, especialmente en la época estival (veranadas).



Ejemplo del estado de las formaciones vegetales de la zona central sometida a la megasequía. Tiltil, enero 2020.

El actual período de megasequía ha moldeado procesos biológicos y, en particular fenológicos de las especies, los que toman gran relevancia durante su etapa reproductiva (Vilhar et al., 2013). La mayoría de las especies, debido a los cortos inviernos, las escasas precipitaciones y el aumento gradual de las temperaturas promedio, sobre todo en verano, han experimentado ausencia de sus procesos naturales de reproducción o, si llegan a realizarlos, mala calidad de propágulos (Roberts et al., 2015). Ejemplo de lo anterior es el caso de colliguay, que es una especie sin complicaciones para su propagación, pero que hace varios años ha mostrado períodos de intermitencia e incertidumbre en sus procesos reproductivos, generando anualmente flores de ambos sexos, pero en muchas ocasiones, no concretando el proceso de formación de fruto o término de la maduración de estos, por lo que la producción de plantas queda al alero de la disponibilidad de sus semillas en las poblaciones naturales.

Por otro lado, existen otras especies que prefieren evitar el excesivo gasto energético que requiere la reproducción, empleando su energía remanente en el manteniendo de sus órganos y tejidos vegetativos activos, saltándose la etapa de generación de propágulos. En situaciones más críticas, como es el caso de las especies hidrófilas (o higrófilas), se ha observado el sacrificio de la totalidad de sus órganos fotosintéticos (hojas, follaje), la desecación irreversible del vástago principal por cavitación e incluso la muerte completa de individuos al no contar con recursos suficientes para su sobrevivencia y posterior regeneración vegetativa.

A continuación, se desarrollan los conceptos más importantes acerca de la investigación realizada en especies leñosas altoandinas, considerando desde los procesos de prospección y colecta de propágulos hasta los resultados obtenidos en los estudios de propagación y producción de plantas.

### 2.1. Prospección y esfuerzos de colecta

Las observaciones realizadas en las actividades de prospección son esenciales para la priorización de recursos y esfuerzos en la etapa de colecta de propágulos. En general, las visitas a campo y las observaciones a los estados fisiológicos y biológicos de las plantas no se contemplan en las actividades de colecta, lo cual conlleva muchas veces a fracasos en la obtención de material para la propagación o inversión de recursos y esfuerzos en vano.

En el caso de las especies altoandinas, el observar y reconocer las posibles plantas semilleras es indispensable, debido a que toda información obtenida llevará a concentrar esfuerzos en aquellos individuos semilleros que pueden ser colectados bajo el principio de "colecta ética o sustentable", o realizar nuevas búsquedas en lugares cercanos o afines en caso de que este principio no sea alcanzado.

Lo anterior, se enmarca en los esfuerzos de obtención de material de propagación que año a año se han realizado en los pisos andinos en donde se desarrolla la operación Los Bronces (Sistema de Transporte de Pulpa (STP) y Laguna Seca; Figuras 1a y 1b), campañas que han resultado inciertas y dependientes de las condiciones del sitio para todas las temporadas de colecta desde el año 2015 a la fecha. Por lo anterior, y según los resultados obtenidos en los primeros años, fue necesario revisar en terreno la presencia de cuencas homólogas en cuanto al tipo de vegetación para poder estudiar si los procesos biológicos eran coincidentes o directamente optar por colectar en sectores más adecuados y con mayor disponibilidad de propágulos.

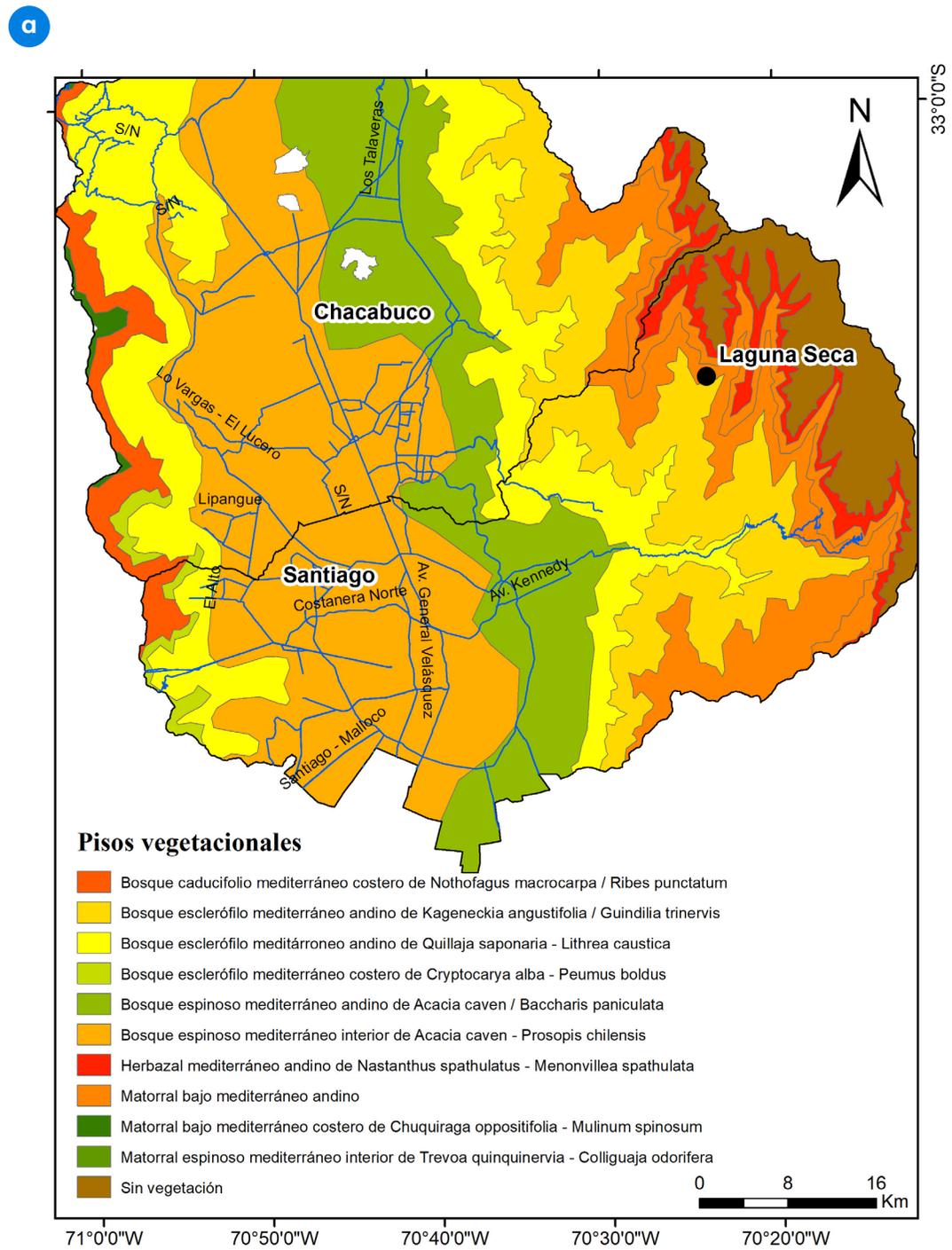


Figura 1. a) Pisos vegetacionales de interés según Luebert y Pliscoff (2006). b) Actividades de prospección en sector del STP hacia Laguna Seca, febrero 2019.



La prospección y posterior colecta de propágulos de especies altoandinas se llevó a cabo siguiendo los procesos reproductivos de las especies (Figura 2), los cuales se concretan principalmente entre los meses de diciembre a marzo. La época reproductiva en especies de la cordillera presenta un desfase fenológico

respecto a los valles, debido a la presencia de nieve que retrasa procesos metabólicos, y la generación de órganos reproductivos, debido a que los órganos vegetativos deben desarrollarse desde cero después del derretimiento de la nieve.



Figura 2. Colecta de propágulos. a) Colecta de semillas de *Chuquiraga oppositifolia* y b) de esquejes de *Fabiana imbricata*.

Las observaciones fenológicas descritas previamente han permitido definir y acotar las visitas a terreno en los meses de interés para la evaluación de las condiciones que definirán la temporada de colecta. En la Figura 3 se muestra el estado reproductivo de algunas de las especies de alta montaña estudiadas.

Durante las campañas de terreno, se han podido definir los periodos de floración, fructificación y estado vegetativo de las especies estudiadas (Tabla 2). No obstante, dichos datos pueden tener cambios entre temporadas debido a la inestabilidad climática actual. Ejemplo de lo anterior fue la extrema sequía



**Figura 3.** Estado reproductivo de algunas especies de los pisos altoandinos. Se puede observar flores y frutos en la mayoría de ellas. STP y Laguna Seca, diciembre 2017. **a)** Floración de *S. ligustrinum*, **b)** Fructificación de *T. alatum*, **c)** Cuaje de frutos de *F. imbricata*, **d)** cuaje de frutos de *C. oppositifolia*, **e)** frutos de *G. trinervis* y **f)** frutos y flores masculinas de *E. chilensis*.

registrada el año 2019, en donde se estimó un déficit de precipitaciones de un 80% y la mayoría de las especies no presentaron su etapa de reproducción sexual. Otro ejemplo de eventos climáticos que inciden en la propagación natural de estas especies es el episodio de lluvias registradas el verano del 2021, en donde las especies altoandinas que estaban en plena floración/fructificación perdieron sus estructuras reproductivas por efecto del lavado de las lluvias y el viento. A pesar de la incertidumbre climatológica y, por ende, fenológica, la recopilación de datos de las temporadas de prospección y colecta es un aporte importante y crucial en la investigación de las especies nativas.

## 2.2. Investigación sobre la propagación de especies

En general, en la bibliografía existe escasa información acerca de esfuerzos en la propagación de las especies altoandinas, entregando sólo nociones generales de metodologías, como son las extensas estratificaciones en otoño o remojo en agua, lo cual no deriva en

resultados exitosos una vez optimizados los protocolos o frente a la implementación de una producción a nivel operacional por temporada.

Desde el año 2016, se han puesto en desarrollo diversos ensayos cuyo objetivo es la prueba de **tratamientos pregerminativos** para la propagación de las especies de interés, el testeo de diversos sustratos o formato de contenedores, exploración de la propagación vegetativa a través de esquejes, entre otros.

Todas estas técnicas han mostrado adecuaciones según la especie y tipo de propágulo ocupado para la producción de plantas.

A continuación, se comparten los resultados obtenidos en el marco de las investigaciones de las especies de interés.

### 2.2.1. Propagación vía sexual

La vía de **propagación sexual** es la manera natural y tradicional, tanto de las especies vegetales como de la viverización, de multiplicar especies vegetales, lo cual

**Tabla 2.** Fenología observada en las poblaciones naturales del estero Colina. Coloración indica estado fenológico de la especie (■ : vegetativo o receso; ■ : en floración; ■ : en fructificación).

Nombre científico	Nombre común	Meses											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
<i>Colliguaja odorifera</i>	colliguay	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	hierba blanca	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Ephedra chilensis</i>	pingo-pingo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Fabiana imbricata</i>	pichi romero	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Guindilla trinervis</i>	guindilla	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Kageneckia angustifolia</i>	frangel	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Kageneckia oblonga</i>	bollén	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Schinus polygamus</i>	huingán	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Solanum ligustrinum</i>	natre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Tetraglochin alatum</i>	horizonte	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

se lleva a cabo a través de semillas y/o frutos. Con ella se recoge la diversidad genética de las especies y las adaptaciones locales de las poblaciones.

Por lo general, las especies de los ecosistemas mediterráneos dispersan sus propágulos en la temporada estival (verano), permaneciendo en el suelo u hojarasca durante todo el invierno a la espera de condiciones idóneas para su germinación (combinación de parámetros de humedad, temperatura, horas frío), lo cual se concreta habitualmente en primavera (Donoso y Cabello, 1978; Donoso, 1981). Las especies altoandinas también responden a patrones similares de respuesta, sin embargo, entre la temporada de dispersión y germinación de los propágulos existe un intervalo climático extremo, como son las condiciones invernales, caracterizado por la caída de nieve y bajas temperaturas (Castor, 2002).

En la mayoría de las especies vegetales, la propagación a través de semillas o frutos es relativamente sencilla, necesitando en muchos casos la realización de **tratamientos pregerminativos** para eliminar la **latencia** que naturalmente muchas semillas experimentan (Quiroz et al., 2001). Los tratamientos pregerminativos más empleados son el remojo en agua (de 24 hasta 72 h), escarificación (eliminación, ruptura o desgaste de la cubierta o pericarpio a través de procesos físicos o químicos), fermentación, estratificación fría o cálida, incorporación de hormonas como el ácido giberélico u otros estimulantes químicos como el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada). La implementación de uno u otro tratamiento, o la combinación entre ellos, depende de la morfología y

fisiología de las semillas/frutos (Acuña, 2001; Varela y Arana, 2011).

Dentro de los procesos más simples, como es el remojo en agua a temperatura ambiente, las especies *C. odorifera*, *G. trinervis* y *S. polygamus* responden de forma exitosa a la imbibición. Con dicha metodología, las especies mostraron porcentajes de germinación entre 30% y 70%, con tiempos de germinación que variaban de una a dos semanas o hasta dos meses aproximadamente.

En aquellas especies en donde el simple remojo en agua no inducía la germinación o los periodos de emergencia de radícula (parte radicular) o plúmula (parte aérea) eran muy extensos (más de seis meses), se optó por el testeo del método de estratificación fría (mezcla de propágulos con arena húmeda y refrigeración a 5 °C). Este proceso ayudó en varias de las especies en donde existía baja o nula germinación, donde dicho golpe frío, debilitó o eliminó la latencia de las semillas. Como ejemplo tenemos las especies *C. oppositifolia*, *E. chilensis*, *K. angustifolia*, *K. oblonga*, *S. ligustrinum* y *T. alatum* (Figura 4).

En general, el tratamiento de estratificación se recomienda realizarlo durante cuatro o más semanas en frío, sin embargo, los ensayos realizados entregaron los mejores resultados de germinación con estratificaciones que no superaban una o dos semanas.

A pesar de obtener mejores resultados con la aplicación de estratificación fría, la especie *C. oppositifolia* continúa presentando bajos porcentajes de germinación, los cuales varían entre 3 y 10%.



**Figura 4. a)** Almacigueras con plántulas de *C. oppositifolia* y **b)** *E. chilensis*. Se puede observar la diferencia de germinación entre ambas especies, en donde la cantidad inicial de semillas fue similar, pero presentaron porcentajes distintos de germinación.

En el caso de *F. imbricata*, se propone que la estratificación fría ayudaría a incrementar los porcentajes de germinación de la especie. Sin embargo, debido al pequeño tamaño de su semilla (0,5 a 1 mm de espesor), se hace complejo el manejo ya que su tamaño es similar con el grosor de la arena, material empleado para la estratificación. En este caso en particular, se está testeando la estratificación natural (o a la intemperie) a través de la siembra directa durante otoño e invierno.

### 2.2.2. Propagación vía asexual o vegetativa

En aquellas especies que presentaron bajos porcentajes de germinación o dificultad de encontrar propágulos en las poblaciones naturales (por ausencia de semillas/frutos o alta predación de éstas), se optó por realizar ensayos de propagación vegetativa.

Dicho tipo de propagación consiste en la multiplicación de individuos a través de la obtención de órganos fotosintéticamente activos de ejemplares sanos desde el punto de vista fitosanitario, con

tejidos idealmente jóvenes (Soto, 2004), donde bajo condiciones de cultivo controladas y la aplicación de enraizantes (productos que estimulan el crecimiento de raíces), se genera un nuevo individuo autónomo y funcional (Botti, 1999).

Las especies en las cuales se realizaron ensayos de propagación y producción de plantas por esquejes fueron *C. oppositifolia*, *E. chilensis* y *F. imbricata*. Las estacas o esquejes se obtuvieron en la temporada de otoño (marzo a mayo), cuidando que el material a propagar no presentara órganos reproductivos como flores o frutos. Se hace hincapié en que la temporada idónea para realizar estaquillado es aquella en donde las especies entran en receso vegetativo, es decir, posterior a su reproducción y antes de la hibernación, debido a que su energía y nutrientes están concentrados en aquellas ramas que soportarán el invierno.

Los ensayos de enraizamiento con estas tres especies se iniciaron el año 2017, testeando tipos de enraizantes comerciales y su efectividad en la formación de callos y/o raíces (Tabla 3).

**Tabla 3.** Resumen de los ensayos de enraizamiento realizados y los porcentajes de enraizamiento alcanzados en las especies seleccionadas. Tratamiento testigo= sin enraizante.

Especie	Año producción	Tratamiento (ppm)	Estacas instaladas	Porcentaje de enraizamiento (%)
<i>Chuquiraga oppositifolia</i>	2017	Testigo	168	0
		Ibaroot 500	168	3
		Ibaroot 1.000	160	20
		Ibaroot 2.000	166	15
		Ibaroot 8.000	168	0
	Keri Root 4.000	116	39	
	2018-2019	Keri Root 4.000	5.628	20
<i>Ephedra chilensis</i>	2017	Testigo	168	0
		Keri Root 4.000	616	47
	Ibaroot 4.000	501	0	
	2018-2019	Keri Root. 4.000	829	3
<i>Fabiana imbricata</i>	2017	Keri Root 4.000	659	37
		Ibaroot 500	48	29
		Ibaroot 1000	47	23
		Ibaroot 2000	48	42
		2018-2019	Keri Root 4.000	756

En los ensayos realizado durante los años 2018 y 2019, se integró el material vegetativo de plantas madre acondicionadas en vivero, con el fin de incorporar a los ensayos tejido juvenil y en mejores condiciones que el obtenido en las poblaciones naturales (Figura 5).



**Figura 5. a)** plantas madre de *F. imbricata*. **b)** montaje de estacas de dichos individuos en almacigueras de plumavit.

En primera instancia, los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas de crecimiento (temperatura y humedad). Sin embargo, el montaje de este ensayo en temporadas posteriores se realizó en condiciones de intemperie, lo cual generó un mayor porcentaje de éxito. Se sugiere que estas condiciones (invernales) imitan de cierta forma las condiciones naturales que las plantas experimentan en su hábitat. Por otra parte, en ensayos se pudo observar que el mejor tratamiento resultó con el enraizante comercial Keri Root™, el cual está compuesto por auxinas (Ácido Naftilacético) y el fungicida Captan.

En promedio, el enraizamiento de esquejes en vivero no superó el 18%, dejando en evidencia la dificultad y heterogeneidad de los procesos de enraizamiento, es decir, reproducción vegetativa en estas especies. A pesar de los bajos porcentajes de enraizamiento, los esquejes enraizados mostraron un sistema radicular muy robusto y con raíces activas (Figura 6).

### 2.3. Desafíos de la propagación de especies y los cuidados culturales en vivero

Como se observó en los ítems anteriores, los éxitos y fracasos dentro de la investigación acerca de la propagación de las especies impidieron generar un protocolo único o estándar para la producción de plantas. Por ello, a pesar de intentar optimizar las

metodologías de propagación temporada a temporada, la biología de las especies y los efectos climáticos sobre ellas generaron resultados heterogéneos.

Dentro de las actividades de vivero, la siembra y repique constituyen etapas críticas para el posterior éxito en la producción de plantas, debido a que la manipulación de las plántulas o esquejes con enraizamiento reciente son muy frágiles. Por ello, la evaluación de métodos menos invasivos de propagación de especies de difícil manipulación y escasa disponibilidad de propágulos viables es un esfuerzo constante. Por ejemplo, el empleo de discos germinadores (Figura 7), siembras directas a contenedores definitivos o uso de almacigueras de menor tamaño e individuales.

La siembra directa a contenedores definitivos es una de las formas más efectivas de propagación, debido a que, una vez sembradas las semillas, las futuras plantas no son intervenidas más que para los cuidados básicos como es el riego o desmalezado. La desventaja de la metodología es la necesidad de contar con gran cantidad espacio para los contenedores, ya que, por la incertidumbre de la germinación de las semillas, se debe de planificar el doble o triple de contenedores para conseguir la cantidad final de plantas requeridas.



**Figura 6.** Ejemplificación del sistema radicular obtenido de estacas de *Chuquiraga oppositifolia*.



**Figura 7.** Ejemplo de resultados de pruebas de germinación en discos germinadores con la especie *F. imbricata*.

## LA EXPERIENCIA EN *Tetraglochin alatum*

La propagación a través de acodo consiste en enterrar órganos vegetativos como son los tallos o ramas de una planta madre (estolones), generando la inducción de raíces adventicias en el tejido. Su ventaja es que se obtienen nuevas plantas de mayor desarrollo en un menor tiempo y no es necesario condiciones controladas, debido a que se realiza a la intemperie. Sus desventajas es que se puede generar un número acotado de nuevos ejemplares por planta madre. Para la especie *Tetraglochin alatum* se descubrió que, a pesar de presentar mediano éxito en su propagación a través de semillas, la propagación a través de acodos resulta mucho más sencilla y exitosa al momento de multiplicar sus individuos.



Plantas de *T. alatum* obtenidas por método de acodos. Las plantas "hijas" contaban con un sistema radicular bien formado y lograron colonizar el sustrato del contenedor en el cual se plantaron.

En el caso de la propagación vegetativa, muchos fueron los aspectos que se descubrieron durante el proceso de investigación. Por un lado, se entendió que las formas de propagación deben adaptarse y esperar los procesos biológicos, fisiológicos y climáticos que inciden en las formaciones vegetales. Por otra parte, se determinó que no sirve cualquier tipo de material vegetativo para propagar y no necesariamente todo tejido joven y sano es exitoso en su enraizamiento. Dependiendo de la especie y su morfología, existen variadas características que deben ser consideradas, tales como el nivel de lignificación del tejido, posición del tejido en el ejemplar (ápice de ramas o ramas basales),

estado fisiológico, posición de la planta en terreno (micrositio), entre otras. Todas estas observaciones ayudan a elegir el material idóneo para la producción de esquejes. Además, al momento de preparar los esquejes para su instalación, es de suma importancia observar el material colectado en terreno, eligiendo secciones entre yemas para la desdiferenciación del tejido (el cual se convertirá en callo y/o raíces), reduciendo la mayor cantidad de tejido que genera evapotranspiración en el esqueje (hojas) y procurando que este no presente lignificación importante, debido a que el tejido más longevo presenta menores oportunidades de desdiferenciarse.

En cuanto a las plantas madre, las cuales facilitan la obtención de esquejes en los viveros, genera una dificultad en la producción de plantas altoandinas: su lento crecimiento no permite la obtención de material vegetativo fresco en todas las temporadas, a menos que se mantenga un gran stock significativo de ellas y se les condicione con podas escalonadas entre temporadas de propagación.

## 3. EXPERIENCIAS DE PLANTACIÓN CON ESPECIES ALTOANDINAS

### 3.1. Antecedentes

En condiciones naturales, las plantas altoandinas conviven agrupadas. Al crecer de esa forma se benefician al protegerse mutuamente de las inclemencias climáticas. En efecto, las altas pendientes aumentan las corrientes convectivas que deshidratan el suelo, pero bajo la densa copa de los arbustos, el efecto de la radiación solar, y del viento se ven modulados (Körner, 2003). Así mismo, Cavieres et al. (2006) identificaron un mayor contenido de humedad y nutrientes del suelo, debajo de plantas en cojín, dado por la acumulación de bio y necromasa, lo que beneficiaría el establecimiento de plántulas de otras especies vegetales, ya que generan un microclima que mitiga las condiciones adversas del medio ambiente circundante. Estas mismas formaciones podrían promover el desarrollo de micorrizas (Casanova-Katny et al., 2011), donde las asociaciones de raíces de hongos formadas o mantenidas por una planta son beneficiosas para otras plantas (Van Der Heijden y Horton, 2009). De hecho, Casanova-Katny et al. (2011) señalan que para plantas andinas nativas, la micorrización podría ser un factor esencial de la facilitación.

En teoría, el reclutamiento en condiciones naturales ocurre utilizando como nodriza algún elemento del terreno que provea las condiciones adecuadas para el desarrollo y protección de las plántulas, como algún intersticio rocoso, o una planta de mayor edad que provea de un microclima propicio (Castro et al., 2004). En ambientes abióticos estresantes, como la alta montaña, es probable que la interacción positiva juegue un papel importante en la estructura y dinámica de las comunidades de plantas altoandinas (Fajardo et al., 2008; Cavieres y Sierra-Almeida, 2012). Estas

interacciones positivas se conocen como facilitación, las que implican que una especie o grupo de especies se benefician de las condiciones (micro) ambientales que son generadas directa o indirectamente por otras plantas vecinas (Callaway, 2007).

Estas asociaciones positivas han sido interpretadas como evidencias de plantas nodrizas, donde algunas especies muestran aglomeraciones extremas dentro o bajo la influencia de una especie protectora (Pugnaire et al., 1996). A nivel comunitario, se puede esperar una mezcla de asociaciones positivas y negativas entre las plantas, probablemente dependiendo del tamaño del micrositio y el tipo de especies involucradas (Tirado y Pugnaire, 2005).

En el ámbito de la revegetación, el factor anodrizamiento se puede recrear mediante el uso de protecciones individuales (*tree shelter*), y al plantar de manera agrupada se espera que una vez establecidas, las plantas logren generar un microclima adecuado para permanecer en el tiempo (Schönenberger, 2001). En el caso de los ambientes altoandinos, donde es habitual que las plantas pasen algunos meses cubiertas de nieve, esta agrupación, además, les provee mejor resistencia mecánica. Una de las alternativas artificiales para promover estas interacciones positivas en zonas con condiciones climáticas severas, es la aplicación de núcleos de restauración, los que consisten en el establecimiento de grupos de especies de plantas leñosas nativas con funciones facilitadoras, de diferentes estadios sucesionales, en los núcleos, distribuidos en el espacio, donde el desarrollo de la especie central es privilegiado por franjas exteriores que actúan como una protección (Corbin y Holl, 2012). Esta técnica es una buena alternativa en el largo plazo, ya que permite diversificar la vegetación y avanzar en el proceso de regeneración natural, considerando que de otra manera las especies tardarían más tiempo en establecerse naturalmente, dado la falta de remanentes de vegetación nativa y a la falta de propágulos y agentes dispersores (Gutiérrez, 2012).

La plantación en núcleos permite, además, optimizar los esfuerzos de mantención, al concentrar los recursos en puntos específicos del terreno (riego, mantención, monitoreos).

En experiencias de plantación anteriores en el sector de Laguna Seca (2.320 m s.n.m.), se determinó que los factores limitantes son la humedad del

suelo y la herbivoría por parte de micromamíferos, componente que no logra ser resuelto con las técnicas actuales de protección de la plantación. El *tree shelter* utilizado corresponde a una protección individual de polipropileno corrugado que una vez instalado adquiere un perfil de planta triangular, y es una de más usadas pues permite la moderación del factor ambiental, bajando la tasa de evaporación del agua desde el suelo y de las plantas al disminuir la radiación solar incidente y el efecto deshidratante del viento, junto con evitar que los mamíferos tengan acceso al follaje. Sin embargo, las experiencias realizadas en lugares con alta presencia de micromamíferos, principalmente roedores, muestra que esta protección no evita la pérdida de plantas, puesto que los animales excavan madrigueras y acceden a las plantas desde abajo, aprovechando tanto la humedad aportada por el riego como la planta en sí. Las características químicas del suelo del sector de Laguna Seca se describen en la Tabla 4.

Cabe destacar que no existe información sobre los rangos óptimos nutricionales, deficitarios o tóxicos

para plantas nativas altoandinas, razón por la cual la interpretación de los resultados, basada en el desempeño productivo de cultivos agrícolas, debe tomarse con precaución. No obstante, destacan los bajos valores de materia orgánica y boro encontrados, así como los altos valores de manganeso, condición que no pareciera afectar el estado nutricional y sanitario de las plantas naturales que viven adaptadas a estas condiciones edáficas. Las características físicas de este sector se presentan en la Tabla 5.

Al igual que lo observado con las propiedades químicas del suelo, no existe referencia de lo que se considera adecuado o no para el crecimiento los ecosistemas naturales con relación a las propiedades físicas del suelo. En general predominan las texturas medias con tendencia y variaciones locales hacia el rango arenoso, pero que en ningún caso alcanzan valores extremos que pudieran afectar el desarrollo de las plantas del lugar. El valor de humedad aprovechable es relativamente bajo, lo que es consecuente con las adaptaciones morfológicas de las especies, las

**Tabla 4.** Propiedades químicas del suelo, sector Laguna Seca (2.320 m s.n.m.). El valor de dispersión corresponde a la desviación estándar de la media (n=3).

Propiedad	Valor		Interpretación agrícola
pH	7,0	± 0,35	Neutro
CE (dS/m)	0,3	± 0,08	Sin Problema- No salino
Materia orgánica	3,4	± 1,37	Bajo
Nitrógeno disponible (mg/kg)	28,0	± 2,65	Medio
Fósforo disponible (mg/kg)	16,3	± 5,13	Medio
Potasio disponible (mg/kg)	116,0	± 55,51	Medio
Calcio intercambiable (meq/100g)	9,6	± 0,74	Adecuado
Ca/CIC (%)	80,0	± 8,54	Dominante
Mg intercambiable (meq/100g)	1,6	± 0,60	Adecuado
Mg/CIC (%)	13,3	± 4,04	Subyugado
Potasio intercambiable (meq/100g)	0,3	± 0,15	Medio
K/CIC (%)	2,4	± 0,78	Subyugado
Sodio	0,1	± 0,05	Bajo
Na/CIC (%)	0,8	± 0,48	Subyugado
Suma de bases (meq/100g)	11,6	± 1,22	-
Cap. intercambio catiónico (CIC, meq/100g)	12,1	± 2,04	Sin toxicidad de aluminio
Hierro (ppm)	24,9	± 10,87	Adecuado
Manganeso (ppm)	20,3	± 5,51	Alto
Zinc (ppm)	2,6	± 0,95	Adecuado
Cobre (ppm)	8,2	± 6,21	Adecuado
Boro (ppm)	0,4	± 0,24	Bajo

**Tabla 5.** Propiedades físicas del suelo, sector Laguna Seca (2.320 m s.n.m.). El valor de dispersión corresponde a la desviación estándar de la media (n=3).

Propiedad	Valor	
Arena (%)	56,7	± 11,590
Limo (%)	22,0	± 6,557
Arcilla (%)	21,3	± 8,083
Clase textural	Franco arcillo arenoso	
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,6	± 0,110
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2,7	± 0,047
Capacidad de campo (% masa)	16,1	± 4,801
Punto de marchitez permanente (% masa)	6,6	± 1,498
Humedad aprovechable (% masa)	9,5	± 3,323
Porosidad total (%)	41,3	± 2,887
Microporosidad (%)	25,3	± 6,351
Macroporosidad (%)	16,0	± 3,464

que convergen hacia hojas pequeñas, presencia de espinas y tallos fotosintéticos. Estas adecuaciones permiten disminuir la superficie expuesta al ambiente, disminuyendo la deshidratación. Los parámetros físicos son similares a otros suelos andinos sujetos a nevazones invernales, que por sus texturas tienen drenajes lentos, lo que favorece la ocurrencia de aluviones cuando las precipitaciones son líquidas.

Se hace necesario señalar que, si bien no se ha estudiado en extenso la ecología andina, la observación de las poblaciones su cobertura, desarrollo y **fenología**, sugiere que el fenómeno de reclutamiento de plantas nuevas debe ocurrir naturalmente cuando existe una combinación de factores como precipitaciones (estacionalidad, intensidad) y temperatura que permiten, por una parte, completar el ciclo reproductivo de las plantas junto con la acción de polinizadores, y por otra, la dispersión y germinación de las semillas. En ese sentido, las estrategias de repoblamiento artificial buscan recrear dichas condiciones mediante la viverización y plantación con plántulas protegidas del factor ambiental, junto con el manejo del agua de riego para permitir el drenaje.

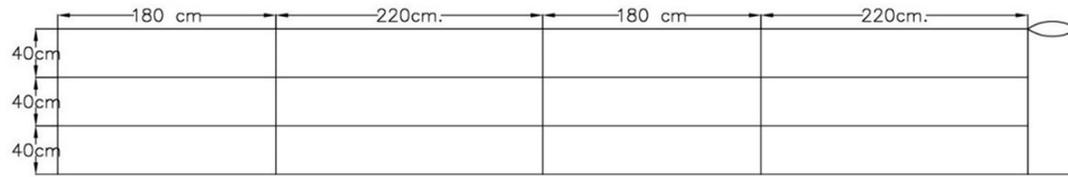
## 3.2. Ejercicio piloto de núcleos modulares replicables

### 3.2.1. Diseño y uso de las protecciones

Con el fin de evitar la pérdida de plantas por los micromamíferos, se diseñó un modelo de protección primaria que rodea la planta por arriba, abajo y por los costados, construida en malla galvanizada de abertura cuadrada, con una luz de 1,27 cm (½ pulgada). Con el fin de evaluar la facilidad de instalación, costos asociados en construcción y desempeño mecánico, se compararon dos diseños para esta protección. El segundo tipo de protección consiste en dos *tree shelter* de polipropileno unidos entre sí para abarcar la protección primaria.

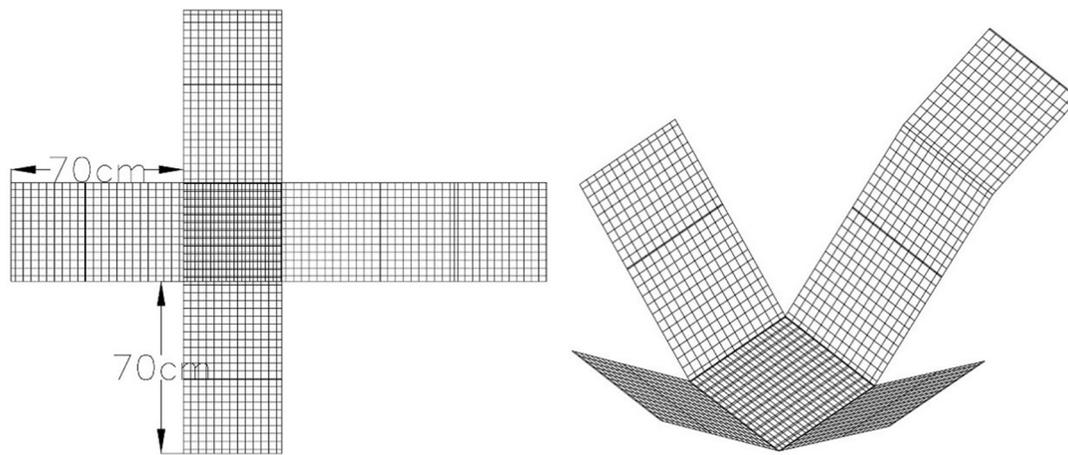
### a) Protecciones tipo cubo

Esta protección resulta útil para plantas pequeñas, puesto que el espacio disponible bajo las dimensiones consideradas es reducido. Considerando un rollo de malla de 1,2 metros de ancho, para su construcción se requieren dos secciones, cada una de dimensiones 40x180 cm y 40x220 cm, siguiendo la Figura 8 como esquema de corte:



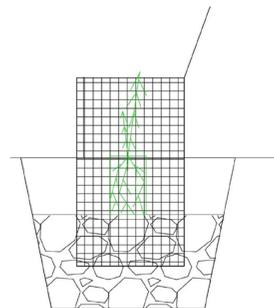
**Figura 8.** Esquema de corte de la malla galvanizada para la construcción de las protecciones cúbicas.

Para su uso, cada hoyo de plantación debe tener dimensiones del orden de 50x50x50 cm, y los pares de secciones de malla ubicarse como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Esquema de montaje para las protecciones cúbicas.

Una vez montados las secciones, se colocan dentro del hoyo, al que previamente se le ha aplicado algo de suelo del lugar, dándole la profundidad necesaria a la ahoyadura dependiendo del alto del contenedor, como se indica en la Figura 10.

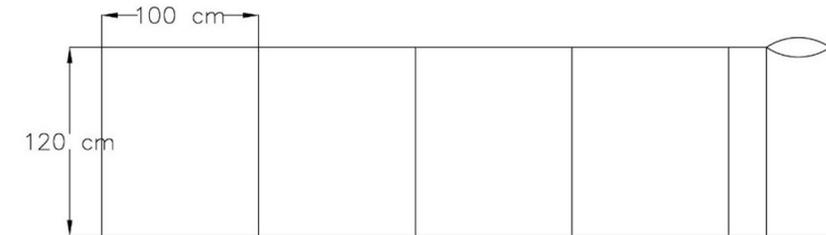


Posteriormente, se rellena con suelo hasta cubrir completamente la ahoyadura, y se dobla el extremo libre de la malla para formar una estructura cúbica cerrada. El extremo libre debe quedar asegurado con alambre para evitar que los animales puedan ingresar por la parte superior.

**Figura 10.** Esquema de instalación de la protección cúbica.

### b) Protecciones tipo cilindro

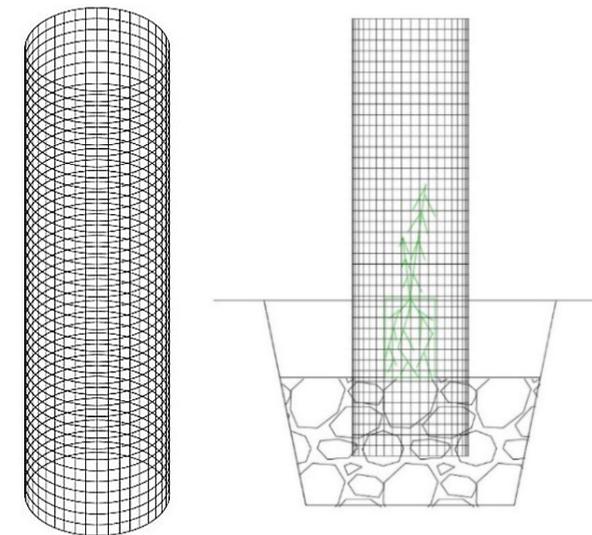
En este caso, el esquema de corte de la malla considera secciones de 1 metro de ancho por el alto de malla (1,2 m), como se aprecia en la Figura 11.



**Figura 11.** Esquema de corte de la malla galvanizada para las protecciones tipo cilindro.

Al cortar la malla en esas dimensiones, se permite construir un cilindro de 30 cm de diámetro (Figura 12a), lo que es suficiente para proteger una planta durante los primeros años de crecimiento. Para que mantenga su forma cilíndrica, la malla debe asegurarse con alambre en al menos tres puntos (arriba, centro y abajo). Para el correcto funcionamiento de este cilindro, se consideró además una sección cuadrada de la misma reja en dimensiones 30x30 cm, la que debe ser colocada como base del cilindro, con el propósito de evitar el acceso de roedores desde el fondo. Para la instalación de esta

protección, se realiza la ahoyadura en dimensiones 50x50x50 cm y se rellena una parte del hoyo con suelo hasta una profundidad de 20 cm. Se coloca la sección cuadrada de la protección en el fondo, se deposita la planta sobre ella y posteriormente se coloca el cilindro, para seguir relleno con suelo (Figura 12b). Para evitar que los roedores ingresen a la protección trepando, la parte superior se debe deformar manualmente el cilindro de manera de unan las dos superficies resultantes y posteriormente la junta se asegura con alambre.



**Figura 12. a)** Esquema de la protección tipo cilindro terminada; **b)** Esquema de la protección tipo cilindro instalada junto con la planta.

### 3.2.2 Plantación de los núcleos

Se probaron dos esquemas de plantación: a) núcleo con protección individual y tres casillas, donde se usaron las protecciones indicadas en el punto anterior y b) núcleo protegido en pleno con 10 casillas.

#### a) Núcleo con protección individual y 3 casillas

En este caso, se consideró un núcleo con tres casillas, y dentro de cada una de ellas se plantaron tres ejemplares de dos especies, *Ephedra chilensis* y

*Fabiana imbricata* en distintas proporciones. Debido a la altura de las plantas y considerando el volumen de sustrato de ellas, sólo se probaron las protecciones cilíndricas (Figura 13a y 13b). Luego de la instalación de las mallas, en el caso de las protecciones cilíndricas, y con el propósito de controlar las condiciones de viento y temperatura, se colocó un *tree shelter* alrededor del cilindro de malla y se relleno la cavidad con el suelo sobrante de la ahoyadura (Figura 13c y 13d).



**Figura 13.** a) Ahoyadura nivelada con la sección de fondo de la protección cilíndrica y las plantas colocadas sobre ella; b) detalle de la ubicación de las plantas sobre la base de la protección; c) instalación de protección primaria metálica alrededor de las plantas en la casilla y el *tree shelter* a la derecha armado y listo para su instalación; d) núcleo terminado con los *tree shelter* rodeando la protección primaria, la que ha sido cerrada en el extremo superior aplastando el borde.

#### b) Núcleo protegido en pleno

Con el objetivo de evaluar el rendimiento de las cuadrillas en terreno, se consideró crear un núcleo cuya protección primaria metálica no es individual para cada casilla, sino que rodea a todo el núcleo de plantación. En este caso, se procedió a realizar una ahoyadura de 1x2,5 m, a una profundidad de 30 cm. En las cuatro esquinas se instalaron polines de madera de 3", para sujetar la estructura completa. Al interior de ésta, en la parte inferior, se colocó una sección de malla metálica de abertura cuadrada de 1/2 pulgada de luz, de una longitud de 4,5 m de largo, para que sobrepasara en ambos sentidos 1 m hacia arriba por los lados angostos de la excavación (Figura 14a). En las secciones más largas de la excavación, también se instaló malla,

dejando un lado abierto para acceder al interior. Se relleno con suelo mullido hasta una altura de 10 cm y se procedió a colocar tres plantas por cada casilla, junto con el *tree shelter* armado en cilindro (Figura 14b). Una vez ubicada las plantas al interior, se procedió a nivelar el suelo con el resto del suelo extraído en la ahoyadura, dejando un desnivel de 5 cm de profundidad con respecto a la superficie del suelo natural para facilitar las labores de riego. Posteriormente, se ancló la malla a los polines, y se instaló una sección adicional de malla en la parte superior (techo), para evitar el ingreso de roedores que puedan trepar. Para evitar el daño por el peso de la nieve, se colocaron tensores de alambre y tutores de colihue verticales para distribuir el peso de la estructura afirmando la porción superior de malla (Figura 14c).



**Figura 14.** a) Excavación del núcleo e instalación de la malla al fondo. La sección de malla instalada al fondo sobresale hacia arriba 1 metro para facilidad de cierre perimetral; b) distribución de las plantas en las casillas e instalación del *tree shelter* para cada una; c) núcleo protegido en pleno nivelado y terminado.

### 3.3. Consideraciones para las plantaciones con especies altoandinas

Tanto el núcleo protegido en pleno, como las casillas individuales protegidas con cierre de malla metálica galvanizada evitaron que la fauna tuviera acceso a las plantas, que en pruebas anteriores habían sido completamente eliminadas por roedores nativos.

Con respecto a la escala operacional requerida para la implementación de ambos métodos, es evidente que los núcleos con protección individual de casillas son más rápidos de ejecutar, con menor uso de materiales y presentan una mayor robustez estructural, lo que permite soportar las nevazones sin apoyo de una estructura externa de protección. Sin embargo, debido a las particulares características de los suelos andinos del sector, se debe asegurar que las casillas cuenten con captadores de agua, lo que se logra dejando un desnivel o taza de riego de unos 5 cm de profundidad al momento de la plantación, para evitar que el agua

escurra fuera del núcleo al momento del riego estival o las lluvias.

El núcleo protegido en pleno con casillas agrupadas presenta una ventaja desde el punto de vista de la gestión de la plantación. Si se considera al núcleo como una unidad de manejo replicable, el hecho de concentrar una mayor cantidad de casillas implica una mayor cantidad de plantas que pueden ser mantenidas en una unidad reducida de superficie. Además, como las casillas quedan bajo el nivel del terreno, permite optimizar y hacer más eficiente el riego. Este tipo de obra podría incluir una cantidad tal de plantas que permita mantener las proporciones comprometidas en los planes de compensación, y así, poder replicarse en los claros del lugar la cantidad de veces necesaria hasta dar cumplimiento al requerimiento de revegetación. Por otra parte, la agrupación de casillas en un gran núcleo facilitaría el monitoreo al considerar cada núcleo una parcela de muestreo.



PROPAGACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES EN BOSQUES DE MONTAÑA CON FINES DE RESTAURACIÓN

## 4. CONCLUSIÓN

Si bien es cierto que existe una falta de antecedentes relativos a la ecología reproductiva de las plantas altoandinas, y a las mejores prácticas para su propagación, se ha avanzado suficiente como para entender que **los ambientes de montaña son muy susceptibles a las nuevas condiciones climáticas imperantes**. Sin embargo, gracias a las sucesivas campañas de prospección y colecta para las especies descritas **se han logrado identificar los patrones fenológicos y su interacción con el ambiente**, lo que constituye un primer paso para entender los procesos de repoblamiento.

En línea con lo anterior, resulta evidente que existen dificultades para describir los mejores métodos para la propagación masiva de las especies altoandinas, puesto que, para algunas especies, el principal problema radica en la dificultad para acceder a semillas viables. Aun así, después de varios ensayos, se puede concluir que **algunas semillas requieren períodos variables de estratificación fría y/o remojo para acortar los períodos de germinación, es decir, las poblaciones naturales producen semillas viables, pero en una proporción muy baja en relación con la cantidad total de semillas**.

Con respecto a la producción de plantas, se han ido afinando los protocolos de propagación, incorporando tecnologías, sustratos e infraestructura para aumentar las probabilidades de éxito. De los ensayos realizados, se desprende que **el principal problema resulta de la manipulación de las plántulas en los almácigos al momento del repique**, por lo que no se recomiendan las

estrategias habituales de producción. En ese sentido, **los mejores resultados se han obtenido al usar sistemas de cultivo con menor manipulación del sistema radicular**.

En cuanto a **la repoblación artificial de los ambientes altoandinos, las principales dificultades tienen que ver con las variables climáticas y con la presencia de roedores**. La técnica de plantación en núcleos protegidos con malla metálica y *tree shelter* ha dado los mejores resultados, puesto que permite disminuir la herbivoría y la deshidratación por calor y viento. El esquema agrupado en núcleos permite constituir unidades de gestión de la plantación en micrositios más aptos, concentrando los esfuerzos de plantación, riego y mantención.

## REFERENCIAS

Acuña, M. (2001). *Formulación de un protocolo de trabajo para el análisis de semillas de especies leñosas nativas* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Bannister, J. R., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J. F., Acevedo, M., Fuentes-Ramírez, A., Donoso, P. J., Promis A., y Smith-Ramírez, C. (2018). Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology*, 26(6), 1039-1044.

Botti, C. (1999). Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. En Facultad de ciencias Agronómicas Universidad de Chile. *Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas* (pp. 72-82).

Callaway, R. (2007). *Positive interactions and interdependence in plant communities*. Springer Science & Business Media. U.S.A.

Casanova-Katny, M., Torres-Mellado, G., Palfner, G., y Cavieres, L. (2011). The best for the guest: high Andean nurse cushions of *Azorella madreporica* enhance arbuscular mycorrhizal status in associated plant species. *Mycorrhiza*, 21(7), 613-622.

Castor, C. (2002). Patrones, procesos y mecanismos de dispersión secundaria en plantas andinas de Chile Central (Tesis de doctorado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., y Gómez-Aparicio, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: A 4-year study. *Restoration Ecology*, 12, 352-358.

Cavieres, L., y Sierra-Almeida, A. (2012). Facilitative interactions do not wane with warming at high elevations in the Andes. *Oecologia*, 170(2), 575-584.

Cavieres, L., Badano, E., Sierra-Almeida, A., Gómez-González, S., y Molina-Montenegro, M. (2006). Positive interactions between alpine plant species and the nurse cushion plant *Laretia acaulis* do not increase with elevation in the Andes of central Chile. *New Phytologist*, 169(1), 59-69.

Corbin, J., y Holl, K. (2012). Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265, 37-46.

De la Fuente, L. M., León-Lobos, P., y Ginocchio, R. (2011). *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile guía N°5: Propagación de especies vegetales nativas y endémicas*. Innova Chile CORFO. Santiago, Chile.

Donoso, C. (1981). *Investigación y desarrollo forestal, Tipos forestales de los bosques nativos de Chile*. Investigación y desarrollo forestal, Documento de trabajo No 38. Santiago, Chile.

Donoso, C. (2013). *Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina: autoecología* (2da ed.). Marisa Cuneo ediciones. Valdivia, Chile.

Donoso, C., y Cabello, A. (1978). Antecedentes fenológicos y de germinación de especies leñosas chilenas. *Ciencias Forestales*, 1(2), 31-41.

Fajardo, A., Quiroz, C., y Cavieres, L. (2008). Spatial patterns in cushion-dominated plant communities of the high Andes of central Chile: How frequent are positive associations? *Journal of Vegetation Science*, 19(1), 87-96.

Figuerola, J. A., León-Lobos, P., Cavieres, L. A., Pritchard, H., y Way, M. (2004). Ecofisiología de semillas en ambientes contrastantes de Chile: un gradiente desde ecosistemas desérticos a templados-húmedos. En H. C. Marino (Ed.), *Fisiología ecológica en plantas. Mecanismos y respuesta a estrés en los ecosistemas* (pp. 81-98). Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

Gutiérrez, N. (2012). *Estado de la vegetación en núcleos de restauración utilizados para el restablecimiento del bosque altoandino del Parque Forestal Embalse del Neusa, Cundinamarca, Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Jordan, M., Prehn, D., Gebeau, M., Neumann, J., Margot Parada, G., Velozo, J., y San Martín, R. (2010). Adventitious root initiation in adult and juvenile cuttings of *Guindilla trinervis*, an endemic plant of Chile suitable for biodiesel production. *Bosque*, 3(3), 195-201. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173118018003>

Körner, C. (2000). The alpine life zone under global change. *Gayana Botanica*, 57(1).

Körner, C. (2003). *Alpine Plant Life* (2da ed.). Springer. Berlín, Alemania.

Luebert, F., y Pliscoff, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial Universitaria.

Mersey, L., Reinoso, F., y Riquelme, F. (2015). Experiencias de propagación y cultivo de especies de plantas andinas de ambientes zonales y azonales de la Región de Antofagasta (II). *Chloris Chilensis* 18(1). <http://www.chlorischile.cl/sapunta-mersey/sapunta-final%20.htm>.

Peñaloza, A., Cavieres, L. A., Arroyo, M. T. K., y Torres, C. (2001). Efecto nodriza intra-específico de *Kageneckia angustifolia* D. Don (Rosaceae) sobre la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas en el bosque esclerófilo montano de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74, 539-548. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2001000300005>

Pugnaire, F., Haase, P., Puigdefábregas, J., Cueto, M., Clark, S. C., y Incoll, L. (1996). Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain. *Oikos*, 76(3), 455-464.

Quiroz, I., Flores, L., Pincheira, M., y Villarroel, A. (2001). *Manual de viverización y plantación de especies nativas*. INFOR. Valdivia, Chile.

Roberts, A. M., Tansey, C., Smithers, R. J., y Phillimore, A. B. (2015). Predicting a change in the order of spring phenology in temperate forests. *Global Change Biology*, 21(7), 2603-2611. <https://doi.org/10.1111/gcb.12896>.

Rojas, N. (2019). *Efectos de la temperatura y del ácido naftalenacético sobre la formación de raíces adventicias en estacas de Chuquiraga oppositifolia D. Don*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Chile.

Smith-Ramírez, C., González, M. E., Echeverría, C., y Lara, A. (2015). *Estado actual de la restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos*. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 43(1), 11-21.

Schönenberger, W. (2001). Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures-a review. *Forest Ecology and Management*, 145(1-2), 121-128.

Soto, P. (2004). *Reproducción vegetativa por estacas en Amomyrtus luma (Luma), Amomyrtus meli (Meli) y Luma apiculata (Arrayán) mediante el uso de plantas madres jóvenes y adultas* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Spehn, E., Berge, E., Bugmann, H., Groombridge, B., Hamilton, L., Hofer, T., Ives, J., Jodha, N., Messerli, B., Pratt, J., Price, M., Reasoner, M., Rodgers, A., Thonell, J., y Yoshino, M. (2005). Chapter 24: Mountain Systems. En R. Hassan, R. Scholes, y N. Ash (Eds.), *Ecosystems and human well-being: current state and trends* (Vol. 1) (pp. 681-716). Millennium Ecosystem Assessment. Island Press.

Tirado, R., y Pugnaire, F. (2005). Community structure and positive interactions in constraining environments. *Oikos*, 111(3), 437-444.

Van Der Heijden, M., y Horton, T. (2009). Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 97(6), 1139-1150.

Varela, S. A., y Arana, V. (2011). *Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos*. Serie técnica "Sistemas Forestales integrados". INTA. Argentina.

Vilhar, U., Beuker, E., Mizunuma, T., Skudnik, M., Lebourgeois, F., Soudani, K., y Wilkinson, M. (2013). Tree phenology. *Developments in Environmental Science Elsevier*, 12, 169-182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098222-9.00009-1>

## GLOSARIO

**Plantas altoandinas:** se refiere a las especies vegetales que crecen naturalmente en condiciones de altitud topográfica. La altitud es variable dependiendo de la latitud, pero se refiere a aquellas poblaciones vegetales que están por sobre el límite de presencia de especies arbóreas, con precipitaciones principalmente del tipo nival.

**Fenología:** es el estudio de las fases del ciclo de vida de las especies, y su interacción con el medio ambiente. En el caso de las plantas, se refiere a las fechas de crecimiento, floración, fructificación, dispersión de semillas y receso vegetativo.

**Propagación sexual:** se refiere a la propagación de una especie vegetal por medio de semillas.

**Latencia:** es un mecanismo de protección de la semilla para evitar germinar en una condición que no le es favorable. Las del tipo endógena se refieren a las condiciones ambientales precisas que favorecen la germinación de un embrión que se encuentra inmaduro. Las del tipo física generalmente tienen que ver con mecanismos de impermeabilidad de la semilla para evitar la deshidratación, por lo que no existe intercambio de gases y agua y la semilla no puede germinar.

**Tratamiento pregerminativo:** tiene relación con identificar el tipo de latencia presente en la semilla y aplicar el tratamiento correspondiente para que la semilla pueda germinar.