



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Región del Biobío

PROTOCOLO 1

COLECTA Y CONSERVACIÓN DE SEMILLAS

Septiembre, 2022



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
1. ABASTECIMIENTO DE SEMILLAS	5
1.1 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS	6
COMPRAR O RECOLECTAR	6
CONSIDERACIONES GENÉTICAS Y ECOLÓGICAS PARA RECOLECTAR SEMILLAS CON FINES DE RESTAURACIÓN	7
• El dilema de las fuentes semilleras locales	
• Mantener la capacidad de adaptación	
• Mantener la diversidad genética	
• Pensar en el cambio climático	
CONSIDERACIONES GENERALES PARA RECOLECTAR SEMILLAS	13
• Fuente semillera	
• Madurez de la semilla y oportunidad de recolección	
• Sanidad de las semillas	
• Otras consideraciones generales	
CONSIDERACIONES PARA RECOLECTAR SEMILLAS EN REGIÓN DEL BIOBÍO	18
1.2 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECTAR SEMILLAS	24
MÉTODOS PARA RECOLECTAR SEMILLAS	24
• Recolección desde el suelo	
• Lonas bajo la copa	
• Colecta desde árboles caídos o volteados	
• Tropa y escalamiento de árboles	
PROTOCOLO PARA RECOLECTAR SEMILLAS CON FINES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	29
Etapa de pre-colecta	
• Definir especies	
• Seleccionar fuente semillera	
• Proveerse de los materiales de recolección	
• Conformar cuadrillas de colecta	
• Obtener permisos de colecta	
Etapa de colecta	
• Definir momento de recolección	
• Seleccionar los árboles a colectar	
• Proceso de recolección propiamente tal	
• Aspectos de seguridad durante la recolección	
• Identificación del material recolectado	
• Transporte a centro de procesamiento	
2. ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS	35
2.1 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS	36



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



SEMILLAS ORTODOXAS Y RECALCITRANTES	36
CONSIDERACIONES GENERALES PARA ALMACENAR SEMILLAS	38
<ul style="list-style-type: none"> • Control del oxígeno • Control del contenido de humedad • Control de la temperatura • Otras consideraciones 	
2.2 PROCEDIMIENTOS PARA ALMACENAR SEMILLAS	40
MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS	40
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y contenido de humedad ambiente • En seco con control de contenido de humedad pero no de temperatura • En seco con control de contenido de humedad y temperatura • En húmedo sin control de contenido de humedad ni de temperatura • Frío húmedo con control de temperatura 	
PROTOCOLO DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS ORTODOXAS	42
Etapa de procesamiento post-colecta	
<ul style="list-style-type: none"> • Extracción de semillas • Limpieza de semillas 	
Etapa de Análisis de las semillas	
<ul style="list-style-type: none"> • Pureza • Número de semillas por Kg • Contenido de humedad • Viabilidad • Germinación 	
Etapa de almacenamiento propiamente tal	
<ul style="list-style-type: none"> • Secado • Selección de contenedores • Condiciones de almacenamiento • Registro y documentación de las semillas almacenadas 	
CONCLUSIONES	61
REFERENCIAS	62
ANEXO:	65
Zonas de procedencia para especies nativas en la región del Biobío	



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



INTRODUCCIÓN

La crisis global, y particularmente el cambio climático, generan un gran desafío para la conservación y el uso sustentable de los bosques. En respuesta a este reto, países de todo el mundo se han comprometido a restaurar millones de hectáreas de tierras degradadas. El cumplimiento de una parte importante de estos compromisos se logrará mediante la plantación activa de árboles, lo que requiere, entre otras cosas, que haya suficiente cantidad de semillas disponible (Bannister *et al.*, 2018; León-Lobos *et al.*, 2020). Pero no solo es necesaria la disponibilidad de semillas, sino que, en forma aún más relevante, que tales semillas sean de la calidad e idoneidad requerida para efectos de restauración.

Para efectos de prácticas de restauración ecológica, la idoneidad de las semillas, más que respecto al calibre, pureza, germinación, viabilidad, etc., se refiere al **origen y diversidad genética de sus fuentes y de los lotes que desde allí se obtienen** (Gutiérrez, 2021). Estos elementos son determinantes para la adaptación de las plantas al sitio de restauración; y no solo para la adaptación a las condiciones actuales, sino que también para conservar el potencial evolutivo y ofrecer así un amplio espectro de variabilidad genética para seguir adaptándose a las cambiantes condiciones futuras. Si la restauración busca asegurar el establecimiento y la perpetuación natural de las masas implantadas, rehabilitar los procesos ecológicos autógenos que permiten a las poblaciones reorganizarse por sí mismas y formar comunidades funcionales resilientes y adaptables a las condiciones cambiantes, entonces, el origen y la diversidad genética de los materiales implantados es un aspecto crucial.

El uso de semilla de origen adecuado permite que los árboles plantados proporcionen los servicios ecosistémicos deseados y contengan la diversidad genética necesaria para permanecer en el futuro (Atkinson *et al.*, 2021). En el mismo sentido, la apropiada calidad genética del material reproductivo forestal para plantación cumple con tres funciones principales: (i) garantizar la adaptación a las condiciones ambientales actuales y futuras de un sitio de plantación determinado; (ii) promover la viabilidad y la resiliencia a largo plazo de los bosques restaurados; y (iii) favorecer la base genética de características deseables.

Consecuentemente, la consideración principal y más relevante que debe respetarse en la viverización de plantas con fines de restauración ecológica, es el abastecimiento de semillas o materiales de propagación adecuados, cuyo origen garantice la adaptación al sitio de restauración y que incluya una diversidad genética que permita mantener su potencial evolutivo. Estos aspectos deben ser considerados en la totalidad del proceso y particularmente en el abastecimiento de semillas y viverización de las plantas que serán objeto de establecimiento en el marco de proyectos o programas de restauración ecológica. Por el contrario, pasar por alto estas consideraciones ha sido la causa del fracaso de muchas iniciativas de restauración en el mundo (Bozzano *et al.*, 2014; Ipinza, 2021; Ipinza y Gutiérrez, 2014; Thomas *et al.*, 2014).

En el contexto descrito, el presente protocolo de colecta y conservación de semillas es un documento destinado a orientar la realización de estas labores y fundamentalmente a destacar consideraciones complementarias, principalmente en el ámbito genético, que resultan relevantes para contribuir al éxito de las iniciativas de restauración ecológica. El protocolo se enmarca en la iniciativa de *Fortalecimiento de las Capacidades para el Abastecimiento de Semillas y Producción de Plantas Nativas* contemplada en el proyecto *+Bosques, Juntos contra el cambio climático*.



1. ABASTECIMIENTO DE SEMILLAS



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



1. ABASTECIMIENTO DE SEMILLAS

1.1 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS

COMPRAR O RECOLECTAR

Para asegurar la disponibilidad de semillas de fuentes adecuadas para producir plantas, destinadas a iniciativas de restauración ecológica, se requiere una detallada y precisa planificación previa, que garantice que se dispondrá del material suficiente en el momento que se necesite. Particularmente, en el caso de especies cuya semillación es añera¹, como suele ocurrir con los *Nothofagus* y otras, la pérdida de una temporada de cosecha puede retrasar en varios años la obtención de las plantas requeridas para restaurar.

Una vez que se han determinado las especies, procedencias y cantidades de semilla requeridas para un proyecto de restauración ecológica específico, debe procederse al abastecimiento propiamente tal de esas semillas. En teoría hay dos opciones para lograrlo, pero en la práctica una de ellas suele resultar inapropiada; en efecto, las semillas podrían adquirirse en el mercado, pero lo más común es que no exista disponibilidad de material de los orígenes que se requiere, o no exista garantía de que las semillas efectivamente correspondan al origen que se precisa. La segunda opción es gestionar el abastecimiento directamente, ya sea encargándolo con antelación a proveedores formales de confianza, o implementando directamente las campañas de colecta en los lugares requeridos.

Así, una de las decisiones iniciales será seleccionar el método de abastecimiento y discriminar la conveniencia de adquirir las semillas en el mercado, o programar la obtención de las mismas mediante recolección. Para enfrentar tal decisión, debe tenerse siempre presente que en las iniciativas de restauración ecológica se ha de velar por seleccionar un germoplasma idóneo y genéticamente diverso para cada sitio de plantación: (i) debe estar bien adaptado a las condiciones (presentes y proyectadas) del sitio de plantación para asegurar su adecuación al mismo; y ii) ser suficientemente diverso desde el punto de vista genético para evitar los efectos adversos de la endogamia, proporcionar variantes genéticas en número adecuado para la selección natural y reforzar la resistencia de las poblaciones a los factores de estrés agudo y crónico, tales como plagas y enfermedades, además de las sequías y otros efectos del progresivo cambio climático (Ipinza y Gutiérrez, 2014; Thomas *et al.*, 2014; 2015). De no ser así, la restauración podría estar destinada al fracaso, aunque esto solo llegue a ser perceptible mucho después de iniciada la actividad, o a raíz del advenimiento de fenómenos ambientales excepcionales (Bozzano *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2014; 2015).

Por lo mismo, al planificar la obtención de semillas para programas de restauración ecológica, debe tenerse en cuenta la procedencia de las semillas, con datos tanto de la ubicación geográfica como de altitud (Pastorino *et al.*, 2015). Sin embargo, esta sencilla consideración no resulta un aspecto trivial fácil de constatar, particularmente en un mercado de plantas y semillas forestales como el chileno, que se caracteriza por un importante nivel de informalidad y donde no existen regulaciones oficiales que certifiquen el origen y calidad de los materiales de propagación (Quiroz y Gutiérrez, 2010; Quiroz *et al.*, 2012). En efecto, considerando el origen incierto, no trazable ni oficialmente acreditado, la disponibilidad de plantas apropiadas para restauración ecológica en el mercado surge como uno de los principales cuellos de botella para materializar las actividades de plantación comprendidas en las iniciativas de

¹ Una especie de semillación añera es aquella que presenta ciclos de un determinado número de años, en los cuales uno de ellos es de abundante producción de semillas y los restantes de producción escasa.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



restauración, y como un importante obstáculo para cumplir los compromisos y metas suscritas por el país en esta materia. Este problema es reconocido por diversos autores, quienes señalan la necesidad de mejorar la calidad, incrementar la diversidad de especies e incrementar la limitada oferta actual de plantas apropiadas para restauración (Bannister *et al.*, 2018; León-Lobos *et al.*, 2020).

En este escenario, pretender satisfacer en el mercado la necesidad de semillas para una iniciativa específica de restauración ecológica conlleva un alto grado de incertidumbre respecto al origen de las mismas; y en gran medida implica hacer un acto de fe y confiar en el origen declarado por el proveedor. En esta situación solo la confianza del comprador, inspirada en el prestigio del proveedor y experiencias previas de compra, serán los criterios para aceptar adquirir semillas a un proveedor determinado. Por lo mismo, para eliminar esta importante incertidumbre y tener certeza absoluta del origen de las plantas y de la calidad (diversidad genética) de la fuente semillera, resulta aconsejable que la producción de plantas, o al menos el abastecimiento de semillas para esa producción, sea abordada como gestión directa por la propia iniciativa de restauración. Esta debería gestionar directamente la obtención de las semillas desde las fuentes idóneas, o alternativamente, contratar la colecta a terceros bajo su supervisión, haciéndoles exigibles las mismas consideraciones a tener en cuenta en la gestión directa de recolección de semillas para restauración ecológica.

En los apartados siguientes se describen las consideraciones que deben respetarse en la colecta de semillas para su uso en restauración ecológica. Estas debieran ser observadas por cualquier instancia que sea la encargada de recolectar las semillas, ya sea la propia iniciativa de restauración, un recolector delegado o cualquier proveedor de semillas.

CONSIDERACIONES GENÉTICAS Y ECOLÓGICAS PARA RECOLECTAR SEMILLAS CON FINES DE RESTAURACIÓN

Durante las labores de recolección de semillas, ya sea para fines de restauración ecológica, o para cualquier otro efecto, debe evitarse extraer la totalidad o una alta proporción de las semillas existentes. Lo anterior para no comprometer la conservación de las poblaciones y para permitir que se sigan cumpliendo otras funciones ecológicas asociadas a la existencia de semillas en el ecosistema.

De acuerdo con León Lobos *et al.* (2014) y Bacchetta *et al.* (2008), la extracción de semillas no debe superar el 20% de las semillas viables disponibles en la población en el momento de la recolección, de esta forma quedan suficientes semillas para la regeneración de la población y así no alterar su dinámica natural, ni comprometer la situación de otros organismos que hacen uso de esa semilla con distintos fines. Esto puede resultar extremadamente importante en caso de especies amenazadas o en peligro, donde la extracción indiscriminada de semillas podría constituirse en una fuerte amenaza que comprometa la supervivencia futura de la población. Sin embargo, en casos excepcionales donde la recolección de semillas es utilizada como una medida de "rescate" de poblaciones, o de parte de poblaciones, que serán eliminadas o destruidas, la recolección podrá abarcar la mayor cantidad de semillas posible, provenientes de los individuos que serán eliminados.

Además de las consideraciones ecológicas básicas, cuando se colectan semillas para satisfacer las necesidades de plantas de alguna iniciativa de restauración, existe una serie de otras consideraciones de carácter genético que deben ser tenidas en cuenta, y que son relevantes para el éxito de la iniciativa de restauración propuesta.

Las tasas de éxito de la restauración forestal basada en la plantación de árboles han sido irregulares, en parte debido a la falta de atención a la fuente del material de plantación. Según Thomas *et al.* (2014), el



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



establecimiento exitoso de un bosque restaurado autosustentable, depende del uso de fuentes de material de plantación que ya esté adaptado a las condiciones de los sitios de plantación, y que tenga suficiente diversidad genética para seguir respondiendo a las condiciones cambiantes.

Los enfoques de restauración ecológica que implican el establecimiento de plantas, y que están destinados a restaurar los servicios de los ecosistemas, así como los beneficios de los medios de vida, tienen un horizonte de tiempo más largo que las plantaciones forestales comerciales. Para asegurar el potencial de adaptación en las generaciones futuras, la diversidad genética es esencial. Incluso, se sugiere que el uso de mezclas de semillas de diferentes fuentes (procedencias) es apropiado para maximizar el potencial adaptativo, aunque también se reconoce la posibilidad de promover depresión por exogamia (Breed *et al.*, 2013, cit por Loo, 2016). En efecto, una elección errónea puede llevar a procesos de mala adaptación que depriman el vigor de los individuos implantados y hasta comprometan su supervivencia (McKay *et al.*, 2005). Por otro lado, puede verificarse un efecto perjudicial no sólo en la masa implantada, sino también en las pre-existentes. Si las plantaciones se llevan a cabo en sitios en los que aún se encuentra a la misma especie vegetando en forma natural, el uso de un acervo genético de otra región genera el riesgo de “contaminación genética” (Bischoff *et al.*, 2010 cit por Pastorino *et al.*, 2015), o sea la introgresión de genes “exóticos” (no locales) en las masas espontáneas. Este proceso puede darse tanto por medio de la polinización libre como por la dispersión natural de semillas, y su efecto se torna irreversible, pudiendo conducir a la pérdida irrecuperable del acervo genético local.

El Dilema de las Fuentes Semilleras “Locales”

Un programa de restauración ecológica implica seleccionar, además de las especies clave, los acervos genéticos a utilizar para la producción de las plantas que serán llevadas al sitio a restaurar. Al elegir las fuentes semilleras, a partir de las cuales se iniciará la viverización de plantas, se debe pensar en la adaptación al sitio de implantación del material genético que se escoja, lo que se traducirá no sólo en la supervivencia inicial de las plantas, sino también en su desempeño general durante todo su desarrollo.

Para evitar riesgos de mala adaptación y de contaminación genética por el uso de acervos genéticos exóticos, rige como principio de precautoriedad el uso de la procedencia local, o sea utilizar como fuente semillera los remanentes del ecosistema degradado o las masas naturales de los alrededores de la futura plantación. Este suele ser el enfoque que mayoritariamente se ha sugerido o recomendado. Sin embargo, en ocasiones esta opción no es conveniente, ya sea por el extremo empobrecimiento genético de los remanentes locales, o simplemente porque es imposible debido a su inexistencia. También debe atenderse a razones operativas, ya que el uso de la procedencia local implica una planificación con una anticipación variable según la especie, en ocasiones de varios años, para la cosecha de las semillas y la producción de plantas.

En efecto, generalmente se considera que la semilla de origen o procedencia local tiene el mayor potencial adaptativo (Mijnsbrugge *et al.*, 2010; McKay *et al.* 2005), sin embargo, la investigación genética indica que la distancia geográfica es un mal predictor de la diferenciación adaptativa. Esto significa que no hay una distancia ni regla fija para determinar hasta dónde se pueden mover con éxito las plantas a partir del lugar de origen de sus semillas. El concepto “local” queda mejor definido por la similitud climática y ambiental del material de origen, en relación con el sitio de plantación donde será transferido (Erikson y Halford, 2020). Por otra parte, existen situaciones en que orígenes foráneos pueden resultar incluso más apropiados que los locales, especialmente cuando estas últimas poblaciones han perdido variabilidad genética y exhiben pérdidas de adaptabilidad que no garantiza su permanencia en el escenario climático proyectado a futuro (Jones y Monaco, 2007; Lowe, 2010).



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Adicionalmente, la existencia de mosaicos ambientales puede hacer que sitios geográficamente distantes presenten condiciones similares, mientras que las condiciones que imperan en sitios cercanos pueden ser muy diferentes (Thomas *et al.*, 2015).

En esta disyuntiva, la necesidad de recurrir al uso de procedencias no locales sugiere la necesidad de disponer de información derivada de ensayos de procedencias, al menos para las especies más importantes a considerar en las iniciativas de restauración ecológica. En una situación ideal, la elección de las fuentes de semillas que resultan más convenientes para un determinado sitio de restauración estaría guiada por ensayos de procedencia, siempre que se disponga de ellos (Thomas *et al.*, 214; 2015). La idea es que tales ensayos puedan orientar la transferencia de semillas desde un sitio lejano hacia el área a restaurar.

Para especies forestales pueden definirse zonas genéticas y/o regiones de procedencia. Los estudios básicos de genética de poblaciones con marcadores moleculares y ensayos de procedencias repetidos en distintos sitios, permiten definir áreas o unidades de abastecimiento de semillas que orienten respecto a la transferencia de acervos genéticos al área en restauración. Adicionalmente, el modelado de nicho ecológico posibilita considerar los efectos del cambio climático global para identificar zonas vulnerables y priorizar acciones de restauración. De este modo, la investigación básica y la gestión estrechan vínculos para identificar los orígenes más adecuados para obtener las semillas requeridas en un programa de restauración (Pastorino *et al.*, 2015).

Mantener la Capacidad de Adaptación

La adaptación de las plantas está influenciada por una amplia gama de factores climáticos y ambientales. El grado de adaptación varía entre especies, desde las generalistas que pueden soportar amplio movimiento a través de gradientes ambientales, a las especialistas que están muy estrechamente adaptadas a las condiciones y regiones locales. Los ensayos de procedencias permiten investigar estrategias de adaptación específicas de especies y patrones de variación genética en un área geográfica determinada. En estos estudios, la variación en importantes rasgos adaptativos que involucran supervivencia, crecimiento y fecundidad se correlaciona con las variables climáticas y ambientales de los orígenes (fuentes) de las plantas incluidas en el ensayo. De este modo, sus resultados pueden utilizarse para crear pautas de transferencia de semillas específicas para especies, y delinear regiones discretas de entornos similares (zonas semilleras) dentro de los cuales los materiales vegetales se podrían mover sin mayores problemas de adaptación a las nuevas zonas de plantación. Como lo establecen Erickson & Halford (2020), cuando existen definiciones previas de zonas semilleras o de regiones de procedencias o de utilización de semillas, estas constituyen guías fundamentales para programar la colecta de semillas apropiadas a las condiciones del sitio de restauración¹. En ausencia de datos de procedencia, los modelos de idoneidad y el análisis ecogeográfico de las condiciones ambientales que imperan en el sitio de plantación y en los eventuales sitios de donde se podría obtener el germoplasma, son técnicas alternativas para la selección de fuentes de semillas bien adaptadas (Thomas *et al.*, 2015).

Las zonas semilleras junto con mejorar los resultados de la restauración, pueden generar eficiencias y economías de escala en los sistemas de producción de semillas y plantas, así como la estabilidad y previsibilidad en el mercado de las mismas. La definición de zonas semilleras facilita la planificación del uso de semillas y crea oportunidades para compartir e intercambiar material vegetal. Sin embargo, a

¹ En Anexo se incluye una definición de zonas de procedencias para especies nativas con la finalidad de orientar la colecta de semillas para restauración



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



pesar de sus múltiples ventajas, las zonas semilleras no suelen estar definidas para la mayoría de las especies forestales involucradas en restauración ecológica.

Mantener la Diversidad Genética

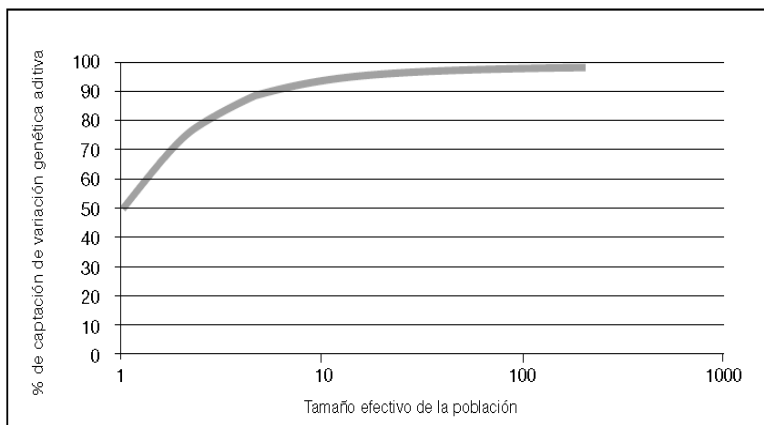
Otra preocupación importante en el desarrollo y uso de material de plantación nativo se refiere al muestreo y mantenimiento de diversidad genética. Esta diversidad no solo protegerá los recursos genéticos, sino que también ayudará a mejorar el éxito inicial de la restauración y proporcionará resistencia contra la presión ambiental y las condiciones cambiantes del futuro. El origen y la diversidad genética del material forestal reproductivo afecta significativamente a la supervivencia, crecimiento y productividad de los árboles, pero también a la capacidad de adaptación y, por lo tanto, a la autosostenibilidad de las poblaciones. En efecto, como lo especifican Tomas *et al.* (2014; 2015), la diversidad genética se relaciona positivamente no solo con el valor adaptativo de las poblaciones de árboles sino también, y de modo más general, con el funcionamiento y la resiliencia del ecosistema; por lo mismo, una adecuada atención a la diversidad genética de las semillas y plantas es particularmente importante para la restauración ecológica de los bosques.

Aunque la diversidad genética de la muestra no siempre puede ser evaluada, se debe aspirar a obtener muestras genéticamente representativas de la población, apuntando a que gran parte sino todos los alelos presentes en la población, estén incluidos en la muestra recolectada (León Lobos, 2014). De acuerdo con antecedentes compilados en Gutiérrez (2015) existen distintos métodos de estimación y recomendaciones sobre el tamaño de muestra requerido para conservar cierto nivel de variación genética, reconociéndose que los dos componentes clave de una estrategia de muestreo son el tamaño del área muestreada y el número de individuos muestreados.

Los dos principales enfoques para determinar los tamaños muestrales (número de árboles a considerar en la colecta de semillas) son las fórmulas estadísticas, y los denominados “números mágicos”. Estos últimos corresponden a valores estándares que comúnmente se han usado en programas de conservación, respecto de los cuales existe cierto consenso de que resultan adecuados para representar la variabilidad genética de determinadas especies o poblaciones.

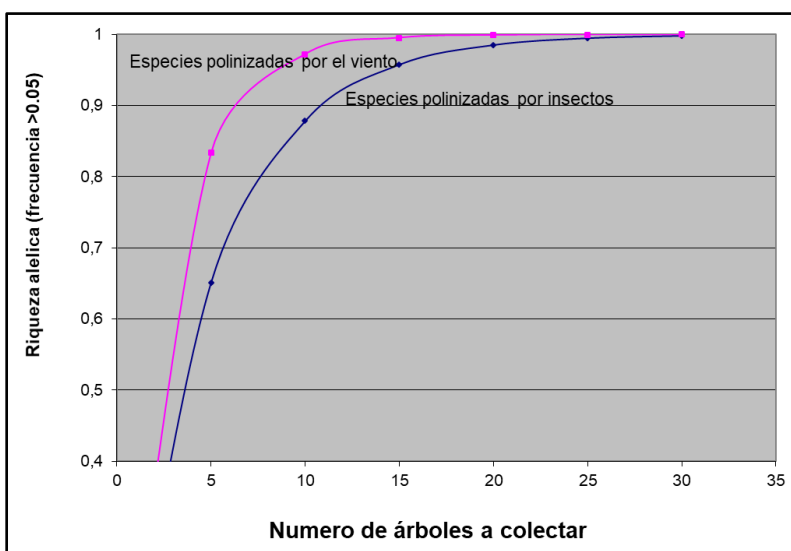
En el caso de las fórmulas, la expresión $100 \times (1 - 1/(2N_e))$, graficada en la Figura 1, estima la proporción aproximada de heterocigosidad o variación genética aditiva captada en una muestra de tamaño efectivo N_e , donde N_e es el número de árboles muestreados no emparentados¹ (Yanchuk y Hald, 2007). Una representación equivalente en término del número de árboles a muestrear para capturar una proporción de los alelos comunes en la población se ilustra en la Figura 2.

¹ Para efectos práctico se asume una distancia mínima de separación entre los árboles, asumiendo que la probabilidad de que provengan de una misma madre es mayor cuando los árboles están cercanos entre sí.



(Fuente: Yanchuk y Hald, 2007).

Figura 1. porcentaje de variación genética aditiva conservada (heterocigosidad) en función del tamaño efectivo de la muestra empleada (número de árboles no emparentados)



(Fuente: Boshier *et al.*, 2014)

Figura 2. Relación entre la riqueza alélica y el número de árboles a coleccionarles semillas

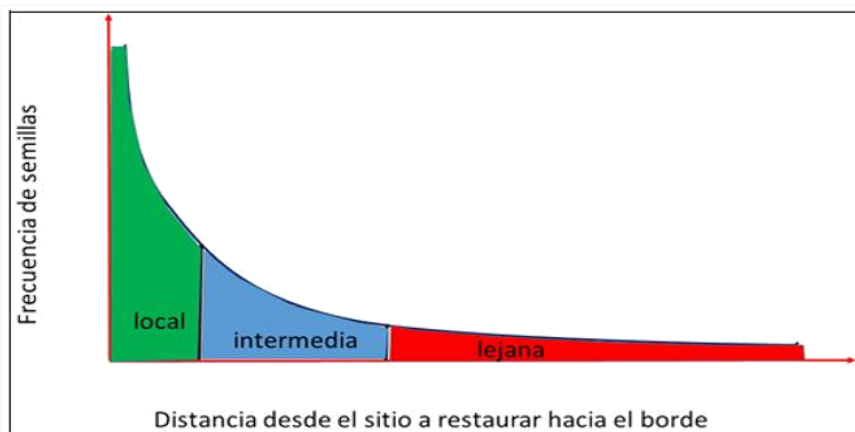
De los gráficos anteriores se desprende que se requieren algunas decenas de genotipos para captar un gran porcentaje de la variación genética de la población. Así, con una muestra de 20 a 50 árboles no emparentados se puede representar más del 95% de la variación genética aditiva de esa población. Sin embargo, una muestra de esa magnitud no representaría a los alelos raros de baja frecuencia (que están presentes en menos del 5% de los individuos de la población).

No existe un protocolo único de recolección y propagación de material vegetal que garantice y salvaguarde la integridad genética en todas las situaciones. Sin embargo, existen algunas pautas generales para su consideración al comprar, recolectar o cultivar semillas y plántulas, entre ellas:

- **Número de Padres No Emparentados.** Es fundamental que el abastecimiento o la recolección de semillas se lleve a cabo de manera tal que capture una gran diversidad de rasgos adaptativos importantes para las especies del caso. Esto supone recolectar semillas de poblaciones suficientemente amplias y de un gran número de árboles madre no emparentados, es decir, un mínimo de 30 a 60 árboles, bien espaciados entre sí¹ (Tomas *et al.*, 2015). Según Erikson y Halford (2020) esto constituye una directriz general para obtener una muestra representativa de la diversidad genética en una población.
- **Semillas por Árbol.** Una cantidad similar de semillas se debe recolectar desde cada árbol. Si las contribuciones de los padres son desiguales, se debe muestrear un mayor número de plantas parentales para aumentar la diversidad. Al recolectar esquejes para propagación vegetativa de especies dioicas, se debe buscar una proporción entre plantas machos y hembras que garantice que ambos sexos estén representados en la colección, en una proporción similar a la que se presenta en la naturaleza.
- **Número de Sitios de Recolección.** Recolectar semillas o esquejes desde múltiples áreas dentro de una zona de semillas ayuda a muestrear y representar adecuadamente la diversidad genética entre poblaciones. Idealmente, los sitios de recolección deben abarcar la gama completa de condiciones climáticas dentro de una zona de semillas. Se debe muestrear un número aproximadamente igual de padres dentro de cada área. Recolectar material desde las poblaciones más grandes, evitando los rodales aislados y fragmentados donde la endogamia o los cuellos de botella genéticos del pasado pueden reducir la diversidad genética.
- **Madres Individuales dentro de un Sitio de Recolección.** Para reducir el riesgo de recolectar desde individuos relacionados (por ejemplo, hermanos o clones de la misma planta), las semillas y esquejes deben obtenerse de plantas que están bien separados entre sí². La diversidad genética y su representación también se pueden mejorar al cosechar el material de propagación desde plantas madres dispersas a lo largo y ancho de todo el sitio de recolección. En especies de polinización cruzadas, una consideración importante para mantener la diversidad genética es evitar recolección desde plantas aisladas que pueden haber tenido pocas oportunidades de recibir polen de una amplia gama de donantes. Otra recomendación para salvaguardar la integridad genética y la diversidad es evitar sesgos de recolección como por ejemplo privilegiar las plantas que florecen más temprano, las más bajas, las con mayor concentración de semillas, etc.
- **Composición del Lote de Semillas para Restauración Ecológica.** Para efectos de asegurar suficiente variabilidad genética del germoplasma para restauración, este debe proceder de zonas cercanas al sitio a restaurar (material local) y complementarse con la incorporación de fuentes intermedias y lejanas en proporciones más reducidas. El gráfico de la Figura 3 refleja adecuadamente esta consideración.

¹ Las distancias entre los árboles a muestrear están condicionadas principalmente por la especie y forma de dispersión de sus semillas, por lo que no puede ser utilizado un criterio o método único (Bacheta *et al.*, 2008). Sin embargo, como consideración general se acostumbra un distanciamiento mínimo de 30 a 50 metros.

² Las distancias entre los árboles a muestrear están condicionados principalmente por la especie y forma de dispersión de sus semillas, por lo que no puede ser utilizado un criterio o método único (Bacheta *et al.*, 2008). Sin embargo, como consideración general se acostumbra un distanciamiento mínimo de 30 a 50 metros.



(Fuente: Lowe, 2010)

Figura 3. Composición de un lote mixto de semillas de procedencias mezcladas en función de su distancia respecto al sitio de restauración

Pensar en el Cambio Climático

Muchas poblaciones de plantas ya están creciendo fuera de su clima óptimo como resultado de cambios ambientales que han superado la capacidad de respuesta de las especies. En estas situaciones, los protocolos de abastecimiento de semillas deben modificarse, cambiando el énfasis de usar solo semilla local por una estrategia nueva basada en el uso de semillas (o una porción de las semillas) seleccionada en base a la similitud con escenarios climáticos proyectados a futuro.

El abastecimiento de semillas "climáticamente inteligente" basado en proyecciones climáticas (por ejemplo, en horizonte de 10 a 20 años) reducirá la incertidumbre y el riesgo asociado a la dependencia del clima en las proyecciones a un futuro más lejano. Esto también promoverá el uso de plantas que se adaptarán mejor a las condiciones ambientales durante la etapa inicial de establecimiento, periodo en el que suelen ser más vulnerables. Para muchas zonas, la dirección de movimiento de las plantas será desde los entornos más cálidos y secos de latitudes y elevaciones bajas hacia latitudes y elevaciones mayores donde las condiciones son más frías y húmedas.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA RECOLECTAR SEMILLAS

Además de las consideraciones genéticas y ecológicas, existen otras consideraciones generales básicas que deben tenerse en cuenta para la adecuada recolección de semillas, las principales son: (i) la selección de la fuente semillera, actividad en que se recogen y se llevan a la práctica las consideraciones genéticas esbozadas en el punto anterior; (ii) el grado de madurez, aspecto fundamental que determina la oportunidad de la recolección y la utilidad de las semillas recolectada; (iii) la idoneidad biológica de la semilla, tópico que se relaciona con su estado sanitario como indicador de viabilidad; y (iv) otras consideraciones generales.

Independiente de los procedimientos operacionales para recolectar semillas, estas consideraciones deben ser siempre tenidas en cuenta, pues son transversales a cualquier práctica de recolección de



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



simientes. De hecho, ellas son la clave para obtener un germoplasma de utilidad, e idóneo a los fines de restauración ecológica.

Fuente Semillera

La idoneidad de las semillas utilizadas para la producción de plantas, que serán establecidas con finalidad de restauración ecológica, está condicionada principalmente por la fuente desde donde ellas se obtengan, situación que se abordó en el punto previo respecto a consideraciones genéticas para la recolección de semillas. Aspectos claves como la procedencia, la relación entre el sector de plantación y de abastecimiento de germoplasma, la variabilidad del área a recolectar, el número de árboles considerados en la recolección, la existencia de semilla local, etcétera son todas consideraciones prácticas fundamentales que quedan determinadas por la selección de la fuente semillera.

Lo normal es pretender cosechar semillas del rodal más cercano al área donde se quiere plantar, lo que asegura trabajar con material ya adaptado a las características ambientales de la zona. Sin embargo, no se debe perder de vista que los rodales locales pueden no ser adecuados por distintos motivos (dañados, pocos árboles en etapa reproductiva, consanguinidad, etc.), y que para efectos de variabilidad y conservación de potencial evolutivo es recomendado combinar la semilla de fuentes locales con proporciones menores de otras provenientes de fuentes más distantes, en la misma y en distintas zonas de procedencia.

La observancia de las consideraciones genéticas puede materializarse en la práctica mediante la adecuada identificación o selección de las fuentes semilleras desde donde se recolectarán las semillas.

Madurez de la Semilla y Oportunidad de Recolección

Obtener frutos/semillas maduras es un aspecto crucial que define el momento en que se debe realizar la recolección, y que determina la utilidad del material obtenido. La importancia de recolectar simientes maduras radica en que durante su maduración ellas adquieren la capacidad de germinar (germinabilidad), es decir que los embriones ya desarrollados puedan activarse y dar origen a una planta. También al madurar, las semillas ortodoxas adquieren tolerancia a la desecación, lo que permite que conserven su viabilidad durante el almacenamiento. La simiente inmadura, si bien puede evidenciar cierta capacidad de germinación, no posee tolerancia a la desecación, la que adquiere al final de la fase de maduración. Este es el momento óptimo para recolectarlas pues, posteriormente su calidad comienza a decaer.

Consecuentemente, la recolección debe efectuarse durante el periodo de dispersión de semillas, para asegurarse de obtener germoplasma fisiológicamente maduro. En algunas especies de semillas pequeñas o muy livianas que se dispersan por viento, como ocurre por ejemplo con ulmo, laurel y otras, es recomendable identificar los frutos maduros y recolectarlos antes de que se abran y liberen las simientes.

Un criterio que ayuda a definir el momento de cosecha y diferenciar las semillas/frutos maduros es la coloración. Al madurar, los frutos se tornan más oscuros y abandonan las tonalidades verdosas de sus etapas iniciales. La consistencia también es un indicador de madurez, en general el material de propagación inmaduro es más denso (duro) y se van ablandando a medida que madura. En las semillas la consistencia de los tejidos de reserva es más blanda cuando está inmadura y se hace más consistente al madurar.

Las características del pedúnculo también sirven como indicador de madurez, cuando los frutos están maduros y se acerca la dispersión, los pedúnculos comienzan a secarse y se vuelven frágiles, para permitir



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



que los frutos se desprendan con facilidad. En aquellas especies que no liberan sus frutos, sino que los abren para liberar las semillas, el comienzo de la dehiscencia es el mejor indicador de madurez.

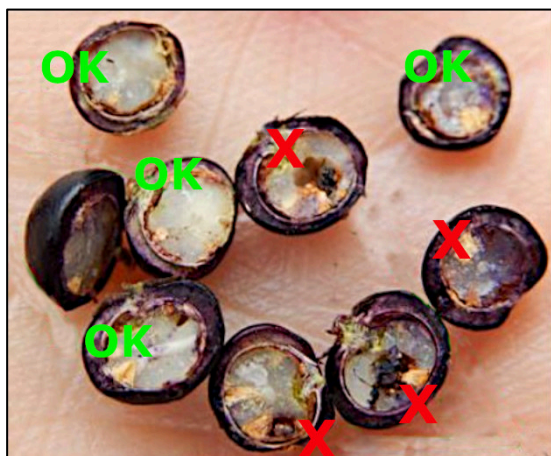
Se puede utilizar la información biológica disponible para estimar cuándo se producirá la dispersión de las semillas, aunque por lo general se dispondrá sólo de referencias bibliográficas o empíricas a un periodo de fructificación.

El momento oportuno para recolectar semillas de cada especie ha sido informado por diversos autores y puede consultarse en la sección siguiente para un grupo de especies relevantes en cada región. No obstante, es fundamental tener en cuenta que ese período constituye sólo una orientación general basada en observaciones puntuales de algunos años en particular. El criterio de fondo y primordial es que se debe recolectar semilla madura, y la maduración como cualquier estado fenológico varía entre temporadas debido a su condicionamiento genético e influencias ambientales. Así, es común que se observen diferencias en el momento de maduración de frutos de una misma especie entre años. Estas diferencias se asocian principalmente a diferencias de precipitación y temperatura. Por otra parte, atendiendo al clima y fisiografía del país, en Chile las semillas de una misma especie tienden a madurar primero en el norte que en el sur y en el valle antes que en la costa y la cordillera. Esta diferencia puede observarse además dentro de una misma población, en algunos casos atribuida a diferencias microclimáticas, pero principalmente a la diversidad genética de los individuos, generando heterogeneidad en la maduración (León-Lobos *et al.*, 2014).

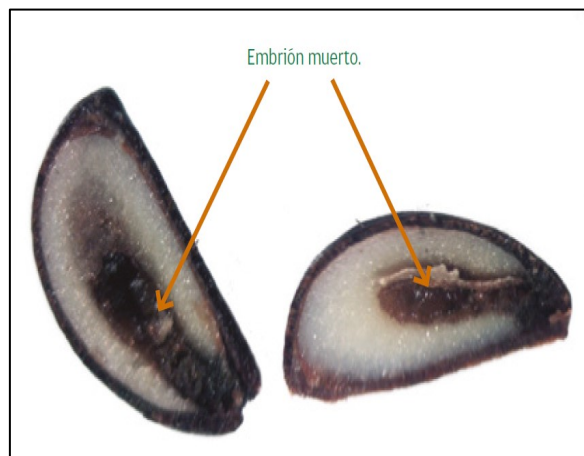
Sanidad de las Semillas

Un aspecto elemental es recolectar semillas sanas, sin indicios evidentes de daño que comprometan su viabilidad y capacidad para germinar y generar un individuo nuevo competente. Por lo mismo, especial atención debe ponerse al estado sanitario, de modo de coleccionar semillas viables y descartar aquellas que no serán de utilidad en los procesos posteriores de viverización. En este sentido reconocer semillas viables de cada especie es un requisito durante la recolección, el cual puede satisfacerse en base a la experiencia de los recolectores o con el uso de criterios orientadores como los siguientes:

De acuerdo con León Lobos *et al.* (2014) las semillas aparentemente **viables** lucen llenas, con su interior firme y de color blanquecino, mientras que las infestadas, dañadas o vanas, lucirán huecas, consumidas, partidas, resacas u oscuras en su interior (Figura 4). Semillas afectadas por insectos resultan evidentes y se pueden diferenciar por la presencia de perforaciones ocasionadas por estos agentes, sin embargo, el daño no siempre es observable a simple vista y se requiere partir las semillas para detectarlo.



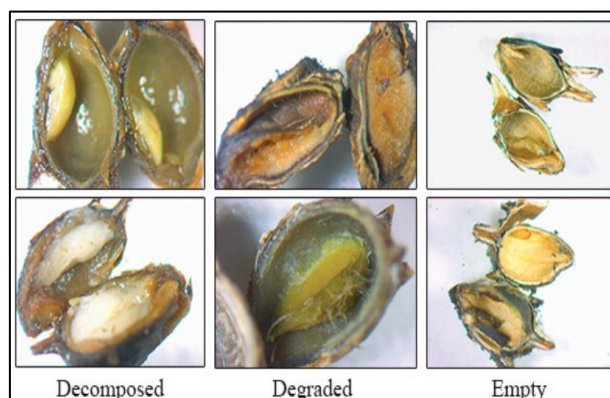
(Fuente: Di Sacco *et al.*, 2018)



(Fuente: Niculcar, 2021)



(Fuente: <https://seedsaversalburywodonga.files.wordpress.com>)



(Fuente: Hall *et al.*, 2021)

Figura 4. Aspecto general de semillas vanas y viables en inspección visual al corte

La proporción de semillas vacías, abortadas, mal formadas o infestadas variará según la especie, la población y el año. Algunas especies, como las del género *Nothofagus*, tienden a mostrar años de buena semillación, seguido por varios años de escasa producción y alta proporción de semillas vacías. Por estas razones es esencial que el recolector evalúe la calidad física de las semillas a través de una "prueba de corte" antes de realizar la recolección. Esto le dará una idea de la cantidad de frutos o semillas a recolectar.

La prueba de corte consiste en partir 10 a 20 unidades con una herramienta *ad hoc*, para comparar el número de semillas llenas con el de las vacías, abortadas o infestadas. Una lupa de campo (10x o 20x) ayudará a esta inspección. La prueba de corte se deberá realizar a frutos de varias plantas tomados al azar, para que la muestra sea representativa, al mismo tiempo permitirá dar una idea del aspecto general de frutos abortados o infestados, que deberán ser evitados durante la recolección.

El resultado de la prueba de corte provee de un cálculo aproximado del número de semillas buenas disponibles. Si la proporción de semillas vacías e infestadas es alta (ej. Mayor a 30%), se deberá recolectar un número mayor para compensar la pérdida por esta vía. La prueba de corte permitirá además decidir si vale la pena o no realizar la recolección, ya que, si la proporción de semillas llenas es baja, tal vez sea



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



necesario buscar otra población para recolectar. Esta decisión dependerá del esfuerzo y tiempo requerido para recolectar la cantidad de semillas deseada, así como la importancia de la especie.

La prueba de corte también entrega información acerca de la madurez, y permite estimar la oferta de semillas, así como el rendimiento de la recolección. En efecto, al cortar los frutos, se tendrá una idea del número de semillas que contiene cada uno, con esto y considerando el número de frutos por planta, se podrá estimar la oferta de semillas de la población. Esta información es útil para estimar la cantidad de frutos que se debe coleccionar para cumplir con la cantidad requerida de semillas, observando siempre las consideraciones ecológicas y genéticas que en este documento se detallan.

Otras Consideraciones Generales

La cantidad de semillas a recolectar debe ser suficiente para cumplir con los objetivos de siembra, y también para efectuar los análisis de caracterización del lote colectado. Particularmente, las pruebas de germinación pueden consumir bastantes simientes, sobre todo cuando existe poca información previa, es de difícil germinación, o no ha sido cultivada previamente. Muchas veces es necesario probar diversos tratamientos pregerminativos antes de encontrar las condiciones adecuadas para la germinación.

Antes de iniciar la campaña de recolección de semillas es necesario planificar salidas de prospección, cuyo objetivo es ubicar las poblaciones de las especies que serán recolectadas, para poder volver a ellas cuando las semillas estén en condición de ser cosechadas. Se aconseja que estas salidas se efectúen durante la primavera, dado que es más probable encontrar flores o estructuras reproductivas que faciliten la identificación y permitan estimar o predecir el nivel de semillación de esa temporada; normalmente la recolección propiamente tal se realizará en forma posterior, en verano hasta principios de otoño, durante el periodo de dispersión, cuando la semilla se encuentre madura. Las visitas de prospección son también la instancia apropiada para estimar cómo se presentará la temporada de semillación en especies que exhiben un marcado añerismo, y definir si valdrá la pena recolectar semillas en ese año en particular.

Para las visitas de prospección y de colecta, el conocimiento y la experiencia de expertos nacionales o locales residentes en las áreas de exploración y recolección pueden resultar muy útiles, especialmente para la localización, el reconocimiento y la fenología de las especies.

De acuerdo al estado fenológico en el que se encuentren las distintas especies, antecedentes bibliográficos y la experiencia de recolecciones anteriores, se puede estimar la fecha probable de recolección de modo de obtener material maduro justo antes de su dispersión natural. Después de seleccionar la población donde se recolectará la semilla, Bacchetta *et al.* (2008) sugieren examinar una primera muestra mediante una prueba de corte, por cuanto este simple análisis preliminar permite realizar una estimación aproximada de la calidad del material.

CONSIDERACIONES PARA RECOLECTAR SEMILLAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

La región del Biobío marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Biobío (SIIT, S/F).

Las características climáticas que presenta la región en su extremo norte permiten la existencia del espino, asociado con boldo (*Peumus boldus*), peumo (*Cryptocarya alba*) y quillay (*Quillaja saponaria*). En cambio, hacia el sur se encuentra bosque higromórfico, principalmente en la Cordillera de la Costa y en la precordillera andina, donde predomina especies como el roble (*Nothofagus obliqua*), el ciprés

(*Austrocedrus chilensis*), y en los sectores con mayores alturas es posible encontrar roble (*Nothofagus obliqua*) y mañío (*Podocarpus saligna*). Además está acompañado por un denso sotobosque formado por canelo (*Drimys winteri*), olivillo (*Aextoxicon punctatum*), avellano (*Gevuina avellana*) y otras.

La región del Biobío posee una gran importancia debido a la amplia variedad de especies nativas: por una parte, tanto en la sección alta del Río Biobío, como en la Cordillera de Nahuelbuta se encuentra el bosque de Araucaria (*Araucaria araucana*), el cual habitualmente se asocia con especies como coigüe (*Nothofagus dombeyi*), lenga (*N. pumilio*) y ñirre (*N. antarctica*).

En términos forestales, la Región de Biobío tiene presencia de 6 tipos forestales y concentra cerca del 4% de la superficie nacional de bosques nativos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Presencia de Tipos forestales del Bosque Nativo en Región del Biobío.

Tipo forestal	REGIONES					
	VII Maule	XVI Ñuble	VIII Biobío	IX Araucanía	XIV Los Ríos	X Los lagos
Roble Hualo	X	X	x			
Roble raulí Coigüe	x	X	X	X	X	X
Coigüe Raulí Tapa	x	X	X	X	X	X
Ciprés de la cordillera	X	X	X	X	X	X
Araucaria			X	X	x	
Lenga	x	x	x	X	X	X
Superficie de bosque nativo (ha)	581.515	247.979	597.572	964.152	908.530	2.827.436
% del total nacional (14.636.995 ha)	3,97	1,69	4,08	6,59	6,21	19,32

(Fuente: Banco Mundial-CONAF, 2020)

* 55% del bosque nativo está en las regiones restantes. (48,3% en XI y XII; 9,8% desde I a VI)

En términos de especie arbóreas en categorías de conservación en los procesos de clasificación del Ministerio del Medio Ambiente hasta febrero de 2022, en la región pueden encontrarse 10 especies (Cuadro 2).

Cuadro 2. Presencia de Especies Arbóreas Clasificadas en Categorías de Conservación en la Región del Biobío.

Especie	Categoría de Conservación
<i>Beilschmiedia berteriana</i>	EN
<i>Gomortega keule</i>	EN
<i>Pitavia punctata</i>	EN
<i>Araucaria araucana</i>	EN VU ^a
<i>Citronella mucronata</i>	VU
<i>Eucryphia glutinosa</i>	VU
<i>Prumnopitys andina</i>	VU
<i>Nothofagus glauca</i>	NT
<i>Austrocedrus chilensis</i>	NT ^b
<i>Persea lingue</i>	LC ^b

(Fuente: Elaborado a partir de MMA, 2022)

CR: Peligro Crítico; EN: En Peligro; VU: Vulnerable; R: Rara; NT: Casi Amenazada; LC: preocupación menor. ^a En Peligro en Nahuelbuta, Vulnerable en Andes; ^b Vulnerables desde XV a VI regiones.

Sobre la base de los tipos forestales y de las especies amenazadas, en el Cuadro 3 se presentan el listado de especies de interés para recolección de semillas con fines de restauración en la Región del Biobío. En

el cuadro se detalla la época aproximada de colecta, el tipo de fruto y semilla y algunos *tips* específicos para la recolección.

Cuadro 3. Especies de interés para colecta de semillas en la Región del Biobío
(En negrita especies clasificadas en categorías de conservación)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
<i>Acacia caven</i> (Espino)	Feb-Abr	LEG i	O	Los frutos pueden ser cosechados desde el suelo después de su caída. También se pueden coleccionar las vainas desde los árboles en pie, seleccionando los frutos oscuros que son los que están maduros. Se recomienda cosechar frutos de forma manual remeciendo el árbol y no recoger los frutos que han permanecido mucho tiempo en el suelo	(7) (12)
<i>Aextoxicon punctatum</i> (Olivillo)	Abr	DRU	R	Recolectar frutos con lonas en el suelo	(3), (6)
<i>Araucaria araucana</i> (Araucaria)	Mar Abr	CON	R	Recolectar frutos con lonas en el suelo, aprovechando la caída natural. Debe evitarse forzar la disgregación del cono mediante zamarreo de ramas con cuerdas, o lanzando objetos a la copa como palos o pesas. En general sus semillas se usan en la misma temporada de recolección y no se almacenan para años siguientes.	(1), (3), (5), (6)
<i>Aristotelia chilensis</i> (Maqui)	Dic Feb	BAY	O	Colectar los frutos maduros desde el árbol, recolectándolos en forma manual o con herramientas <i>ad-hoc</i> . Se debe evitar cortar las ramas durante la recolección. Para obtener las semillas se debe macerar los frutos en agua para separar la pulpa carnososa.	(2), (3), (6)
<i>Austrocedrus chilensis</i> (Ciprés de la cordillera)	Ene Feb	CON	O	Se colectan los conos maduros directamente desde el árbol o con lonas en el suelo, cuando cambian de color verde a café claro. Para extraer las semillas, los conos deben secarse disponiéndose sobre lonas o directamente en el piso de un recinto cerrado, durante 2 a 3 días, o usando un horno a 50°C por 4-6 horas. Desde los conos secos las semillas se extraen, mediante golpes y agitación de los mismos. Las alas de las semillas se pueden eliminar manualmente o mediante corriente de aire. El almacenamiento se puede hacer en envases cerrados a 4 °C en oscuridad.	(2), (3), (5), (6)
<i>Beilschmiedia berteriana</i> (Belloto del sur)	Feb Abr	BAY u	R	Los frutos se colectan directamente desde el árbol o desde el suelo. Deben macerarse en agua para remover la pulpa y obtener las semillas.	(4), (5), (6)
<i>Caldcluvia paniculata</i> (Tiaca)		CAP	O	Se pueden cortar ramas con frutos maduros de color café rojizo, antes que expulsen las semillas. Se separan manualmente los frutos de las ramas y se dejan secar al aire por 7 a 15 días para que las cápsulas se abran. Puede acelerarse el proceso usando un horno de secado.	(2), (6), (6)
<i>Citronella mucronata</i> (Naranja)	Mar Abr	DRU c	R	Los frutos maduran de marzo a abril (5), por lo que la colecta debiera realizarse en dicho período recolectándolas directamente desde árbol o bien colocando mallas a altura por sobre el suelo y, como es una drupa, se recomienda la maceración y eliminación de la carnosidad dejando la semilla limpia, secándola posteriormente de forma natural sobre malla o	(8)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
				bien en cámara de secado y finalmente su almacenamiento.	
<i>Crinodendron patagua</i> (Patagua)	Mar Abr	CAP	R	Los frutos se recolectan cuando han adquirido una tonalidad rojiza. Se abren y liberan sus semillas después de una breve exposición al sol. Las semillas no pueden someterse a secado ni temperatura intensa. Tampoco se pueden almacenar de una temporada para las siguientes.	(2), (3), (6)
<i>Cryptocarya alba</i> (Peumo)	Abr May	BAY u	R	Los frutos pueden recogerse fácilmente desde el suelo. Para mejorar la cosecha, se puede desplegar lonas bajo los árboles y remecer las ramas con una pértiga o cuerda. La semilla se puede almacenar hasta el momento de su uso en la misma temporada de cosecha. Para esto se les debe remover la pulpa y ponerlas en bolsas plásticas, en refrigerador o cámara de frío a 5°C, por no mas de 4 a 5 meses	(1), (3), (6)
<i>Drimys winteri</i> (Canelo)	Dic Mar	BAY	O	Se colectan los frutos desde el árbol o se induce su caída para recogerlos en lonas extendidas bajo las copas. Los frutos deben macerarse en agua para separar las semillas de la pulpa. Las semillas pueden almacenarse en lugares secos y fríos (4°C).	(1), (2), (3), (6)
<i>Embothrium coccineum</i> (Notro)	Mar	FOL d	O	Los frutos maduros se cosechan del árbol cuando se tornan amarillos y muestran indicios de abrirse. Después se extienden en mesones en un recinto cerrado hasta que se abran espontáneamente. Mediante agitación y golpeteos se separan las semillas, se les extraen las alas y se dejan orear a temperatura ambiente por dos o tres semanas, para después almacenarlas en frío a 4°C ± 1, en bolsas plásticas, frascos de vidrios con cierre hermético o bolsas de papel aluminio. Así pueden conservarse hasta tres años.	(1), (2), (3), (6)
<i>Eucryphia cordifolia</i> (Ulmo)	Mar Abr	CAP	O	Los frutos se colectan desde el árbol antes que comiencen a abrirse, cuando adquieren una tonalidad café oscuro. Los frutos se dejan orear a temperatura ambiente (en lugar cerrado sin viento) o en horno, para que se abran y liberen las semillas. Las semillas son ortodoxas.	(2), (3), (6)
<i>Eucryphia glutinosa</i> (Guindo santo)	Feb Abr	CAP	O	Los frutos se colectan desde el árbol antes de que se abran. Se secan al sol o en horno a 40°C hasta que liberen las semillas. Estas se pueden almacenar en frío entre 4 a 5 °C.	(2), (3), (4), (5), (6)
<i>Gevuina avellana</i> (Avellano)	Feb Abr	NUE	R	Las semillas maduras se recogen desde el suelo entre abril y mayo, privilegiando las de mayor tamaño, que presenten un color café-rojizo, de preferencia bajo un árbol adulto semillero del borde del bosque.	(2), (3), (6)
<i>Gomortega keule</i> (Queule)	Feb Ago	DRU	O	Se recolectan los frutos maduros (amarillos) desde el suelo aprovechando la caída natural. Debe removerse la pulpa y posteriormente romper la cubierta dura y leñosa que envuelve a la semilla, para este efecto se puede usar martillo y cincel. Se puede almacenar removiéndole la pulpa y manteniéndola a baja temperatura (aprox 4°C en refrigerador o cámara de frío). Puede almacenarse con la	(3), (4), (5), (6)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
				cubierta dura y romperla posteriormente, antes de la siembra.	
<i>Kageneckia oblonga</i> (Bollen)	Mar Abr	CAP	O	Los frutos se recolectan directamente del árbol, antes que liberen las semillas.	(2), (6)
<i>Laurelia sempervirens</i> (Laurel)	Mar Abr	AQU	O	Los frutos se deben recolectar directamente del árbol, cuando estos hayan alcanzado una tonalidad amarillenta, estos se abren en pocos días dejando libre la semilla. La colecta se realiza durante los meses de mayo y abril. Las semillas son de naturaleza ortodoxa, por lo que es posible su almacenaje en frío.	(2), (3), (6)
<i>Laureliosis philippiana</i> (Tepa)	Mar	AQU	O	Colectar frutos desde el árbol o capturar semillas con mallas en el suelo cuando comienza su dispersión	(3), (6)
<i>Lithraea caustica</i> (Litre)	Feb Mar	DRU s	O	Los frutos con las semillas se colectan entre febrero y marzo. La maceración de los frutos en agua permite separar las semillas de la pulpa.	(12)
<i>Lomatia dentata</i> (Avellanillo)	Mar abr	FOL d	O	Los frutos se colectan manualmente. Se deben secar al sol, para que abran y pueda obtenerse las semillas. Se pueden almacenar en frío a 4° C.	(2), (6)
<i>Lomatia hirsuta</i> (Radal)	Ene Feb	FOL d	O	La colecta debe hacerse cuando los frutos están maduros, pero antes que se produzca la dehiscencia de los mismos, de lo contrario, las pequeñas semillas aladas serán dispersadas por el viento, permanecerán en el árbol sólo los frutos secos, abiertos y vacíos. Para obtener las semillas se debe secar los frutos.	(2), (3), (6)
<i>Luma apiculata</i> (Arrayán)	Ene Feb Mar	BAY	R	Los frutos se deben extraer desde los árboles cuando han adquirido un color negro. Las semillas se extraen presionando los frutos y lavándolas en agua corriente. Las semillas almacenadas, disminuyen rápidamente su capacidad germinativa, lo mismo ocurre con las semillas almacenadas dentro de los frutos.	(1), (3), (6)
<i>Luma chequen</i> (Chequén)		BAY	R	Los frutos se colectan desde el árbol entre febrero y abril. Debe escogerse los de color más oscuro morado intenso casi negro, pues estos están maduros. Las semillas se separan por maceración en agua. Deben usarse dentro de la misma temporada de recolección, pues no resisten almacenamiento.	(13)
<i>Maytenus boaria</i> (Maitén)	Feb Mar	CAP	R	Los frutos se extraen manualmente desde los árboles. Luego se dejan secar al sol o en horno a 25 a 30 °C para extraer las semillas. Se recomienda almacenar las semillas en frío húmedo (arena humedecida y temperatura de aprox 4°C) por periodos cortos, no más de un año, pues es una especie recalcitrante. Se deben almacenar con arilo y extraerlo mediante frotación antes de la siembra. La mortalidad de	(1), (2), (3), (6)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
				semillas sin arilo durante el almacenamiento es más alta.	
<i>Nothofagus alpina</i> (Raulí)	Mar Abr	NUE	O	Los frutos se colectan desde el árbol cortando porciones de las ramas que los portan. También se puede disponer mallas colectoras bajo el dosel y recoger periódicamente el material depositado en ellas durante la temporada de dispersión de semillas. Las semillas limpias pueden almacenarse en bolsas o recipientes cerrados, en refrigerados o cámara de frío a temperaturas de 2-8°C.	(3), (6)
<i>Nothofagus antártica</i> (Ñirre)	Ene	NUE	O	Las semillas se pueden cosechar con escaleras o ayudándose con tijeras de altura (pértigas) con lo cual es posible cortar los ramilletes fructíferos de los extremos de las ramas. También se puede hacer cosecha indirecta, colocando redes finas bajo las copas, sin tocar el suelo y recogiendo la semilla acumulada semanalmente. Particularmente en ñirre, es frecuente hallar proporciones de semillas llenas por debajo del 5%, aunque esto varía entre árboles y entre años.	(14)
<i>Nothofagus dombeyi</i> (Coigüe)	Ene Abr	NUE	O	Los frutos se colectan desde el árbol cortando porciones de las ramas que los portan. También se puede disponer mallas colectoras bajo el dosel y recoger periódicamente el material depositado en ellas durante la temporada de dispersión de semillas. Las semillas limpias pueden almacenarse en bolsas o recipientes cerrados en refrigerados o cámara de frío a temperaturas de 2-8°C.	(1), (3), (6)
<i>Nothofagus glauca</i> Hualo	Feb Mar	NUE	O	Frutos y semillas pueden recolectarse con mallas extendidas bajo los árboles	(3), (5), (6)
<i>Nothofagus obliqua</i> (Roble)	Mar Abr	NUE	O	Los frutos se colectan desde el árbol cortando porciones de las ramas que los portan. También se puede disponer mallas colectoras bajo el dosel y recoger periódicamente el material depositado en ellas durante la temporada de dispersión de semillas. Las semillas limpias pueden almacenarse en bolsas o recipientes cerrados, en refrigerador o cámara de frío, a temperaturas de 2-8°C, lo que lo permite mantener su vida útil hasta seis años.	(1), (3), (6)
<i>Nothofagus pumilio</i> (Lenga)	Ene Feb	NUE	O	Frutos y semillas pueden colectarse con mallas extendidas bajo los árboles. Para proyectos de investigación se han escalado de árboles selectos para cortar ramas y una vez en el suelo extraer los frutos manualmente.	(3), (6)
<i>Persea lingue</i> (Lingue)	Abr	BAY u	R	Los frutos pueden recogerse con lonas bajo los árboles.	(3), (5)
<i>Peumus boldus</i> (Boldo)	Dic Feb	DRU	O	Los frutos se recolectan desde el árbol. Se recomienda colectar en diciembre y sembrar inmediatamente. Las semillas recolectadas en época estival (diciembre-febrero) y que son sembradas de inmediato, inician su germinación en promedio al tercer mes. Las semillas colectadas en diciembre son las que poseen	(2), (3), (6)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
				mejor capacidad germinativa (44%) y energía germinativa (43,7%) en 251 días	
<i>Pitavia punctata</i> Pitao	Feb May	BAY	R	Los frutos se pueden extraer desde el árbol o recogerlos desde el suelo aprovechando su caída natural. Se puede acelerar la caída de los frutos agitando las ramas con varas pértigas o cuerdas pasadas sobre las ramas. Una vez obtenidos, los frutos deben sembrarse inmediatamente para evitar la deshidratación, pérdida de humedad, viabilidad y calidad germinativa. No soportan almacenamiento, aunque pueden guardarse por periodos no muy prolongados en bolsas de polietileno que permiten mantener la humedad de los frutos. Otra opción es dejar los frutos en bandejas de plástico en un refrigerador, a 5°C, por un período no superior a cuatro meses.	(1), (3), (4), (5), (6)
<i>Podocarpus saligna</i> Mañío hojas largas	Ene Mar	CON ac	O	Los frutos maduros se pueden recoger en mallas o recolectores extendidos bajo los árboles, aprovechando su caída natural durante el periodo de dispersión o promoviendo la caída de los mismos mediante agitación de las ramas con pértigas o cuerdas.	3, (4), (6)
<i>Prumnopitys andina</i> Lleuque	Ene Mar	CON d	O	Los frutos se pueden recoger desde el suelo. Remover la semilla desde la pulpa carnosa mediante maceración en agua y frotación	(3), (4), (5), (6)
<i>Quillaja saponaria</i> Quillay.	Mar Abr	CAP	O	Las cápsulas se recogen directamente del árbol cuando están maduras, pero aún cerradas. Estas se deben secar al sol, o en horno a 40 °C por 6 a 8 horas, para que se abran y liberen las semillas. Las alas de las semillas se deben eliminar manualmente. Pueden almacenarse por más de un año en ambientes fríos y secos sin perder viabilidad.	(1), (3), (6)
<i>Schinus polygamus</i> Huingán	Feb Mar	DRU	O	Los frutos se pueden recoger manualmente desde el árbol. Se les debe remover el exocarpio. Las semilla son ortodoxas por lo que pueden ser almacenadas en frío	(2), (6)
<i>Sophora cassioides</i> Pelú	Mar Abr	LEG I	O	La recolección de las semillas se realiza directamente desde los frutos en forma manual o se recogen aquellas que han caído. Las semillas pueden ser almacenadas en frío por largos periodos.	(2), (6)
<i>Sophora macrocarpa</i> (Mayú)	Ene Feb	LEG i	O	Los frutos maduros se colectan directamente de la copa del arbusto entre enero y febrero. Cada fruto posee entre 3 y 6 semillas. Un Kg de frutos contiene aproximadamente 720 semillas. Un Kg de semilla limpia contiene del orden de 2.300 unidades	(12)
<i>Weinmannia trichosperma</i> Tineo	Feb Mar	CAP	O	Se deben recolectar las ramas con frutos cuando estos están de color café-rojizo teniendo especial cuidado en que los frutos se encuentren cerrados. Las ramas con fruto, se dejan secar por aproximadamente 10 a 12 días. En caso de querer realizar una separación completa de las semillas, los frutos deben ser sometidos a un	(2), (3), (6)

Especie	Epoca colecta	Fruto ^(a)	Semilla ^(b)	Tips	Fuente
				proceso de tamizado, por cuanto a semilla es muy pequeña.	

Fuentes:

(1) Alvarado & Levet, 2014; (2) Molina *et al.*, 2021; (3) Quiroz *et al.*, 2009; (4) Hechenleitner *et al.*, 2005, (5) MMA, 2022; (6) Leon Lobos *et al.*, 2014; (7) Benedetti, 2012; (8) Haunstein, 2007; (9) Martín-Ramos *et al.*, 2016; (10) Simian *et al.*, 2001; (11) Cabello & Gallegos, 2018; (12) Gutiérrez *et al.*, 2013; (13) MMA Ficha de antecedentes de los procesos del reglamento de clasificación de especies; (14) Schinelli & Martínez, 2011; (15) www.chilebosque.cl.

(a) Tipos de frutos:

AQU: Aquenio, BAY: Baya, BAY u: Baya uniseminada, CAP: Cápsula, CAP p: Cápsula pequeña, CON: Cono, CON ac: Cono con arilo carnoso, CON d: Cono drupáceo, DRU: Drupa, DRU c: Drupa carnosa, DRU l: Drupa leñosa, DRU s: Drupa seca, FOL d: Folículo dehiscente, LEG i: Legumbre indehiscente, NUE: Nuez

(b) Tipo semilla:

O: ortodoxa, R: recalcitrante

1.2 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECTAR SEMILLAS

MÉTODOS PARA RECOLECTAR SEMILLAS

La recolección de semillas normalmente se efectúa junto con los frutos que las contienen, pudiéndose realizar por diversos métodos, que se describirán en esta sección. En ocasiones los frutos están al alcance de la mano por lo que la recolección es una tarea de poca dificultad, sin embargo, en la mayoría de los casos que se colectan semillas de especies forestales es necesario recurrir a pértigas, varas, cuerdas u otros accesorios que permitan alcanzar las simientes ubicadas en altura, o recurrir a escaladores profesionales que trepen al árbol para efectuar la colecta en la copa de los mismos (Gutiérrez, 2015).

La elección del método de recolección depende de diversos factores, principalmente del tipo de frutos/semillas y de la altura a la que estos se encuentran, de modo que el procedimiento de colecta más adecuado será aquel que permita obtener la mayor cantidad de semillas/frutos maduros y de calidad, con la mayor eficiencia, el menor riesgo y el menor impacto sobre el recurso recolectado.

Cualquiera sea el método de colecta, se debe intentar obtener aproximadamente el mismo número de semillas (o frutos) de cada árbol. Los frutos carnosos deben ser recogidos en un estado de maduración óptimo, por cuanto una recolección anticipada puede proveer de materiales con bajo poder de germinación, mientras que una colecta tardía puede ocasionar pérdidas de material debidas a la dispersión natural. En frutos secos, las semillas de los primeros estados de desarrollo no toleran la deshidratación (no pueden almacenarse), por lo mismo, la recolección debe efectuarse en una fase posterior, cuando los frutos están maduros y la semilla es capaz de absorber agua y, por lo tanto, tolerar la deshidratación (Bacchetta *et al.*, 2008).

Recolección desde el Suelo

Es un método que aprovecha la dispersión natural de frutos grandes que al madurar caen directamente bajo la copa del árbol (Figura 5). Es de utilidad para especies como araucaria, avellano, lleuque, queule, belloto y otras con semillas o frutos de tamaño relativamente grande y fáciles de manipular. En estos casos la recolección desde el suelo, en el momento oportuno, puede ser una práctica apropiada, y que en muchos casos puede ser la única alternativa para árboles muy altos que no puedan ser escalados o sacudidos. En este caso se debe recolectar del suelo solamente los frutos que se estima han sido recientemente dispersados. Idealmente se debería esperar a que la mayoría de los frutos hayan

madurado y caído al suelo, así se dispondrá de una mayor cantidad de unidades desde donde escoger las que se recolectarán. Si el lugar de recolección es cercano y de fácil acceso, se pueden realizar varias recolecciones dentro de la época de dispersión y así evitar que los frutos permanezcan demasiado tiempo en el suelo expuestos a agentes de daño o deterioro.



Figura 5. Colecta de semillas desde el suelo.

Los frutos que han permanecido mucho tiempo en el suelo han estado expuestos a factores de biodeterioro que comprometen su viabilidad, por lo mismo debe ponerse especial atención en escoger frutos sanos sin evidencias de daños. En general se debe evitar la recolección desde el suelo, por tratarse de semilla de árboles no identificados, correspondientes a distintas temporadas de producción y cuya calidad no es la más apropiada.

Mallas bajo la Copa

En este método se sacude el árbol o sus ramas para inducir la caída de frutos o semillas maduras, las cuales se pueden recoger en mallas, telas, lonas u otros materiales afines extendidos en el suelo bajo la copa de los árboles (Figura 6). Para este efecto resulta de utilidad utilizar malla raschel de 50 u 80% de sombreadamiento, en paños de al menos 8 metros cuadrados, en un número y tamaño acorde a la superficie de suelo que se desea cubrir bajo la copa de los semilleros. Para agitar o mover las ramas se pueden usar varas terminadas en gancho, o lanzar cuerdas por sobre las ramas para después tirar desde ambos extremos. Este método se recomienda para árboles bajos con frutos dehiscentes, frutos carnosos o frutos indehiscentes que al madurar se desprendan fácilmente de las ramas. Este método también puede ser usado para recolectar semillas que se dispersan por el viento, como son el roble, el raulí, quillay, ciprés, sin embargo, esto debe ser realizado en días con escaso viento o temprano en la mañana, para evitar la caída de las semillas en forma muy dispersa, fuera del área cubierta con malla raschel o lona. En caso de semillas muy livianas, o cuando hay algo de viento, conviene que un par de personas levanten la lona del piso, con el fin de capturar la mayor parte de las semillas antes que se vuelen. La ventaja de este método, es que acelera la caída natural de frutos y semillas. Así se puede recolectar una gran cantidad de semillas

por localidad o por árbol, más que la obtenida sólo utilizando la dispersión natural. De esta manera se reduce además la pérdida por dispersión, predación y por deterioro natural en el suelo.



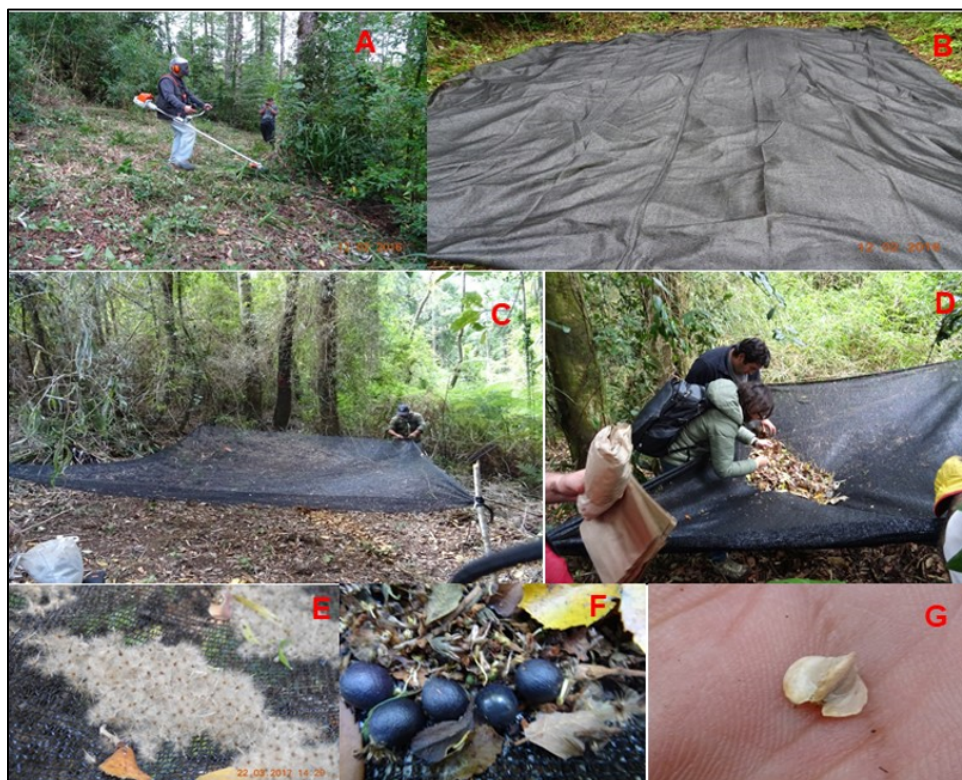
(Fotografía: CTPF)



(Fotografía: CTPF)

Figura 6. Colecta de semillas agitando las ramas para promover su caída y recolectarlas en mallas dispuestas en el suelo bajo la copa.

También se pueden dejar las mallas instaladas bajo los árboles durante la época de dispersión, y volver a dichos lugares a intervalos regulares a recoger el material que cae en forma natural (Figura 7). En esta variante las semillas acumuladas en las mallas pueden recogerse a intervalos de una a tres semanas, dependiendo de su concentración y de las condiciones ambientales, pues la lluvia y el viento podrían sacar las semillas de la malla. Como ventaja, la cosecha con mallas permanentes permite capturar semillas desde varias copas en forma simultánea, lo que implica un menor costo de mano de obra, para lograr un lote suficientemente diverso. Como desventaja, el material obtenido por este sistema puede presentar mayor proporción de semillas dañadas por insectos y pequeños vertebrados, que actúan sobre las simientes acumuladas en las mallas, en espera de ser recogidas. Otro factor a tener en cuenta es que la semilla se colecta con gran cantidad de impurezas, que aumentan el tiempo requerido para su limpieza.



(Fuente: Ipinza & Hasbún, 2021)

Figura 7. Colecta de semillas con malla, aprovechando la dispersión natural: (A) preparación del lugar de colecta; (B) extensión de la malla; (C) colocación de la malla; (D) colecta de semilla; (E) semilla de tepa; (F) semilla de lingue; (G) semilla de roble.

Colecta desde Árboles Caídos o Volteados

Este método permite acceder a la copa de los árboles para obtener las semillas o frutos sin necesidad de escalarlos o treparlos. Su principal ventaja es la posibilidad obtener grandes cantidades de semillas o frutos con relativamente poco esfuerzo.

En el caso de los árboles caídos es una actividad de carácter oportunista, que no permite escoger a los semilleros ni hacer programación efectiva de la campaña de recolección. Aun así, el encontrarse con árboles caídos y con frutos maduros es una valiosa oportunidad para efectuar la colecta.

En el caso de árboles volteados, puede aprovecharse las actividades programadas de manejo o cosecha forestal para extraer las semillas. Deben coordinarse muy bien ambas labores, para que coincidan con la presencia de frutos maduros y tener especial atención a los riesgos que implica para los recolectores de semillas operar en un área de volteo.

El volteo de árboles con la sola finalidad de extracción de semillas no es una medida aconsejable, de modo que este método debe ser usado solo para aprovechar la semilla de ejemplares para los cuales la corta o extracción es inevitable.

Trepa y Escalamiento de Árboles

El objetivo de este método es permitir que el recolector tenga acceso directo a la copa de los árboles para extraer los frutos que no pueden alcanzarse desde el suelo y que no se desprenden ni caen al agitar las ramas.

En una variante se pueden usar escalas y posteriormente trepar por las ramas del árbol. Otra opción es hacer uso de un equipo especial de escalamiento para subir a gran altura y alcanzar las semillas (Figura 8).

En general se trata de un método caro, riesgoso, que demanda gran esfuerzo y que solo puede ser efectuado por personal especializado y capacitado para esta labor. El método de escalamiento normalmente sólo es utilizado en **casos excepcionales**, por ejemplo, en especies con semillas muy pequeñas o livianas, contenida en frutos persistentes que no se desprenden con facilidad del árbol, donde existe una alta probabilidad de perderlas por el viento (ulmo). En este caso, antes de la recolección se debe hacer un monitoreo para identificar el momento en que el fruto está maduro (cambio de color según la especie), pero todavía no se ha producido su apertura o dehiscencia total ni se han dispersado sus semillas. Esta evaluación previa puede efectuarse con ayuda de binoculares o haciendo escaladas preliminares.



(Fotografías: CTPF)

Figura 8. Colecta de semillas mediante escalamiento de árboles.

PROTOCOLO PARA RECOLECTAR SEMILLAS CON FINES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Para materializar una campaña de recolección de semillas, orientada a obtener germoplasma para producir plantas destinadas a iniciativas de restauración ecológica, se debe dar cumplimiento a una serie de actividades. Las fases y etapas del protocolo de recolección de semillas se ilustran en la Figura 9, las etapas correspondientes al protocolo de almacenamiento se abordan en el capítulo 2.

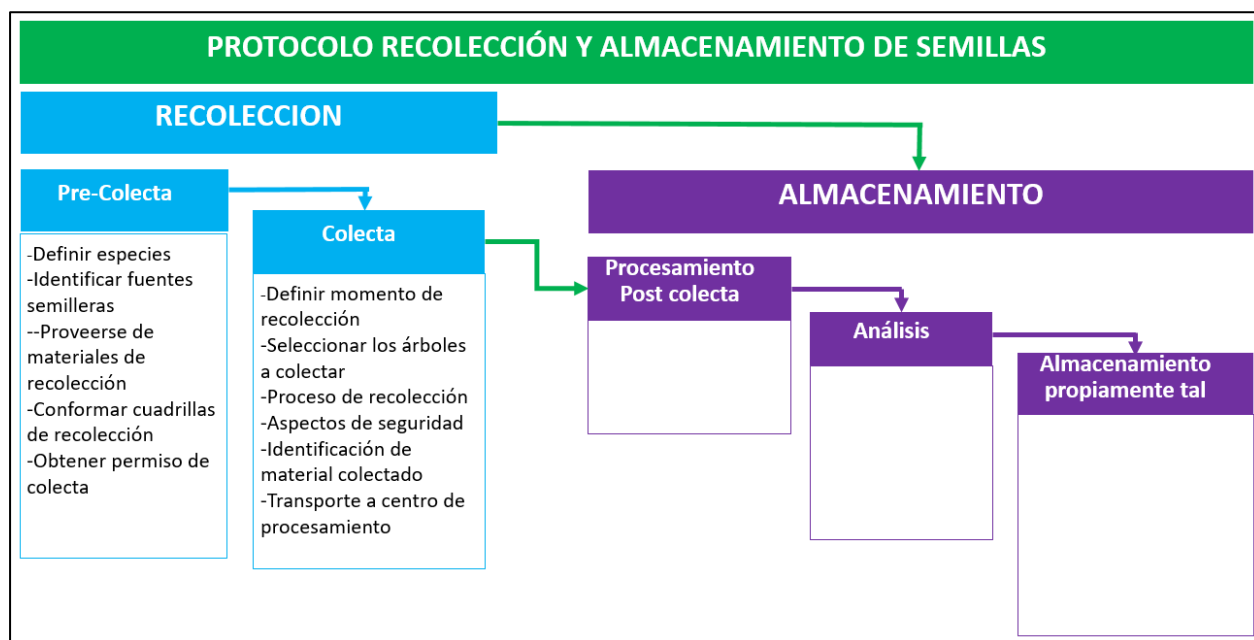


Figura 9. Etapas del protocolo de recolección de semillas

ETAPA DE PRECOLECTA

Definir Especies

Las especies a considerar en las campañas de recolección de semillas deben ser definidas en forma previa, en función de los intereses y demandas de las iniciativas de restauración que harán uso del material colectado (Niculcar, 2021). Consecuentemente la campaña de colecta se planificará y ejecutará para satisfacer una demanda de semillas específica, previa y oportunamente definida e informada. La idea subyacente es contar con requerimientos definidos respecto de las especies a colectar, y la cantidad requerida de semillas, estimada en función del uso que se les dará a las mismas. Por ejemplo, las metas de producción de plantas, combinadas con antecedentes estándares de germinación, mortalidad y pérdidas en vivero, número aproximado de semillas por Kg, relación peso de fruto / peso semillas, permiten una primera estimación de la cantidad de Kg de frutos a recolectar en terreno para satisfacer la demanda de semillas requeridas de una especie en particular.

Conocer con bastante antelación los requerimientos del vivero, en cuanto a especies y cantidades de semillas, permitirá programar oportunamente la recolección, recordando que la semilla puede obtenerse solo durante cierta temporada, y que en algunas especies la semillación adecuada no se produce todos los años.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Seleccionar Fuente Semillera

Uno de los aspectos fundamentales para programar la recolección de semillas es definir las fuentes donde se hará la recolección. Esta definición debe hacerse específicamente en función del área a restaurar, atendiendo a las consideraciones genéticas previamente indicadas, especialmente las relacionadas al uso de semilla local.

La definición de los lugares de recolección de semillas no puede fijarse a priori, pues dependerá de los sitios donde pretenda utilizarse la semilla, es decir, de la ubicación del área a restaurar. Para estos efectos, la recolección de semillas de una especie deberá prioritariamente realizarse en un hábitat similar al del área a restaurar (principio de adaptabilidad de la semilla local), y adicionalmente comprender más de una población, para tener en cuenta los criterios de variabilidad genética, potencial evolutivo y cambio climático comentados previamente en el punto de consideraciones genéticas para la recolectar semillas.

Las zonas de procedencia constituyen una opción adecuada para orientar la recolección de semillas para un sitio determinado¹. La mayor parte de ella debe provenir idealmente del mismo sitio o zona de procedencia, y una proporción complementaria desde zonas diferentes para proporcionar variabilidad.

La participación de las fuentes semilleras en la composición del lote de semillas que se usará en restauración ecológica puede componerse de un 70 a 80% de semilla local, 15 a 20% de intermedia y 5 a 10% de semilla lejana; como intermedia puede considerarse a la misma zona de procedencia, y como lejana a otras zonas de procedencia. Lo anterior en concordancia con los antecedentes indicados en el punto de consideraciones genética para recolectar semillas.

Para definir las áreas con presencia de las especies a coleccionar se usarán antecedentes bibliográficos respecto a los rangos de distribución natural de las especies, e información sistematizada como la del catastro del bosque nativo. Las áreas de colecta propiamente tal, corresponden a rodales con presencia de la especie ubicados en predios de particulares, o del sistema de áreas silvestres protegidas.

Proveerse de los Materiales de Recolección

Para la recolección de semillas se requieren diversos materiales, tanto para la recolección misma, como para contar con la información que debe respaldar a cada lote. Entre los materiales requeridos para la recolección se deben incluir aquellos necesarios para alcanzar los frutos; elementos que recibirán los frutos (lonas, mallas), material para el traslado de los frutos colectados. También elementos para la adecuada rotulación y empaque de las muestras, así como para la toma y registro de los datos en terreno. Generalmente las bolsas de papel son un recipiente apropiado para contener los frutos o semillas colectados. Estas pueden variar en su tamaño, sin embargo, deben permitir ser dobladas al cerrarlas. Ellas se complementan con etiquetas adhesivas y permiten ser rotuladas directamente en el papel.

Un detalle de los materiales generalmente utilizados durante la recolección de semillas se presenta en el listado siguiente, siendo importante chequear que se dispone de ellos antes de comenzar a coleccionar.

¹ Se incluye como Anexo la definición de zonas de procedencia de Quiroz & Gutiérrez (2014) para la región.

Implementos de colecta

- escaleras
- pértigas largas (mínimo 4 mt)
- cuerdas
- tijeras podadoras
- serruchos
- tijerones
- lonas, mallas, telas o polietileno (preferentemente malla raschel de 50 a 80% de sombreadamiento),
- baldes, cubos plásticos
- canastos
- Bolsas de papel kraft, bolsas plásticas
- Sacos de polipropileno
- agujas para sacos
- hilo plástico de coser
- etiquetas, formularios
- lápices y plumones de tinta indeleble
- Binoculares
- GPS.

Implementos de seguridad:

- zapatos,
- guantes,
- cascos,
- fajas lumbares
- arneses o cinturones,
- Botiquín de primeros auxilios

Conformar Cuadrillas de Colecta

En la mayoría de los casos el equipo de recolección podrá constituirse con dos a cuatro personas en una camioneta 4x4. El equipo debe contar con experiencia y capacidades complementarias que incluyan, reconocimiento de especies, identificación y recolección de semillas, conducción, interpretación de mapas, uso de equipos de georreferenciación y de medición de las variables a registrar, normas de seguridad y primeros auxilios, salud y condición física compatible con el trabajo a realizar.

Obtener Permiso de Colecta

La recolección de semillas normalmente se efectúa en propiedades privadas. Si bien en Chile no existe normativa legal que regule el acceso a los recursos genéticos, lo que se acostumbra es que los recolectores informan al propietario el objetivo de su cometido y obtengan de este su consentimiento o autorización para ingresar a su propiedad y realizar la recolección. Este permiso debe obtenerse antes



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



de iniciar la recolección en propiedades públicas o privadas. Como una buena práctica se sugiere que una vez terminada la recolección, se le informe al propietario el resultado de la labor efectuada en su terreno y se le entregue información escrita del proyecto de restauración que motivó la recolección de semillas.

ETAPA DE COLECTA

Definir Momento de Recolección

El único criterio que determina el momento de recolección es el de obtener frutos maduros. Como regla general la maduración se produce en verano y existen antecedentes derivados de distintas observaciones que sugieren determinados períodos de meses para efectuar la recolección de semillas de cada especie (ver cuadro 3 del punto Consideraciones Regionales para Colectar Semillas). No obstante, la fenología de las especies puede variar año a año, debido a las condiciones climáticas, por lo mismo, para estimar cuándo se producirá la maduración de los frutos y dispersión de las semillas, es aconsejable efectuar visitas prospectivas previas y no confiarse solamente en los periodos de recolección mencionados en la bibliografía.

Seleccionar los Árboles a Colectar

Una vez definida la fuente semillera, se debe privilegiar determinados árboles dentro del rodal como los más adecuados para efectuar la recolección de semillas. Sobre este particular, las siguientes orientaciones modificadas a partir de los enunciados de Martínez & Schinelli (2009) resultan de utilidad:

- El rodal a cosechar debe estar creciendo con una densidad uniforme.
- Los árboles seleccionados para cosecha deben ser de porte dominante o codominante.
- Los diámetros de los árboles a cosechar deben ser en lo posible mayores a la media del rodal.
- Recolectar sólo en árboles con buen estado sanitario y de aspecto vigoroso.
- Tener en cuenta que los árboles cosechados estén separados entre sí al menos por la distancia de la caída de la semilla (unos 50 metros en general). Con esto se reduce el riesgo de recolectar semillas de árboles emparentados, lo que reduciría la diversidad genética del lote de plantas producidas.
- Los árboles semilleros deben ser de aspecto diverso. No es necesario concentrar la colecta solo sobre árboles que respondan al prototipo de individuo deseable para plantación forestal productiva.
- Recolectar preferentemente entre 25 y 50 árboles por rodal, con el objetivo de asegurar una aceptable diversidad genética en el lote de plántulas.

Normalmente será necesario buscar un criterio intermedio entre la producción abundante de semilla y el aspecto de los árboles semilleros. Casi siempre los árboles que poseen una gran ramificación, son los que producen mayor cantidad de semillas, mientras que los árboles que poseen un porte forestal excepcional, por lo general producen poca cantidad de semilla. Por lo tanto, deberán considerarse ambos aspectos al momento de seleccionar los árboles que serán cosechados. Cosechar sólo los mejores árboles puede ser insuficiente para obtener toda la semilla requerida, y por otra parte no debe perderse de vista que para efectos de restauración ecológica debe representarse adecuadamente la diversidad genética de la especie, de modo que concentrar la colecta sólo en un prototipo de árbol de deseables atributos productivos (fustes rectos, copas angostas, ramas delgadas) provocará un sesgo en la diversidad genética del material colectado.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Proceso de Recolección Propiamente Tal

Llegado el momento de la colecta y tras haber definido los requerimientos de semillas y la fuente semillera, se procederá a identificar los árboles desde los que se recolectará la semilla, y a implementar la labor de colecta propiamente tal. Al respecto, el método de colecta de las semillas quedará determinado fundamentalmente por el tipo de fruto y la forma de dispersión de las semillas. En general para la mayoría de las especies corresponde a una mezcla de los métodos de recolección desde el suelo y del método de lona bajo la copa, ambos detallados en el punto Métodos para Recolectar Semillas. Métodos y orientaciones para especies específicas se presentan en el Cuadro 3 del punto Consideraciones Regionales para Colectar Semillas.

En todos los casos, independientemente del método de recolección se debe cautelar por mantener el material claramente identificado y evitar exponerlo a alta temperatura o sol directo. Para estos efectos, en el caso de **frutos secos**, puede utilizarse bolsas de papel kraft o de tela, las que permiten que el material continúe secándose, hasta que se le aplique el procesamiento post cosecha. En el caso de **frutos carnosos**, deben ser colectados en bolsas o recipientes plásticos, sin llenarlos excesivamente (hasta el 50 a 80% de su capacidad) para mantener la ventilación y evitar así el calentamiento y fermentación de los frutos. Las bolsas de tela resultan útiles especialmente para aquellos frutos carnosos de pulpa delgada (peumo).

Aspectos de Seguridad Durante la Recolección

Existen ciertos riesgos intrínsecos del trabajo en terreno que hacen recomendable que la recolección de semillas no se efectúe en solitario. Especial atención debe ponerse durante la conducción por caminos forestales y en el desplazamiento a pie dentro de los rodales. Se debe tener precaución en la manipulación y transporte de herramientas de corte y particularmente estar atento al desprendimiento de ramas durante la recolección de semillas bajo la copa de los árboles.

Por motivos de seguridad, las cuadrillas de colecta se compondrán de al menos dos personas, las cuales no deberán distanciarse demasiado entre sí durante la faena. A medida que los riesgos aumentan, por ejemplo, en sectores aislados, se recomienda optar por grupos mayores, pudiendo en algunos casos ser recomendable utilizar más de un vehículo con radio-comunicadores, para una comunicación constante entre los grupos (León-Lobos *et al.*, 2014). Si la recolección se efectúa en áreas montañosas, alejadas de centros poblados, se sugiere informar en puestos de policía las áreas a visitar, ruta a seguir y fecha probable de regreso.

Se debe instruir a los operarios respecto a la importancia de utilizar los elementos de protección personal durante toda la faena. Como parte de la información previa, la cuadrilla debe estar informada de los riesgos y precauciones sobre posibles enfermedades endémicas como por ejemplo virus hanta.

Es recomendable que al menos uno de los miembros del equipo cuente con conocimientos de primeros auxilios y que se disponga de un botiquín para esos efectos. Como norma general, es deseable que un miembro del equipo, distinto del chofer, cuente con una copia de las llaves del vehículo.

Identificación del Material Recolectado

Cualquiera haya sido el método de colecta, las bolsas con la semilla recolectada deben identificarse con etiquetas donde se recomienda registrar al menos los siguientes antecedentes (Moreno, 2009):



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



- Número de bolsa
- Especie
- Predio
- Fecha colecta
- Colector

Adicionalmente para cada bolsa se debe registrar en un formulario o cuaderno de colecta, información complementaria de caracterización del sitio de colecta y de la población colectada:

- Número de bolsa
- Especie
- Localidad: equivale al sector, pueblo o caserío.
- Predio:
- comuna/provincia/región
- Variables Geográficas: coordenadas y altitud
- Fecha colecta:
- Responsable:
- Tipo de bosque: natural/artificial; Puro/Mixto)
- Especies principales
- Especies acompañantes
- Posición social de semilleros
- Observaciones de interés: Número de árboles colectados, condición del rodal, estado sanitarios, grado de abundancia de la semillación, otros.

Transporte a Centro de Procesamiento

Los frutos/semillas colectados y adecuadamente identificados, deben ser transportados o despachados a las dependencias donde se les practicará el procesamiento post colecta. Lo fundamental de esta fase es reducir el tiempo desde la recolección hasta el procesamiento, y efectuarlo bajo condiciones en que se evite la exposición a alta temperatura, sol directo o humedad; todo lo anterior para evitar el biodeterioro de los frutos/semillas recolectados.

Lo habitual es que la misma cuadrilla de colecta transporte en su camioneta la semilla colectadas después de terminada la campaña, o una vez a la semana cuando esta se extiende por más tiempo. También se puede coordinar el despacho por medios habituales de transporte interurbano, cuando exista esa posibilidad, teniendo especial precaución de coordinar la recepción del material enviado con el personal que estará a cargo de su procesamiento.

Los aspectos operativos del procesamiento post colecta se abordan en el capítulo siguiente, correspondiente al almacenamiento de semillas.



2. ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



2. ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS¹

2.1 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PREVIAS

SEMILLAS ORTODOXAS Y RECALCITRANTES

A pesar de la utilidad que representa el almacenamiento de semillas, esta opción se encuentra limitada como consecuencia de la existencia de semillas no ortodoxas o recalcitrantes que pierden rápidamente su viabilidad y por lo tanto no son almacenables.

El almacenamiento de semillas sólo resulta apropiado para aquellas especies cuyas semillas toleran la desecación (semillas ortodoxas), y no resulta de utilidad en el caso de aquellas especies de semilla recalcitrante, que no toleran una deshidratación significativa respecto al contenido de humedad presente en el momento de la diseminación (generalmente entre el 30% y 50%), por lo mismo no pueden ser objeto de almacenamiento para las temporadas siguientes. En este contexto, a pesar de las décadas de investigación sobre métodos de almacenamiento, sólo se han hecho progresos limitados, de modo que en la práctica las semillas recalcitrantes no pueden almacenarse y deben usarse en la misma temporada de recolección (Gutiérrez, 2015).

Según León Lobos *et al.* (2014) cerca del 80% del total de la flora mundial posee semillas ortodoxas. En el caso de los árboles chilenos, las especies con semillas ortodoxas se caracterizan por poseer frutos secos, como las nueces producidas por los *Nothofagus* o las vainas indehiscentes como las de *Prosopis*, tara (*Caesalpinia spinosa*) o alcaparras (*Senna spp.*). Las semillas ortodoxas también pueden provenir de conos, como Ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*), ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendrum uviferum*) o alerce (*Fitzroya cupressoides*). Frutos carnosos, como las drupas del boldo (*Peumus boldus*) o las bayas del canelo (*Drimys winteri*) también pueden producir semillas ortodoxas (Cuadro 4).

En los árboles nativos de semillas grandes, estas suelen ser recalcitrantes, como ocurre con la araucaria (*Araucaria araucana*), los bellotos (*Beilschmiedia miersii* y *B. berteriana*), el olivillo (*Aextoxicon punctatum*), lingue (*Persea lingue*) y peumo (*Cryptocarya alba*). Por el contrario, otras especies nativas de semilla grande son ortodoxas y resisten la desecación y almacenamiento, por ejemplo, la palma chilena (*Jubaea chilensis*) y el chañar (*Geoffroea decorticans*).

También existen especies nativas con semillas recalcitrantes pequeñas, las que se caracterizan por presentar testas delgadas, membranosas y de aspecto húmedo, además de un embrión de gran tamaño en relación a la semilla y generalmente de color verde. Algunos ejemplos de este tipo de semillas son las mirtáceas como el arrayán (*Luma apiculata*) y el chequén (*Luma chequen*).

El tipo de fruto es otra característica a considerar ante una sospecha de semillas recalcitrantes, generalmente están contenidas en bayas. Bellotos, peumos, lingues y arrayanes poseen este tipo de frutos, sin embargo, no todos los frutos carnosos generan semillas recalcitrantes, como queule (*Gomortega keule*) o las especies del género *Azara*.

Aunque las semillas recalcitrantes están distribuidas en distintos grupos y no siguen una regla general, para el caso de la flora chilena, existe una alta influencia taxonómica. Varios géneros y especies

¹ En la práctica puede resultar más adecuado que esta actividad se concentre en el centro de semillas de CONAF en Chillán, que cuenta con las capacidades para estos efectos.

pertenecientes a las familias *Lauraceae* (peumo, lingue) y *Myrtaceae* (arrayán, chequén), han mostrado comportamientos de tipo recalcitrante en el almacenamiento. Mientras que otras familias de la flora chilena han demostrado tener sólo algunas especies de este tipo, como es el caso de *Proteaceae*, donde solo el avellano (*Gevuina avellana*) se muestra recalcitrante, mientras que las especies de los géneros restantes se comportan como ortodoxas, resistiendo sin problema la desecación y el almacenamiento (Radal (*Lomatia hirsuta*), fuinke (*L. ferruginea*), Ciruelillo (*Embothrium coccineum*)).

Cuadro 4: Tipo de fruto y de semillas de los géneros de las especies forestales chilenas.

Género	Tipo de Semilla	Tipo de Fruto
<i>Acacia</i>	ORTODOXA	Legumbre indehiscente
<i>Aextoxicon</i>	RECALCITRANTE	Drupa
<i>Amomyrtus</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Araucaria</i>	RECALCITRANTE	Cono
<i>Aristolelia</i>	ORTODOXA	Baya
<i>Austrocedrus</i>	ORTODOXA	Cono
<i>Beilschmiedia</i>	RECALCITRANTE	Baya uniseminada
<i>Caldcluvia</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Citronella</i>	RECALCITRANTE	Drupa Carnosa
<i>Cordia</i>	ORTODOXA	Drupa leñosa
<i>Crinodendron</i>	RECALCITRANTE	Cápsula
<i>Cryptocarya</i>	RECALCITRANTE	Baya uniseminada
<i>Dasyphyllum</i>	ORTODOXA	Aquenio
<i>Drimys</i>	ORTODOXA	Baya
<i>Embothrium</i>	ORTODOXA	Folículo dehiscente
<i>Escallonia</i>	ORTODOXA	Cápsula pequeña
<i>Eucryphia</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Fitzroya</i>	ORTODOXA	Cono
<i>Gevuina</i>	RECALCITRANTE	Nuez
<i>Gomortega</i>	ORTODOXA	Drupa
<i>Jubaea</i>	ORTODOXA	Drupa
<i>Kageneckia</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Laurelia</i>	ORTODOXA	Aquenio
<i>Laureliopsis</i>	ORTODOXA	Aquenio
<i>Legrandia</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Lithraea</i>	ORTODOXA	Drupa Seca
<i>Lomatia</i>	ORTODOXA	Folículo dehiscente
<i>Luma</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Maytenus</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Myrceugenia</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Nothofagus</i>	ORTODOXA	Nuez
<i>Persea</i>	RECALCITRANTE	Baya uniseminada
<i>Peumus</i>	ORTODOXA	Drupa
<i>Pilgerodendron</i>	ORTODOXA	Cono
<i>Pitavia</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Podocarpus</i>	ORTODOXA	Cono con arilo carnoso
<i>Pouteria</i>	RECALCITRANTE	Baya
<i>Proustia</i>	ORTODOXA	Aquenio
<i>Prumnopitys</i>	ORTODOXA	Cono drupáceo
<i>Quillaja</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Salix</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Saxegothaea</i>	ORTODOXA	Cono
<i>Schinus</i>	ORTODOXA	Drupa
<i>Sophora</i>	ORTODOXA	Legumbre indehiscente
<i>Tepualia</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Trevoa</i>	ORTODOXA	Cápsula
<i>Weinmannia</i>	ORTODOXA	Cápsula

(Fuente: Adaptado de León Lobos *et al.*, 2014)

CONSIDERACIONES GENERALES PARA ALMACENAR SEMILLAS

Una vez terminadas las campañas de colecta y obtenidos los frutos o semillas, estas deben someterse a una serie de actividades de manejo post cosecha antes de ser almacenadas, ya sea para su uso durante la misma temporada, para años posteriores o para conservación de largo plazo (Gutiérrez *et al.*, 2015). Un aspecto fundamental asociado al procesamiento de semillas es el de mantener una adecuada identificación de las muestras desde su recolección hasta almacenamiento, y en todas las etapas intermedias de su procesamiento. Es fundamental mantener la trazabilidad a través de un buen etiquetado, con códigos de colecta estandarizados que identifiquen a cada lote.

El almacenamiento de semillas resulta una opción apropiada para aprovechar años de buena producción y generar un stock que pueda ser utilizado durante los años siguientes, o en la ocasión que se requiera; también para aprovechar los saldos de semillas no viverizada en una temporada; como medida de conservación de las semillas para algún fin particular; o simplemente para guardarlas desde el momento de su colecta hasta el momento de su utilización, manteniendo la viabilidad y evitando su biodeterioro.

En efecto, el almacenamiento de semillas es uno de los métodos más efectivos para mantener germoplasma viable hasta el momento de su utilización, y consiste básicamente en secar las semillas hasta bajos niveles de humedad, inclusive inferiores a 4%; y almacenarlas a temperaturas desde 4 a 5 °C en un refrigerador normal, hasta varios grados bajo cero en cámara de frío (Figura 10) y ser capaces de germinar sin problema después de rehidratarse (Gold *et al.*, 2004).



Figura 10. Desecador de sílica gel (izquierda); vista exterior e interior de cámara de frío para almacenamiento de semillas de INFOR Biobío (centro y derecha).

Al igual que todos los demás seres vivos, las semillas sufren un proceso de envejecimiento que culmina en la muerte. En las semillas ortodoxas la pérdida de viabilidad es un fenómeno que está regido en gran parte por la tasa de respiración, de modo que las medidas que reduzcan la tasa de respiración sin producir daños, permiten prolongar la vida de la semilla almacenada. Esas medidas son:



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



GREEN
CLIMATE
FUND



Control del Oxígeno

La forma más evidente de reducir la tasa de respiración aeróbica consiste en excluir el oxígeno de la atmósfera que rodea a las semillas. Esto puede efectuarse sustituyendo el oxígeno por otros gases, como CO₂ o nitrógeno, o mediante un vacío parcial o completo. Sin embargo, algunos de estos métodos son de costosa aplicación, y además sus efectos sobre la vida de la semilla no son tan notables como los que tienen las diferencias de temperatura y humedad (FAO, 1991). Lo anterior obedece a que la exclusión del oxígeno evita la respiración aeróbica, pero no la anaeróbica, mientras que reduciendo el contenido de humedad y la temperatura se consigue rebajar el nivel de ambas.

En la práctica para controlar el contenido de oxígeno se recomienda un método sencillo consistente simplemente en llenar lo más posible unos recipientes herméticos. Si dentro del recipiente queda solamente una pequeña cantidad de aire en comparación con el volumen ocupado por las semillas, se consumirá el oxígeno y se producirá CO₂. La combinación resultante, más CO₂ que O₂, es favorable para la longevidad de las semillas ortodoxas.

Excluir el oxígeno de la atmósfera de almacenamiento puede ser conveniente para semillas ortodoxas, pero no resulta apropiado para almacenar semillas recalcitrantes.

Control del Contenido de Humedad

En las semillas ortodoxas, el contenido de humedad (CH) es probablemente el más importante de los factores que determinan su longevidad. Reduciendo el CH se reduce la respiración, y con ello se desacelera el envejecimiento de la semilla y se prolonga su viabilidad. Como medida de almacenamiento de semillas, el control del contenido de humedad es más importante que controlar la temperatura.

Para casi todas las especies ortodoxas se considera seguro un contenido de humedad del 4 al 8%. Para el almacenamiento prolongado es preferible no superar el 5% de contenido de humedad. Por otra parte, cuando se reduce el contenido de humedad por debajo del 2% en muchas especies aumenta considerablemente el riesgo de que la semilla sufra lesiones. Llevar el secado hasta esos extremos es más costoso que limitarlo al 4-8% habitual, y probablemente sea una práctica que deba limitarse sólo a casos excepcionales.

Las fluctuaciones del contenido de humedad de la semilla almacenada debidas a un almacenamiento abierto, sin control de la humedad, o a que los recipientes herméticos se abren y cierran con frecuencia producen un deterioro de la capacidad de germinación de las semillas. De hecho, una humedad ligeramente superior al óptimo pero constante suele ser menos perjudicial que otra que fluctúe entre el nivel óptimo y otro más alto.

Control de la Temperatura

Cuanto más baja es la temperatura, tanto menor es la tasa de respiración, y por ello tanto más extensa será la vida de la semilla almacenada. En el caso de las semillas ortodoxas, cuyo contenido de humedad puede reducirse hasta unos niveles bajos, se consigue una longevidad aún mayor mediante el almacenamiento a temperaturas inferiores a 0°C.

Cuanto más baja sea la temperatura que hay que mantener en una cámara fría, tanto más alto será su costo, y posiblemente no sean necesarias temperaturas inferiores a cero grados cuando la semilla, está adecuadamente seca (4-8% contenido de humedad) o cuando solo se requiere almacenarla por uno o



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



dos años. La conveniencia de las temperaturas inferiores a cero grados se manifiesta solo para períodos de almacenamiento de cinco años o más.

En general, temperaturas de 1 a 5°C son adecuadas para almacenamiento de hasta cinco años. Para casos especiales de conservación de largo plazo se pueden usar temperaturas de -4 a -15°C, no obstante, es necesario evitar por completo los riesgos de daño por congelación debido a la formación de hielo en las semillas que tienen un CH alto. Para usar temperaturas bajo 0°C el contenido de humedad no puede ser superior al 15%

Otras Consideraciones

La manipulación deficiente en el bosque, durante el tránsito o durante el procesamiento, deteriora fisiológicamente las semillas aun cuando no existan daños mecánicos o por hongos. Se debe evitar recolectar semillas que presenten una alta incidencia de daños, y efectuar todas las operaciones de recolección, transporte, procesamiento, etc. con la mayor rapidez posible, a fin de asegurar que la semilla no resulte afectada antes de iniciar el almacenamiento.

Aun en las condiciones de almacenamiento ideales, la semilla perderá prontamente su viabilidad si desde el principio no se encuentra en buen estado. En efecto, las semillas plenamente maduras conservan su viabilidad durante más tiempo que las semillas que se recolectan inmaduras.

Las semillas que resultan dañadas mecánicamente durante la extracción, limpieza, separación de las alas, etc. pierden enseguida su viabilidad. El calor excesivo durante la extracción o el secado también produce daño. Durante la preparación de la semilla para el almacenamiento, se debe procurar que se empleen los tiempos mínimos, y las temperaturas más bajas.

Los lotes de semilla que tienen inicialmente una viabilidad y una capacidad de germinación altas presentan en el almacenamiento una longevidad mayor que los que tienen una viabilidad inicial baja.

2.2 PROCEDIMIENTOS PARA ALMACENAR SEMILLAS

MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS

Existen diversos métodos de almacenamiento de semillas, cuya utilidad depende de la especie, periodo esperado de almacenamiento y costo de implementación. De acuerdo con FAO (1991) estos métodos son:

A Temperatura y Humedad Ambiente

Es el método más simple y menos apropiado, puede servir para almacenar semillas dentro de una temporada, en lugares de clima fresco y seco. Para este efecto las semillas se pueden extender en capas muy delgadas en lugares bien ventilados, protegidos de la lluvia y de la acción depredadora de aves y roedores.

En Seco con Control de Contenido de Humedad, pero No de Temperatura

Las semillas mantienen mejor su viabilidad cuando se secan hasta un contenido de humedad bajo (4 a 8%) que cuando se almacenan en condiciones de equilibrio con la humedad del ambiente. En este método se seca la semilla hasta el nivel adecuado, y después se almacena en recipientes herméticos y llenos. La



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



viabilidad se prolonga aún más cuando se pueden proporcionar condiciones de temperatura fresca, aunque no controlada, por ejemplo, en bodegas u otras habitaciones protegidas del sol directo.

Siempre que los recipientes no se abran con demasiada frecuencia y que el cierre hermético sea eficaz, mediante este método se puede mantener el contenido de humedad bajo durante varios años.

En seco con Control de Contenido de Humedad y de Temperatura

Como una mejora al método anterior se agrega el control de la temperatura de almacenamiento. El método normalmente involucra semilla con un contenido de humedad 4 a 8% y una temperatura controlada del orden de 0 a 5 °C, lo que permite mantener la viabilidad de semillas ortodoxas durante cinco años o más. El uso de temperaturas inferiores permite conservar la viabilidad por periodos mayores, aunque puede demandar un mayor grado de secado de las semillas.

En Húmedo sin Control de Contenido de Humedad ni Temperatura

Este método de almacenamiento es equivalente al tratamiento pregerminativo de estratificación al aire libre. Si bien esta estratificación está concebida para superar la latencia interna, cumple de paso la función de almacenar las semillas durante unas semanas o meses.

Resulta útil para almacenar semillas recalcitrantes durante unos pocos meses, en espera de que pase el invierno. Pueden almacenarse las semillas en montones colocados directamente sobre el suelo, en pozos poco profundos o en capas dentro de cobertizos bien ventilados, o mezclados con arena húmeda, turba u otros materiales porosos. Permite mantener unas condiciones húmedas y frescas, junto con una buena ventilación para evitar el recalentamiento que puede derivarse de la combinación de unas tasas de respiración relativamente altas y el almacenamiento en húmedo.

En Frío Húmedo con Control de Temperatura

El método es adecuado para mantener por periodos cortos semillas de especies recalcitrantes, las que no pueden ser desecadas. Considera mantener una temperatura controlada baja, normalmente entre 3 y 5 °C, lo que reduce la tasa de respiración y prolonga la vida en almacenamiento. Temperaturas inferiores a 0°C pueden producir daño en semillas que tienen un alto contenido de humedad, debido a la formación de cristales de hielo en su interior.

La humedad puede controlarse dentro de unos límites aproximados añadiendo a la semilla materiales húmedos, como por ejemplo arena, turba o una mezcla de ambas cosas, en las proporciones de una parte de ese material por una parte de semilla en volumen, y rehumedeciendo el conjunto periódicamente. Lo anterior debido a que en este caso las semillas no deben almacenarse en recipientes herméticos e impermeables a los gases, lo que les limitaría el aporte de oxígeno.

PROTOCOLO DE ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS ORTODOXAS

Las fases y etapas del protocolo de almacenamiento de semillas se ilustran en la Figura 11.

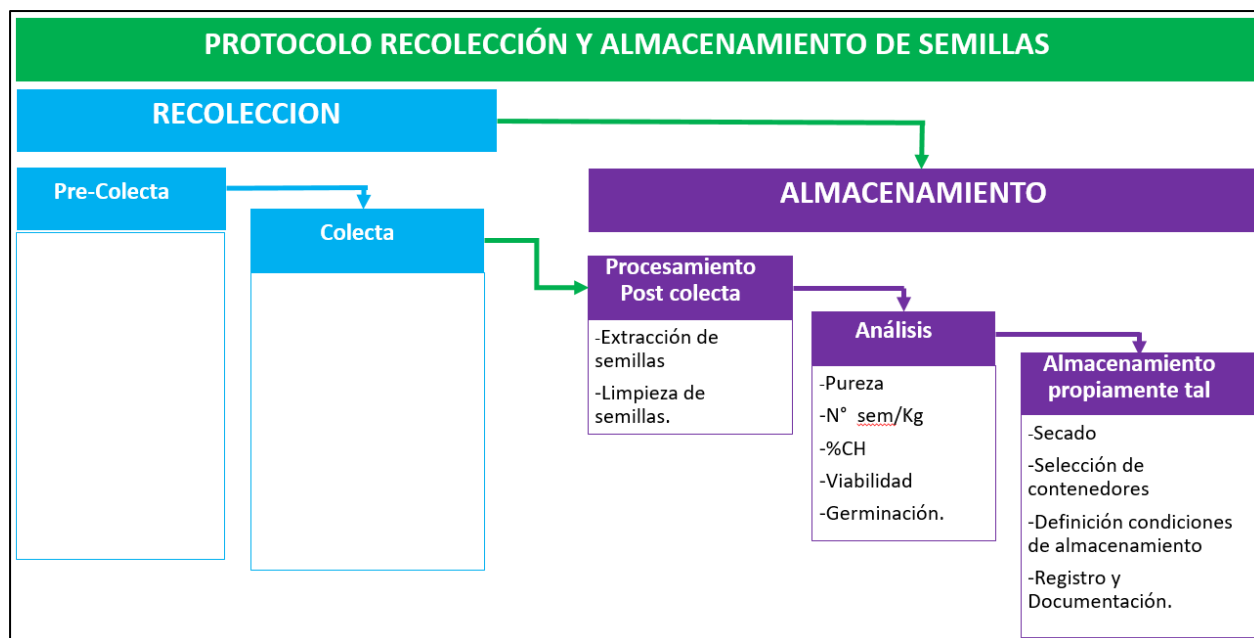


Figura 11. Etapas del protocolo de almacenamiento de semillas

ETAPA DE PROCESAMIENTO POST COLECTA

Extracción de Semillas

Una vez recolectados los frutos o semillas en terreno, deben procesarse para su utilización o almacenamiento. Durante este procesamiento se extraen las semillas de los frutos y se eliminan los desechos restantes. En términos generales el procesamiento de las semillas se debe realizar inmediatamente después de la colecta, para mantener la calidad del material colectado. Los procedimientos y consideraciones para el procesamiento post colecta están detallados en el manual de recolección de semillas forestales de León Lobos *et al.* (2014) y corresponden a los siguientes:

Para maximizar la calidad de la semilla, el período entre la recolección y la transferencia a un medio de secado controlado deberá estar dentro de 3 a 5 días, o tan corto como sea posible, teniendo en cuenta que las semillas no deben ser expuestas a altas temperaturas ni a la luz intensa (Niculcar, 2021). Si los frutos se colectaron antes de su madurez, generalmente se recomienda brindarles un periodo bajo condiciones que favorezcan la maduración de sus semillas¹. Para este efecto resulta apropiado disponer los frutos completos, sin extraer las semillas, en un ambiente fresco y bien ventilado, evitando que se deshidraten. En general, las condiciones de post-maduración que se aconsejan son temperaturas frescas de alrededor de 20°C, con alta humedad. Temperaturas más altas aceleran el metabolismo y por lo tanto

¹ Esto no siempre es así, existen especies como el boldo (*Peumus boldus*) donde la sobremaduración de los frutos induce latencia a las semillas que contienen.

aceleran el envejecimiento de semillas, reduciendo su viabilidad y por ende su calidad (Wang y Beardmore, 2004; León-Lobos *et al.*, 2014).

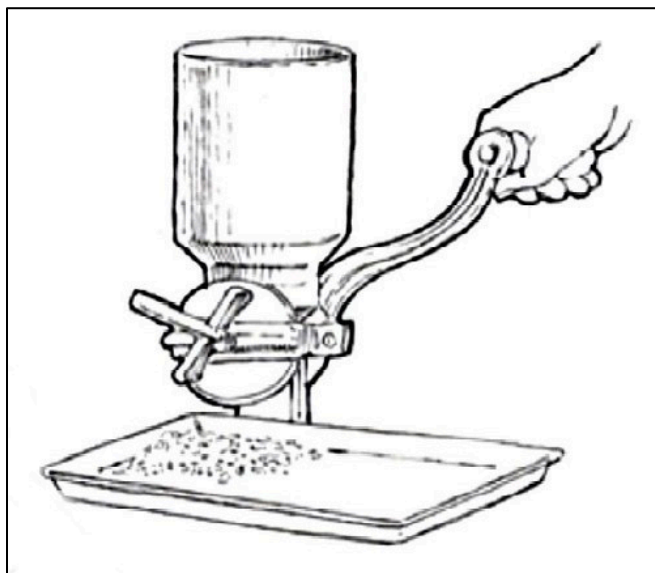
Según distintos autores (Gold *et al.*, 2004; León Lobos *et al.*, 2014; Niculcar, 2021; Rao, 2006) y dependiendo del tipo de frutos que las contienen, la extracción de las semillas se puede efectuar de las siguientes formas:

- **Extracción de Semillas desde Frutos Secos Dehiscentes**

La extracción de semillas desde frutos secos dehiscentes es la más simple. Normalmente se abren fácilmente durante el secado cuando están dispersos en una capa delgada con suficiente circulación de aire. La liberación física de las semillas de sus frutos varía según la especie. En algunas, un movimiento leve como rastrillarlas, sacudirlas o dejarlas caer es suficiente para que todas las semillas sean liberadas de los frutos, como en quillay u otras semillas aladas. Sin embargo, las semillas de ciertas especies como en algunas leguminosas mantienen una unión más fuerte a través del funículo y las semillas pueden requerir extracción manual.

- **Extracción de Semillas desde Frutos Secos Indehiscentes**

Los frutos indehiscentes no se abren naturalmente para dispersar sus semillas, por lo que requieren que sean partidos, quebrados o triturados para liberarlas (espino, *Acacia caven*). Un secado inicial puede facilitar la extracción, ya que los frutos normalmente se tornan más quebradizos. Esta tarea puede hacerse en forma manual por frotación, pisoteo o golpeteo. En algunos casos el uso de molinillos manuales o eléctricos puede facilitar la tarea (Figura 12), aunque se debe tener el cuidado de calibrar bien la máquina para que sólo triture los frutos, sin dañar las semillas.



(Fuente: León-Lobos *et al.*, 2014)

Figura 12. Molinillo manual doméstico, apropiado para extracción de semillas desde legumbres indehiscentes.

- **Extracción de Semillas desde Frutos Carnosos**

Los frutos carnosos son rápidamente perecibles, por lo mismo deben procesarse prioritariamente. En estos frutos, al iniciarse la fermentación de la cubierta pulposa se corre el riesgo de que las semillas se deterioren.

El método de extracción desde frutos carnosos puede variar según su tamaño. En aquellos grandes, como drupas o bayas de mayor tamaño, pueden ser apretados, abiertos o cortados, dejando caer la pulpa con las semillas en un recipiente para luego ser separadas manualmente, como es el caso de la palma chilena, chañar y belloto del sur. Así, en esta primera etapa se puede eliminar fácilmente la cáscara o cubierta del fruto, la que por su consistencia coriácea tiende a ser más difícil de eliminar en etapas posteriores.

Frutos más pequeños, blandos o pulposos como corcolenes, murtillo o arrayanes, pueden ser macerados completamente en forma manual o en recipientes con agua. En ambos casos el resultado será una mezcla de pulpa con semillas que puede ser separada utilizando mallas, tamices, o coladores de cocina. La pulpa puede ser fácilmente separada de las semillas, debido a que normalmente flota y puede ser eliminada junto con el agua, mientras que las semillas se van al fondo (Figura 13). Este lavado puede repetirse hasta que la mayor parte de la pulpa haya sido descartada. Frutos un poco más resistentes, pueden romperse apretándolos contra tamices bajo el agua.



(Fuente: Niculcar, 2021)

Figura 13. Proceso de extracción de semillas desde frutos carnosos mediante maceración en agua.

Algunos frutos carnosos pueden presentar muy poca pulpa y pueden ser tratados casi como frutos secos. Lo mismo ocurre con maitén (*Maytenus boaria*) cuya semilla está completamente cubierta por un arilo

ceroso, estas pueden almacenarse con arilo y extraerlo sólo antes de la siembra para mejorar la germinación. Otras semillas pueden presentar sólo apéndices pulposos como es el caso del arilo del mañío de hojas largas (*Podocarpus saligna*). En estos casos, no se recomienda el remojo y lavado, sino que estas semillas pueden ser procesadas como frutos secos, dejando secar la pulpa o los apéndices carnosos para extraerlos manualmente una vez secos (Figura 14).



(Fotografía R. Ipinza)

Figura 14. semillas de mañío con apéndice (arilo) carnoso.

Limpieza de Semillas

Una vez extraídas las semillas desde los frutos, se procede a la limpieza de las mismas. En esta etapa junto con los demás residuos y en la medida que puedan ser diferenciadas, se debe retirar también las semillas infestadas, para evitar extender el daño a las semillas sanas. Lo mismo se aplica a las semillas vanas, dañadas, perforadas y a las semillas de otras especies que puedan aparecer en la muestra.

El proceso de limpieza debe ser eficiente, cuidando de no dañarlas, de no incurrir en desperdicio innecesario de semillas y conservando en todo momento la identificación de cada lote.

Se puede realizar de manera manual o se pueden utilizar algunos equipos. Las herramientas más habituales para la limpieza de semillas son los tamices de distinta graduación. Estos pueden operarse manualmente, o con un equipo agitador-vibrador automático (Figura 15). Existen también máquinas específicas para limpiar semillas en base al peso o con corrientes de aire, que se ajustan para separar las semillas viables de los residuos. Estos equipos los comercializan compañías especializadas y existen diferentes modelos en función de la cantidad de semillas a limpiar y el rendimiento por unidad de tiempo (Figura 16).



(Fotografías: R. Niculcar; B. Gutiérrez)

Figura 15. Tamices para limpieza de semillas (izquierda y centro). Equipo agitador de tamices mediante vibración, con control de tiempo y amplitud de la vibración (derecha).



(Fuente: <https://www.seedprocessing.com/others-cleaning/>)

Figura 16. Equipos para limpieza y calibración de semillas. Dentro de cada tipo hay modelos de diferente capacidad y rendimiento



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Para volúmenes pequeños se recomienda la limpieza manual, debido a que se minimizan los daños a las semillas y se mantiene la heterogeneidad propia de las muestras, evitando que aquellas muy pequeñas o muy grandes sean descartadas. Para este efecto se puede utilizar tamices o harneros. Se recomienda partir con una malla fina para eliminar el polvo y luego una de mayor tamaño para los desechos más grandes, y posteriormente ir probando distintos tamaños de rejilla que ayuden en la separación de las semillas. Es importante verificar en cada separación que no se esté eliminando simiente viable, devolviendo a la muestra las semillas en caso de ser necesario. Residuos livianos, como cascarillas o incluso las semillas vanas, pueden ser eliminados con el uso del viento, un ventilador o un soplador de semillas, dejando sólo las unidades viables, que por lo general son más pesadas.

Posteriormente, cuando ya se cuenta con la semilla limpia, se procede a caracterizarla y secarla para su almacenamiento. La caracterización corresponde a una serie de análisis para determinar parámetros físicos y biológicos que resultan de interés, por ejemplo, para planificar la siembra y producción de plantas (pureza, nº de semillas por kilo, germinación, etc.) y que se detallan a continuación. El secado por su parte, corresponde a una disminución del contenido de humedad para asegurar la viabilidad durante el almacenamiento, este aspecto se describe en la etapa de almacenamiento propiamente tal.

ETAPA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS SEMILLAS

Una vez que las semillas están separadas de sus frutos y limpias, se pueden evaluar tanto en sus parámetros físicos como biológicos. Los parámetros físicos como Pureza, Número de semillas por kilogramo y contenido de humedad se determinan mediante conteo y pesaje de submuestras de semillas de cada lote; la viabilidad o calidad biológica de las semillas puede estimarse mediante pruebas de corte, de flotación, de tetrazolium o de germinación, siendo esta última la que mejor describe la calidad de la semilla (Rao *et al.*, 2006). Los resultados de estas pruebas deben registrarse junto a la demás información, en una base de datos asociada al código de cada lote de semillas. Estos antecedentes serán de utilidad para dimensionar próximas campañas de colecta, planificar el almacenamiento, y también representan antecedentes prácticos para dimensionar las faenas de siembra.

Pureza

El análisis de pureza es el primer ensayo que se realiza a la semilla, pues los ensayos posteriores (excepto el de contenido de humedad) se efectúan usando solo la fracción de semilla pura que se obtiene en esta primera evaluación.

El análisis de pureza tiene por finalidad determinar la composición, en peso, de la muestra que es objeto del ensayo. Corresponde a la proporción en porcentaje del peso de la semilla pura respecto al peso total de la muestra que incluye semillas puras más residuos o material inerte.

De acuerdo con ISTA (2016) en este análisis se considera como semilla pura a las semillas maduras y sin daños y también a las semillas de tamaño inferior al normal, consumidas, inmaduras, germinadas y a los trozos de semillas rotas, cuyo tamaño sea superior a la mitad del original, todas ellas en la medida que puedan identificarse claramente que pertenecen a la especie que se está evaluando. Por el contrario, las semillas de leguminosas y coníferas que han perdido por completo la cubierta se consideran materia inerte o residuo, lo mismo para todas aquellas semillas que no pertenecen a la especie que está en análisis y para los trozos de semillas rotas o dañadas cuyo tamaño es inferior a la mitad del original. Fragmentos de hoja, ramitas, piedras o tierra u otros materiales, así como las alas de semillas de coníferas no retiradas en la limpieza inicial, también se consideran residuos.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



La muestra de trabajo para determinar la pureza se calcula para que contenga al menos 2.500 semillas (ISTA, 2016). Para algunas especies forestales y arbustos, ISTA propone un tamaño mínimo de la muestra de trabajo en gramos, pero atendiendo a que las especies nativas chilenas no figuran en ese listado, permanece el criterio de las 2.500 semillas

Como procedimiento, se pesa la muestra de trabajo, que contiene todas las impurezas, y después se aparta y pesa por separado la semilla pura. El porcentaje de semilla pura se calcula de la manera siguiente (ISTA, 2016; Willan, 1991):

$$\%Pureza = 100 \times \text{peso de semilla pura} / \text{peso total de la muestra}$$

Del componente de semilla pura que se obtiene en el análisis de pureza puede tomarse una submuestra para el ensayo de germinación, así como para determinar el peso de la semilla. Como el ensayo de germinación se basa en semilla pura, se advierte enseguida que el análisis de pureza y el ensayo de germinación se complementan entre sí. No se puede determinar el potencial productivo de un lote de semilla si no se tienen en cuenta a la vez el análisis de pureza y los ensayos de germinación

Número de Semillas por Kg

El peso de la semilla se mide en el componente de semilla pura que se ha separado mediante el ensayo de pureza anterior. Se expresa normalmente como el peso de 1.000 semillas puras, o como el número de semillas contenidas en un gramo, o en un kilogramo (Willan, 1991).

El número de semillas por kilogramo puede determinarse sencillamente contando y pesando las semillas contenidas en una muestra, frecuentemente se usa una muestra de mil semillas, pero podría ser de otro tamaño. No obstante, para mayor rigor, ISTA prescribe pesar ocho réplicas de 100 semillas cada una, con las que se puede calcular la desviación típica y el coeficiente de variación, así como la media del número de semillas por kilogramo o del peso de mil semillas (Willan, 1991).

Independientemente del tamaño de las muestras utilizadas, las expresiones para calcular estos parámetros son las siguientes:

$$N^{\circ} \text{ de semillas por } g = N^{\circ} \text{ de semillas en la muestra} / \text{peso de la muestra en } g$$

$$N^{\circ} \text{ de semillas por Kg} = 1.000 \times N^{\circ} \text{ de semillas en la muestra} / \text{peso de la muestra en } g$$

$$\text{Peso de 1000 semilla} = 1.000 \times \text{peso de la muestra en gramos} / N^{\circ} \text{ de semillas en la muestra}$$

Contenido de Humedad

Como se ha señalado previamente, el contenido de humedad de las semillas es el principal factor que condiciona la mantención de su viabilidad durante el almacenamiento, de allí la importancia de determinar este parámetro para poder decidir si la semilla requiere o no un secado adicional antes de ser almacenada.

La determinación del contenido de humedad se puede efectuar con un equipo específico para este fin, denominado termobalanza, que pesa la muestra, la seca y determina el contenido de humedad; o en su defecto, con el método tradicional de secado en estufa u horno hasta peso constante (Figura 17). En

ambos casos la evaluación debe realizarse sobre dos muestras de unos 5 g cada una, obtenidas de la muestra de trabajo que incluye impurezas, no sobre semillas puras. Las semillas grandes deben triturarse, romperse o cortarse en pequeños fragmentos para facilitar el secado, y una buena norma práctica es romper las semillas que por término medio tengan más de 10 mm de diámetro o longitud. Se pesan las muestras y después se introducen, colocadas en recipientes metálicos y bien espaciadas para facilitar la circulación del aire, en una estufa u horno de secado que se mantiene a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 17 ± 1 horas. Al término de ese período se colocan las semillas a enfriar en ambiente seco durante 30 a 45 minutos, y después se vuelven a pesar (ISTA, 2016; Willan, 1991). Posteriormente el contenido de humedad de cada muestra se determina en base a la diferencia entre el peso original y el peso seco, utilizando la siguiente fórmula.

$$CH\% = 100 \times (\text{peso original} - \text{peso seco}) / \text{peso original}$$

El resultado definitivo del porcentaje de contenido de humedad es el valor promedio de las dos muestras.



(Fotografías: B. Gutiérrez)

Figura 17. Equipo para determinación de contenido de humedad en laboratorios de INFOR Biobío. Termobalanza para determinación directa del contenido de humedad (Izq). Horno de secado para determinación de contenido de humedad por método tradicional de diferencia de peso (der).

Viabilidad

- **Prueba de Corte**

Es una prueba destructiva que consiste en cortar las semillas de una muestra en evaluación, con bisturí, tijeras u otra herramienta compatible con esta tarea, a efecto de poder observar a simple vista o con ayuda de algún aparato óptico, la apariencia general y estructuras internas de la semilla (embrión, cotiledones, endospermo, etc.). La prueba se basa en el principio general de que las semillas viables presentan una apariencia firme blanquecina y un contenido que llena toda la cavidad de la semilla. El



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



resultado de esta prueba se expresa como porcentaje de semillas viables respecto del número total de semillas analizadas.

- **Prueba de Flotación**

Es una prueba simple que mediante el remojo de una muestra de semillas en agua corriente permite separar por flotación a las semillas viables (se hunden) de las vanas (que flotan). La relación entre semillas hundidas y semillas totales da una idea orientativa de la calidad de las mismas. Es una prueba muy rudimentaria, que en general se utiliza más como una medida para facilitar la manipulación de las semillas antes de la siembra, que como un indicador de viabilidad. Para este último propósito es preferible una prueba de corte, de tetrazolium, o mejor aún, un ensayo de germinación.

- **Prueba de Tetrazolium**

Es una prueba de naturaleza destructiva para evaluar la viabilidad de las semillas en forma más precisa que mediante la prueba de corte. Consiste en remojar una muestra de 50 a 100 semillas previamente embebidas de agua y cortadas, en una solución al 1% de 2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolium y posteriormente incubarlas en oscuridad a 30°C por 12 a 24 horas. Así, como resultado de la reacción del tetrazolium con los iones hidrógenos resultantes de los procesos de reducción ocurridos en el interior de las células, se teñirán de color rojizo los tejidos metabólicamente activos. A mayor coloración mejor es el estado de los embriones en las semillas. Es importante recalcar que la incubación y el almacenaje de la solución deben hacerse en oscuridad, dado que el tetrazolium se degrada con la luz, perdiendo su efectividad. Para ello se recomienda cubrir con papel aluminio el recipiente de las semillas embebidas con tetrazolium

Germinación

El ensayo de germinación es una prueba para determinar la proporción de semillas, de un lote determinado, que será capaz de germinar bajo condiciones favorables y dar origen a plántulas normales (ISTA, 2016; Rao *et al.*, 2006). Consiste en poner a germinar un número conocido de semillas y determinar el porcentaje de las cuales que son efectivamente capaces de germinar. Este porcentaje de semillas germinadas se denomina capacidad germinativa y se considera el parámetro más útil para valorar un lote de semillas (Bacheta *et al.*, 2008).

Existen muy diversas formas de efectuar ensayos de germinación, y si bien cualquiera de las metodologías puede resultar de valor para orientar respecto a la capacidad germinativa de las semillas, en rigor, para fines de comparación y estandarización, el establecimiento de los ensayos de germinación se rige por rigurosas normas dictadas por la Asociación Internacional para el Análisis de Semillas, más conocida como ISTA¹ por su sigla en inglés (Gutierrez *et al.*, 2015).

En relación con las recomendaciones del ISTA, es necesario tener en cuenta que la disponibilidad de semillas de plantas silvestres, entre ellas árboles forestales, puede ser muy escasa en relación a la de especies cultivadas. En estos casos las recomendaciones de ISTA de usar cuatro réplicas de 100 semillas, para los ensayos de germinación, puede reducirse a cuatro réplicas de 25, o 3 réplicas de 20, sin disminuir significativamente la validez de los resultados (Bacheta *et al.*, 2008). En la misma línea, (Rao *et al.*, 2006) indican que un número fijo de 200 semillas es apropiado para evaluar la germinación previo al almacenamiento de las semillas. Este número es coincidente con el indicado por FAO/IPGRI (1994) que

¹ ISTA: International Seed Testing Association

recomiendan usar dos réplicas de 100 semillas cada una. Aun así, reconociendo que en ocasiones puede ser difícil gastar 200 semillas en pruebas de germinación, el número se puede reducir a dos réplicas de 50 o 25 semillas cada una, dependiendo de su disponibilidad (Rao *et al.*, 2006). A su vez ISTA (2016) también reconoce que hay circunstancias en que no se puede disponer de las 400 semillas que recomienda para las pruebas de germinación, y que en estos casos se deben probar al menos 100 semillas, en dos réplicas de 50 unidades cada una, o en 4 réplicas de 25 semillas.

Normalmente el ensayo de germinación involucra disponer una cantidad de semillas, como las detalladas en párrafo precedente, en placas Petri con papel filtro húmedo e incubarlas en cámara germinadora, en oscuridad a una temperatura de 22°C. (Figura 18). El ensayo debe ser monitoreado hasta que se detenga la germinación, registrando diariamente el número de semillas germinadas en cada repetición y retirándolas de las placas. Como criterio para considerar a una semilla como germinada se utiliza la emisión de una radícula de al menos un mm de longitud, en semillas grandes se puede definir un criterio diferente (Gonzalez *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2019; 2021).



(Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2019; 2021)

Figura 18. Ensayo de germinación de semillas de hualo (*Nothofagus glauca*) dispuesto en placas Petri en cámara germinadora (izq); ensayo de germinación de *Eucalyptus globulus* dispuesto en placas Petri, previo a entrar a cámara germinadora (derecha).

El número de semillas germinadas por día se expresa como porcentaje de germinación acumulada diaria, para posteriormente determinar los parámetros de germinación de acuerdo a la metodología tradicional del valor máximo de Czabator (Czabator, 1962).

El porcentaje de semillas germinadas en cada repetición al final del ensayo representa la capacidad germinativa de esa repetición, y el promedio de todas las repeticiones corresponde a la estimación de la capacidad germinativa del lote de semillas evaluado.

Considerando que la velocidad de germinación puede proporcionar importante información acerca de la calidad de la semilla, normalmente se acostumbra usar los datos del ensayo de germinación para estimar otros dos parámetros que complementan a la capacidad germinativa y que caracterizan la velocidad o tasa de germinación. Ellos son la energía germinativa (EG), que corresponde al porcentaje de germinación acumulado diario, obtenido al momento en que la tasa de germinación alcanza su valor máximo; y el periodo de energía (PE) que corresponde a la cantidad de días requeridos para alcanzar este máximo.

ETAPA DE ALMACENAMIENTO PROPIAMENTE TAL

Secado

Cualquiera haya sido la técnica usada para extraer y limpiar las semillas, éstas deben ser secadas antes de almacenarlas. Para ello las semillas deben ser esparcidas en capas delgadas sobre papel absorbente o periódico, y dejadas a la sombra donde circule el aire, tratando de evitar el calor, hasta que se sequen.

La disminución de la humedad de las semillas a almacenar se puede realizar de diferentes formas:

- Mediante la exposición al aire en ambientes secos, ventilados y sombríos, teniendo en cuenta que para las semillas es más fácil absorber agua que liberarla (Figura 19). Por lo mismo se debe evitar su exposición a la intemperie durante la noche y madrugada para evitar que absorban humedad.

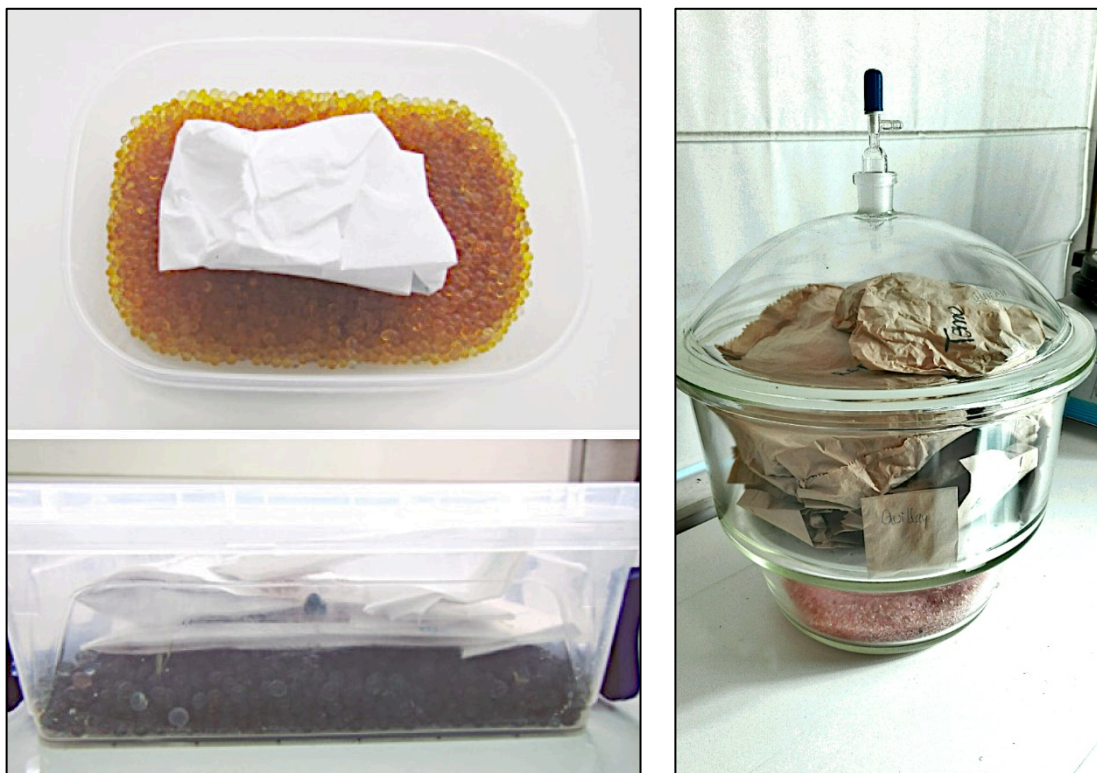


(Fotografía: B. Gutiérrez)

Figura 19. Secado al aire de semilla de quillay dentro de laboratorio en ambiente seco, protegido del viento y de predadores de semillas

- Deshidratación de las semillas utilizando desecantes artificiales como el gel de sílice (Figura 20), es un método relativamente sencillo y muy eficiente que consiste en poner en contacto el desecante con las semillas dentro de contenedores herméticos. Con su poder de absorción el gel de sílice disminuye el contenido de humedad interna de los lotes de semillas hasta valores que garanticen su conservación a mediano y largo plazo. Para ello se recomienda colocar en un recipiente de vidrio igual proporción de sílica gel y simientes. Luego de esto se debe tapar el frasco y monitorear diariamente la pérdida de humedad, pesando las semillas. El secado puede demorar hasta un mes, según el tamaño y volumen de las semillas y su humedad inicial. El carbón o semillas de arroz, previamente secados en horno, funcionan también como buenos desecantes. La ultradesecación con gel de sílice se consigue fácilmente poniendo las muestras en un envase cerrado en presencia de gel deshidratado y sustituyendo el gel por otro seco cada vez que cambie

de color según sea el marcador de humedad. Solo cuando el gel no cambie de color, la semilla estará ultraseca, tendrá un contenido de humedad entre 1 y 3%, y se mantendrá en equilibrio con el gel indefinidamente, en la medida que el envase permanezca hermético.



(Fuente: Niculcar, 2021)

(Fotografía: B. Gutiérrez)

Figura 20. Secado de semillas en recipientes con gel de sílice

- Utilizando cámaras de deshidratación (Figura 21) que, mediante deshumidificadores y aire acondicionado, mantienen valores de humedad relativa entre 10 y 15% y temperaturas entre los 10° y 25°C. Este tratamiento tiene una duración variable en función de las características de las semillas. Es importante que los lugares donde se realiza la desecación permitan una buena circulación de aire, garantizando al menos 10 recambios de aire por hora.



Figura 21. Arriba, cámara de secado de fabricación nacional en laboratorio de semillas de INFOR Biobío (Fotografías: B. Gutiérrez). Abajo, desecador Arquimed utilizado en banco de germoplasma de SAG Magallanes (Fuente: Niculcar, 2021).

- Ultradesección, es una práctica poco difundida, debido a que involucra procedimientos complejos como la liofilización, la inmersión en gases secos o los filtros moleculares, sin embargo, a pesar de sus complejidades, involucra importantes ventajas, como la de no requerir temperaturas de conservación tan bajas como las usadas en el desecado tradicional, y conservar en mejor forma la viabilidad de las semillas.

Contenidos de humedad de 4-8% son adecuados para el almacenamiento efectivo de semillas ortodoxas (Bacchetta *et al.*, 2008; FAO, 1991; Gutiérrez y Koch, 2015).

Luego que las semillas estén secas, estas pueden ser guardadas en recipientes herméticos para ser almacenadas en frío.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Selección de contenedores

Existen diversos tipos de contenedores que pueden utilizarse para almacenar semillas, de acuerdo con FAO (1991) pueden usarse los siguientes:

Materiales plenamente permeables a la humedad y los gases, como sacos de arpillera, bolsa de género o recipientes de papel o cartón, solo son útiles para periodos de almacenamiento muy cortos de semillas ortodoxas en condiciones ambientales no controladas; el periodo de almacenamiento en estas condiciones puede extenderse algo más cuando se trata de semilla ortodoxa de cubierta dura o cuando las condiciones ambientales son frescas y secas. Cuando un almacén de semillas posee los medios necesarios para controlar la temperatura y la humedad relativa, entonces pueden utilizarse sin riesgo recipientes permeables con semillas ortodoxas durante varios años, siempre que exista protección contra el ataque de insectos y roedores.

Estos contenedores permeables pueden ser de utilidad para almacenar por corto tiempo, dentro de la misma temporada de colecta, semillas recalcitrantes a fin de que pueda establecerse un intercambio libre de aire y de esa manera evitar el recalentamiento que puede darse cuando se guardan sin ventilación suficiente semillas húmedas que pierden su viabilidad al deshidratarse.

Recipientes impermeables de cierre hermético, como latas, frascos de vidrio, de plástico o envases de papel aluminio laminado, son apropiados para guardar semillas ortodoxas que ya han alcanzado el contenido de humedad correcto para almacenamiento (Figura 22). Ellos evitan la necesidad de contar con un equipo de deshumidificación, que es costoso.

Cuando el almacenamiento es de largo plazo, el método más eficaz consiste en una combinación de recipientes impermeables a la humedad con unas temperaturas bajas y controladas, que se obtienen mediante un sistema de refrigeración. Otra ventaja de la mayoría de los materiales de este tipo es que impiden también la entrada de oxígeno, de manera que se reduce aún más la tasa de respiración. Se debe utilizar un recipiente hermético cuando el incremento del contenido de humedad de la semilla puede ser perjudicial y la instalación de almacenamiento tiene una humedad relativa alta. Cuanto más largo sea el período de almacenamiento y cuanto más alta sea la diferencia entre la humedad del exterior y la que existe dentro del recipiente, tanto más impermeable debe ser el material utilizado.

Los recipientes herméticos e impermeables no están indicados para almacenar semillas recalcitrantes.



(a)



(b)



(c)

Figura 22. (a) Semillas almacenadas en envases metálicos con tapa (Caicheo, 2008); (b) en frascos de vidrio de 500 cc con tapas de papel de aluminio y sellado con parafilm (Caicheo, 2008); (c) en bolsas selladas de polietileno aluminizado (Niculcar, 2021).

Contenedores resistentes a la humedad, pero no totalmente impermeables, como las bolsas de polietileno y otras películas plásticas, son usados frecuentemente (Figura 23). Ellos son resistentes al paso de la humedad, pero en periodos largos permiten un lento paso de vapor de agua que tiende a equilibrar la humedad del interior y exterior del envase. Particularmente, el polietileno no es adecuado para el almacenamiento de semillas ortodoxas en el largo plazo, pero es muy útil para almacenamiento de plazos cortos a medianos (hasta cinco años). Para estos efectos lo recomendable es usar un espesor superior a 100-125 micras y sellar adecuadamente las bolsas.



(Fotografías: INFOR-CTPF)



Figura 23. Semillas almacenadas en bolsas de polietileno dentro de cajas plásticas. (Fotografía INFOR-CTPF)

Si las semillas ortodoxas se secan y almacenan en recipientes impermeables y herméticamente cerrados, el contenido de humedad debe permanecer constante durante años. Sin embargo, si se almacenan en un material resistente a la humedad, pero no totalmente impermeable, como por ejemplo las bolsas de polietileno, o si es necesario abrir los recipientes y volverlos a cerrar periódicamente para sacar semilla, con el tiempo se irá acumulando lentamente humedad. Para evitar esto se recomienda incluir en los recipientes un deshidratante, como el gel de sílice en una proporción del 5 a 10% del peso de la semilla en el contenedor.

En el caso de las semillas ortodoxas, los recipientes deben llenarse totalmente, a fin de reducir al mínimo el intercambio de humedad entre la semilla y el aire encerrado y, lo que es aún más importante, para limitar la cantidad de oxígeno que queda en el interior del recipiente.

Todos los envases en que se mantengan las semillas durante su almacenamiento deben estar identificados (etiquetados) al menos con un código único que individualice a cada lote de semillas. Este código debe estar vinculado a toda la información asociada a ese lote de semillas, desde los datos de recolección, hasta los de análisis de la misma y otra información complementaria que se considere de interés.



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



Condiciones de Almacenamiento

Normalmente es adecuado privilegiar el uso del método de almacenamiento en seco, con control del contenido de humedad de las semillas y de la temperatura ambiental (ver sección anterior Métodos de almacenamiento de semillas).

Para almacenar semillas¹ se les debe reducir el contenido de humedad (secarlas). Tradicionalmente, el proceso de almacenamiento de semillas ortodoxas consiste en secarlas hasta contenidos de humedad del 4 al 8%, depositarlas en envases herméticos y posteriormente disponerlas en cámaras de baja temperatura.

La longevidad de las simientes almacenadas aumenta al disminuir la temperatura y el contenido de humedad, siendo el bajo contenido de humedad en la semilla, el parámetro clave que influye sobre el éxito del proceso (Bacchetta *et al.*, 2008). De aquí surge la necesidad de efectuar un apropiado secado antes de iniciar el almacenamiento.

Atendiendo al efecto relevante del contenido de humedad en la conservación de semillas ortodoxas, los envases que se utilicen para este fin deben ser absolutamente herméticos, en el sentido de no permitir el paso de vapor de agua a su interior. Debe tenerse en cuenta que la humedad relativa en una cámara fría suele ser muy alta, y que las semillas secas son fuertemente higroscópicas, de modo que, si el envase no es suficientemente hermético, a la larga la humedad de la semilla tenderá a equilibrarse con la humedad ambiental exterior, perdiéndose así la posibilidad de conservar su viabilidad en el largo plazo.

El uso de bajas temperaturas ha sido algo generalizado en la conservación de semillas a largo plazo. En efecto, actualmente los modernos bancos de semillas consideran la utilización de una cámara fría capaz de conseguir temperaturas de al menos -15° a -20°C . Sin embargo, temperaturas moderadamente bajas, entre 1 y 5°C , pueden ser más que suficientes para almacenar semilla seca por varias temporadas. También debe tenerse en consideración que, si las semillas son expuestas a las bajas temperaturas sin secarse adecuadamente (menos de 20% de contenido de humedad), pueden formarse cristales de hielo en el interior de las células, lo que puede dañar los tejidos y matar a las semillas.

Poner demasiado énfasis en las bajas temperaturas puede llevar a descuidar el factor de baja humedad (sea por no deshidratar lo suficiente o por utilizar envases inadecuados), haciendo que la conservación de la viabilidad de las colecciones sea menos efectiva. En efecto, distintos antecedentes señalados por Bacchetta *et al.* (2008) indican que el contenido de humedad de las semillas, más que la temperatura de conservación de las mismas, determina en mejor forma el éxito de la conservación. Así, semillas ultradeseccadas por liofilización y mantenidas a temperatura ambiente durante 10 años, han mostrado un mejor comportamiento que las conservadas a baja temperatura. De igual forma, semillas ultradeseccadas con gel de sílice y mantenidas 40 años en un armario a temperatura ambiente, no han tenido un comportamiento distinto al de otras con mayor contenido de humedad, pero almacenadas en cámara fría. No obstante, parece evidente que la baja temperatura complementa, por lo que sería poco sensato prescindir de ella.

En vez de controlar la humedad en los envases, es posible controlarla en la misma cámara de almacenamiento, convirtiendo las cámaras frías en cámaras secas. Así, al mantener una temperatura

¹ Las referencias a semillas en este apartado, mientras no se indique otra cosa, corresponden a semillas ortodoxas.



alrededor de 0°C se puede conseguir una humedad relativa de aproximadamente el 15%, de modo que esta solución resulta más eficaz que disponer de una cámara a -20°C donde se descuide la hermeticidad de los envases. Sin embargo, el control de la humedad dentro de los envases mismos con gel de sílice es a la larga más práctico, por cuanto permite alcanzar un mayor nivel de secado, permitiendo además un traslado rápido del material a otras cámaras, en caso de mudanza o problemas técnicos.

Registro y Documentación de Semillas Almacenadas

Cuando los lotes de semillas son almacenados, se realiza el denominada “Registro”. Este corresponde a la asignación de un código único de identificación a cada uno de los lotes, de modo de distinguirlos inequívocamente de cualquier otro. A este código, que se usará para etiquetar los recipientes que contengan la semilla, se le debe asociar, en una base de datos, toda la información correspondiente a ese lote en particular. Esta información viene desde la colecta de las muestras, mientras que otra se genera durante los análisis y evaluaciones de las semillas.

Los datos contemplados en el registro son un componente fundamental de la colección almacenada, y en gran medida son los que determinan el valor y utilidad futura de la semilla almacenada. Por lo mismo, documentar la información de cada lote es un aspecto clave. La información que se registra puede ser muy variada, la principal referencia corresponde a los datos de pasaporte que se usan en los bancos de conservación vegetal para la identificación, individualización y manejo de cada accesión.

Existen descriptores internacionalmente aceptados para documentar la información de pasaporte para el intercambio de material entre bancos de conservación de germoplasma. Una lista estándar de descriptores de pasaporte ha sido desarrollada por FAO e IPGRI (Rao *et al.*, 2006; FAO, 2013), y se han desarrollado complejos sistemas como Grin-Global¹ para documentar la información de accesiones de germoplasma en bancos de conservación *ex situ*. No obstante, para almacenar semillas forestales con la finalidad de producir plantas en el corto-mediano plazo, un subconjunto de esa información puede ser suficiente. Para este efecto, es de interés registrar información que identifique el código de cada lote, identifique a la especie, los datos de origen y procedencia, los datos de la colecta, que caracterice la fuente de semillas, respalde información de rendimiento durante el procesamiento post colecta y caracterice el lote de semillas en términos de parámetros físicos y de germinación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Información a registrar para el almacenamiento de semillas

Tipo de Información	Antecedentes
Código único	<ul style="list-style-type: none"> • Código
Identificación de la especie	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común • Nombre científico • Variedad, subespecie (si corresponde) • Familia
Procedencia	<ul style="list-style-type: none"> • Localidad (sector, pueblo o caserío de referencia) • Predio • Comuna, provincia, región • Coordenadas geográficas • Altitud
Colecta	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha de colecta • Colector • Número de individuos cosechados

¹ <https://www.grin-global.org>

Fuente de semillas	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de bosque: natural/artificial; Puro/Mixto) • Tipo-subtipo forestal • Especies principales • Especies acompañantes • Posición social de semilleros
Procesamiento y análisis	<ul style="list-style-type: none"> • N° o peso de frutos colectados • Peso Semilla obtenida • Rendimiento semilla/frutos • Porcentaje Pureza • N° semillas por Kg • Germinación <ul style="list-style-type: none"> – <i>Fecha de análisis</i> – <i>Capacidad germinativa</i> – <i>Energía germinativa</i> – <i>Periodo de energía</i>

(Fuente: Elaboración propia en base a: Bacheta *et al.*, 2008; CONAF, 2019; FAO, 2013; Gold *et al.*, 2004; León-Lobos *et al.*, 2014; Niculcar, 2021; Velarde *et al.*, 2005)

La información compilada en el cuadro anterior es apropiada para caracterizar a cada uno de los lotes de semilla almacenados, y además resulta de utilidad para planificar futuras colectas de la misma especie, y para orientar a los viveristas en la programación de las siembras.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



GREEN
CLIMATE
FUND



CONCLUSIONES

La principal consideración a tener en cuenta en las iniciativas de restauración es utilizar material de propagación cuyo origen garantice la adaptación al sitio de restauración y con una diversidad genética que permita mantener su potencial evolutivo. Estos aspectos deben ser considerados en la totalidad del proceso y particularmente en el abastecimiento de semillas y viverización de las plantas que serán objeto de establecimiento en el marco de un proyecto o programa de restauración.

La recolección y almacenamiento de semillas son procedimientos operacionales abundantemente tratados en la bibliografía y sintetizados en este documento, los que independientemente de todas sus opciones y variantes metodológicas deben implementarse en forma que garantice la calidad biológica y genética de la semilla y asegure su identificación inequívoca.



Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación



REFERENCIAS

- Alvarado, A. & Levet, M. (2014).** Manual de protocolos de producción de especies utilizadas por el programa de arborización. Corporación Nacional Forestal, Gerencia Forestal, Departamento de Arborización. Santiago. 177 p.
- Atkinson, R., Thomas, E., Roscioli, F., Cornelius, JP., Zamora-Cristales, R., Franco-Chuaire, M. et al. (2021).** Seeding resilient restoration: An indicator system for the analysis of tree seed systems. *Diversity*, 2021, 13, 367. <https://doi.org/10.3390/d13080367>.
- Bacchetta, G., Bueno-Sánchez, A., Fenu, G., Jiménez-Alfaro, B., Mattana, E., Piotta, B. & Virevaire, M. (Eds). (2008).** Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 p.
- Banco Mundial & Conaf. (2020).** Los Bosques de Chile: pilar para un desarrollo inclusivo y sostenible. Santiago. 104 p.
- Bannister, J., Vargas-Gaete, R., Ovalle, J., Acevedo, M., Fuentes-Ramírez, A., Donoso, P., Promis, A. et al. (2018).** Major bottlenecks for the restoration of natural forest in Chile. *Restoration Ecology*, 26(6): 1039-1044. <https://doi.org/10.1111/rec.12880>
- Benedetti, S. (Ed). (2012).** Monografía de Espino Acacia caven (Mol.) Mol. Instituto Forestal. Programa de Investigación de Productos Forestales no Madereros. Santiago. 71p.
- Boshier, D.; Dawson I. & Lengkeek, A. (2014).** Tree planting on farms in East Africa: how to ensure genetic diversity? Tree seed supply chains. Bioversity, Seed Source, Australian Development Cooperation, World Agroforestry Centre. 23 p.
- Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S. et al. (Eds). (2014).** Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. State of the World's Forest Genetic Resources -Thematic Study. Rome, FAO and Bioversity International. 281 p.
- Cabello, A. y Gallegos, M. (2018).** Análisis de frutos, semillas y germinación de *Colliguaja odorifera* Molina. *Revista del Jardín Botánico Chagual*, 16(16): 58-64.
- Caicheo, A. (2008).** Almacenamiento y algunos protocolos de rutina para la mantención de semillas. Tesis Ingeniería Agropecuaria. Universidad de Magallanes. Facultad de Ciencias. Punta Arenas, Chile. 24 p.
- Czabator, F.J. (1962).** Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*, 8(4): 386-396.
- Di Sacco, A; Way, M; Leon Lobos, P. y Suarez Ballesteros, C.I. (2018).** Manual de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres. V1.2. Royal Botanic Gardens Kew. Disponible en <http://brahmsonline.kew.org/msbp/Training/Resources>
- Erikson, V. & Halford, A. (2020).** Seed planning, sourcing and procurement. *Restoration Ecology* 28(s3):s216-s224. <https://doi.org/10.1111/rec.13199>
- FAO. (1991).** Guía para la manipulación de semillas forestales. Estudio FAO Montes 20/2. Roma. 502 p.
- FAO-IPGRI. (1994).** Normas para Bancos de Genes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Roma. 14 p.
- Gold, K., León-Lobos, P. & Way, M. (2004).** Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro regional de Investigación Intihuasi. La Serena Chile. Boletín INIA N° 110. 62 p.
- González, M., Quiroz, I., García, E. & Gutiérrez, B. (2008).** Escarificación química con ácido sulfúrico como tratamiento pregerminativo para semillas de Toromiro (*Sophora toromiro* Skotts.) *Ciencia & Investigación Forestal*, 14(1): 111-118. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2008.95>.
- Gutiérrez, B. (2021).** Consideraciones genéticas para la obtención de semillas y viverización de plantas para restauración. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). Buenas prácticas y consideraciones genéticas para recuperación de bosques nativos degradados. ISBN N° 9787-956-318-204-0. Instituto Forestal- Fondo Investigación del Bosque Nativo. Capítulo 9. Pp: 221-237.
- Gutiérrez, B. (2015).** Consideraciones para el muestreo y colecta de germoplasma en la conservación *ex situ* de recursos genéticos forestales. En: Gutiérrez, B., Ipinza, C. & Barros, S. (Eds). Conservación de recursos genéticos forestales: Principios y prácticas. Instituto Forestal. Capítulo 10. Pp: 179-196.
- Gutiérrez, B.; Gacitúa, S.; Perret, S. y Sandoval, A. y Curimil, M. 2013.** Propagación de especies forestales nativas de las zonas áridas y semiáridas de Chile. Manual N 47. INFOR. ISBN 978-956-318-083-1. Santiago, Chile. 115 p. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20364>.
- Gutiérrez, B. & Koch, L. (2015).** Conservación de germoplasma ex situ: protocolos y estrategias para la mantención de un banco *in vitro*. *Ciencia & Investigación Forestal*, 21(1): 69-82. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2015.433>



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Gutiérrez, B., Koch, L., Villegas, D., Gonzalez, J., Ly, D., Molina, M., Rojas, P., & Velasquez, E. (2021).** Análisis de Germinación de Semillas de *Eucalyptus nitens* Tratadas con Radiación Gamma: Indicios de Efecto Hormético. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(3): 7-16. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.554>
- Gutiérrez, B., Magni, D. & Gutiérrez, P. (2015).** Almacenamiento de colecciones de germoplasma *ex situ*. En: Gutiérrez, B., Ipinza, C. & Barros, S. (Eds). *Conservación de recursos genéticos forestales: Principios y prácticas*. Instituto Forestal. Capítulo 11. Pp: 197-213.
- Gutiérrez, B., Quiroz, I. & Koch, L. (2019).** Aprovisionamiento y análisis de semillas de Hualo para su uso en proyecto FIBN 002/2018: siembra directa: técnica de recuperación de bosques nativos de Roble y Hualo. *Ciencia & Investigación Forestal*, 25(2): 49-56. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.515>.
- Hall, RM., Urban, B., Skálová, H., Moravcová, L., Sölter, U., Starfinger, U., Kazinczi, G. et al. (2021).** Seed viability of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is affected by seed origin and age, but also by testing method and laboratory. *NeoBiota* 70: 193-221. <https://doi.org/10.3897/neobiota.70.66915>
- Haunstein, E. (2007).** Ficha técnica *Citronella mucronata*. Enlace N° 68. Pp: 10-10. http://svsch.ceachile.cl/ENLACE/Enlace_68_Dic2007.pdf
- Hechenleitner, P., Gardner, M., Thomas, P., Echeverría, C., Escobar, B., Brownless, P. & Martínez, C. (2005).** *Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera Edición.* Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 p.
- Ipinza, R. (2021).** Restauración ecológica con base genética para especies nativas. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). *Buenas prácticas y consideraciones genéticas para recuperación de bosques nativos degradados*. ISBN N° 9787-956-318-204-0. Instituto Forestal- Fondo Investigación del Bosque Nativo. Capítulo 3. Pp: 221-237.
- Ipinza, R. & Gutiérrez, B. (2014).** Consideraciones genéticas para la restauración ecológica. *Ciencia & Investigación Forestal*, 20(2): 202-211. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2014.421>
- Ipinza, R. & Hasbún, R. (2021).** Ruta semillera, una alternativa ante la emergencia. En: Ipinza, R., Gutiérrez, B., Molina, M. & Barros, S. (Eds). *Buenas prácticas y consideraciones genéticas para recuperación de bosques nativos degradados*. ISBN N° 9787-956-318-204-0. Instituto Forestal- Fondo Investigación del Bosque Nativo. Capítulo 8. Pp: 203-218.
- ISTA. (2016).** Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016. Capítulos 1-7, 9.
- Jones, T. & Monaco, T. A. (2007).** Restoration Practitioner's Guide to the Restoration Gene Pool Concept. *Ecological Restoration* 25(2): 51-72. <https://doi.org/10.3368/er.25.1.12>
- León-Lobos, P., Bustamante-Sánchez, M., Nelson, CR., Alarcón, D., Hasbún, R., Way, M., Pritchard, H. et al. (2020).** Lack of adequate seed supply is a major bottleneck for effective ecosystem restoration in Chile: friendly amendment to Bannister *et al.* (2018). *Restoration Ecology*, 28(2): 277-281. <https://doi.org/10.1111/rec.13113>
- León-Lobos, P., Sandoval, A., Bolados, G., Rosas, M., Stark, D. & Gold, K. (2014).** Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales. Boletín INIA N° 280. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile. 96 p.
- Loo, J. (2016).** Forest Genetic resources and adaptation to climate change. *Unasylva* 246, Vol 67, pp: 68-74.
- Lowe, AJ. (2010).** Composite provenancing of seed for restoration: progressing the 'local is best' paradigm for seed sourcing. *The State of Australia's Birds 2009: restoring woodland habitats for birds*. Compiled by David Paton and James O'Connor. Supplement to *Wingspan* 20(1) March.
- Martín-Ramos, Pablo, Martín-Gil, J., Ramos-Sánchez, M., Hernández-Navarro, S. & Martín-Gil, F. (2016).** Thermal behavior of calafate (*Berberis buxifolia*) seeds. *Bosque (Valdivia)*, 37(3), 625-630. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000300019>
- Martinez, A. & Schinelli, T. (2009).** Viverización de especies forestales nativas de nuestra región: Los Nothofagus caducifolios. Parte I: Cosecha y procesamiento de semillas. *Presencia* 53. Pp: 36-41.
- McKay, JK., Christian, CE., Harrison, S. & Rice, KJ. (2005).** How local is local?—a review of practical and conceptual issues in the genetics of restoration. *Restoration Ecology* 13:432-440. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00058.x>
- Mijnsbrugge, KV., Bischoff, A. & Smith, BM. (2010).** A question of origin: where and how to collect seed for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology* 11:300-311. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.09.002>
- MMA. (2022).** Listado de especies clasificadas desde el 1° al 17° Proceso de Clasificación RCE (actualizado a febrero 2022). En: <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl>. Consulta: abril, 2022.
- Molina, M., Gonzalez, J., Soto, H., Gutiérrez, B. & Koch, L. (2021).** Antecedentes para la producción de plantas nativas de utilidad melífera en las regiones de Biobío y Ñuble. Instituto Forestal. Documento de Divulgación. En prensa.
- Moreno, G. (2009).** Semillas del bosque nativo: Cosecha y adquisición. Manual técnico y administrativo. CONAF, Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal, Centro de Semillas, Genética e Investigaciones Entomológicas. Santiago. 29 p.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



- Niculcar, R. (2021).** Manual de colecta y conservación ex situ de semillas. Utilización en Restauración Ecológica en el Parque Nacional Torres del Paine. Primera Edición. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. Punta Arenas. 224 p.
- Pastorino, MJ., Aparicio, AG., Azpilicueta, MM., Soliani, C. & Marchelli, P. (2015).** Genética de la restauración: tendiendo puentes entre la investigación y la gestación. En: Zuleta, GA, AE Rovere & FPO Mollard (Eds). "SIACRE-2015: Aportes y Conclusiones. Tomando decisiones para revertir la degradación ambiental". Cap. 2: 25-32. Vázquez Mazzini Editores. Buenos Aires. Capítulo 17. Pp: 147-152.
- Quiroz, I., García, E., Gonzalez, M., Chung, P. & Soto, H. (2009).** Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Instituto Forestal, Centro Tecnológico de la Planta Forestal. Concepción, Chile. 128 p.
- Quiroz, I. & Gutiérrez, B. (2010).** Normativa para semillas y plantas de especies forestales nativas: Necesidad latente. Chile Forestal N°351 Pp: 41-44.
- Quiroz, I. & Gutiérrez, B. (2014).** Propuesta de reglamento para semillas y lant as forestales. Instituto Forestal. Concepción, Chile 74 p.
- Quiroz, I., Gutiérrez, B. & García, E. (2012).** Fundamentos para una normativa sobre origen de semillas y calidad de plantas forestales. Proyecto 028/2010. 1er Concurso del Fondo de Investigación del Bosque Nativo. Informe Final. INFOR, Concepcion. 72 p.
- Rao, NK., Hanson, J., Dulloo, ME., Ghosh, K., Nowell, D. & Larinde, M. (2006).** Manual of seed handling in genebanks. Handbooks for Genebanks No. 8. Bioersivity International. Rome. 147 p.
- Schinelli, T. & Martínez, A. (2011).** Obtención de semilla de *Nothofagus caducifolios* del bosque andino patagónico. Forestal N° 20. Pp: 91-94. INTA. Estación Experimental Agroforestal Esquel (Chubut), NO.
- SIIT (Sistema Integrado de Información Territorial). (s/f).** Chile Nuestro país. Biblioteca del Congreso Nacional. En: https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index_.html. Consulta: mayo, 2022.
- Simian, P., Castro-Gómez, R., Budinich, M., del Valle, J. & Arribillaga, D. (2001).** Obtención de extractos de *Berberis* y estudio de su acción antimicrobiana En: CORFO-FDI-MINAGRI -INIA. Informe final técnico y financiero Domesticación del calafate (*Berberis buxifolia* Lam.) para fines agroindustriales.
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S.; Bordács, S. et al. (2014).** Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333 (2014): 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J. & Bozzano, M. (2015).** Cómo evitar el fracaso en la restauración forestal: la importancia de disponer de un germoplasma genéticamente diverso y adaptado a los sitios de plantación. *Unasylva* 245, vol. 66 2015-3. Pp: 29-36.
- Velarde, D., Carrillo, F., Medina, T., Ríos, L., Soto, V. & Estrada, R. (2005).** Normas que definen el uso estandarizado de formatos para la documentación de los datos de pasaporte en el banco de germoplasma ex situ. Instituto nacional de Investigación y Extensión Agraria, Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología. Lima. 24 p.
- Yanchuk, A. & Hald, S. (2007).** Estrategias de muestreo para la conservación ex situ. En: FAO, FLD, Bioersivity International. 2007. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: En plantaciones y bancos de germoplasma (ex situ). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. Pp: 9-17.
- Wang, B. & Beardmore, T. (2004).** Almacenamiento y manejo de germoplasma. En: Vargas, J.; Bermejo, B. y Ledig, T. (Eds.). 2004. Manejo de Recursos Genéticos Forestales, Segunda Edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco México. 109 p. Capítulo 8. Pp: 102-127.
- Willan, R. (Compilador). (1991).** Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos. Estudio FAO Montes 20/2. FAO. Roma. 502 p.



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



GREEN
CLIMATE
FUND

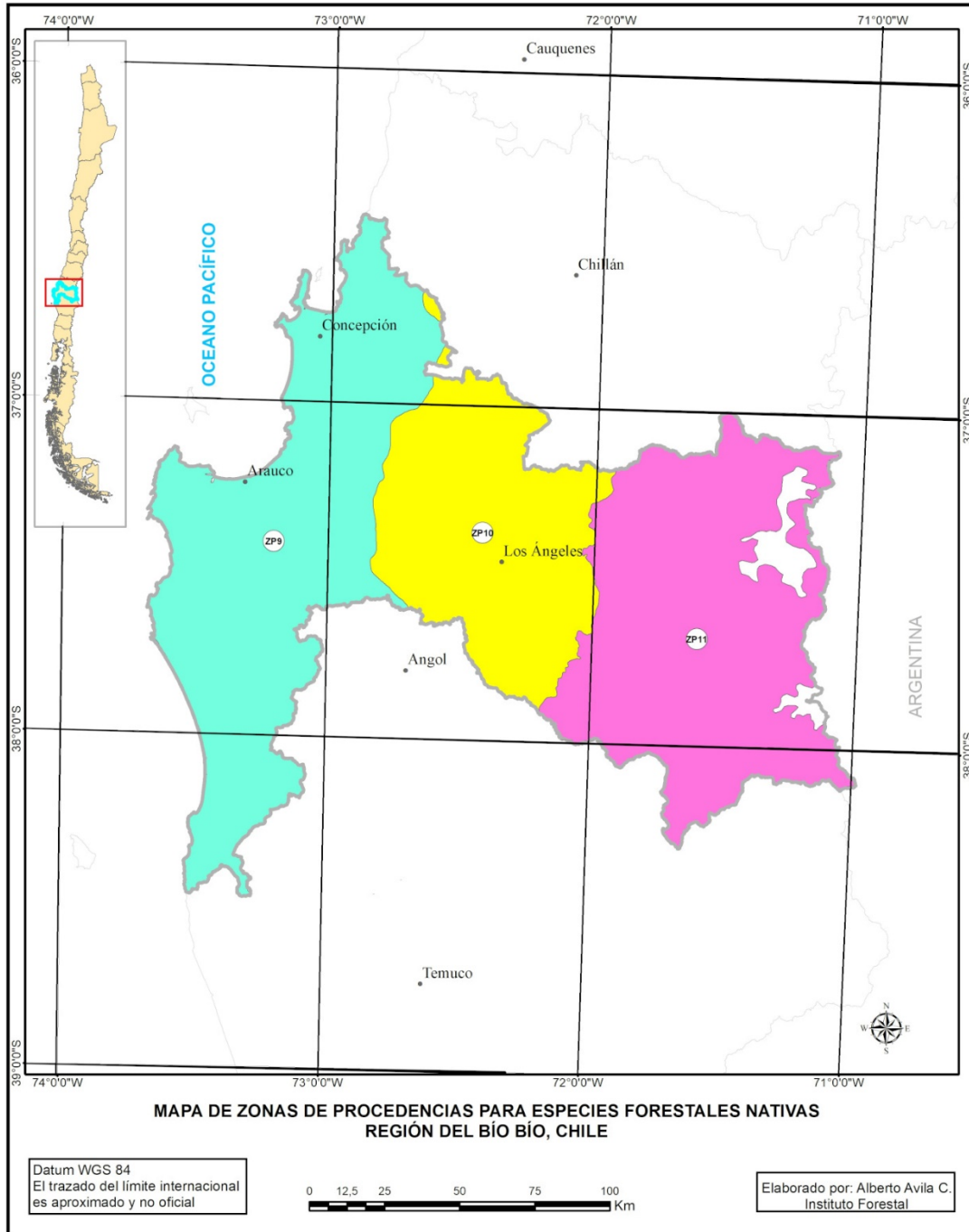


ANEXO

MAPA DE ZONAS DE PROCEDENCIAS PARA ESPECIES FORESTALES NATIVAS¹ DE REGIÓN DEL BIOBÍO

¹ (Fuente: Quiroz y Gutiérrez, 2014)

ZONA DE PROCEDENCIA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
ZP-9	GOLFO DE ARAUCO	Límites 36°01'S 72°46'W, 38°27'S 73°17'W; costa región del Biobío; altitudes entre 0 y 600 msnm; rango de precipitación media anual 1001-1500 mm; presencia de tipos forestales Roble-Raulí-Coihue, Esclerófilo, Roble-Hualo y Araucaria; descripción del suelo: sedimentos marinos en posiciones bajas e intermedias, rocas graníticas en terrenos altos.
ZP-10	SALTO DEL LAJA	Límites 36°09'S 72°31'W, 38°55'S 72°19'W; depresión intermedia regiones del Maule, Biobío y Araucanía; altitudes entre 200 y 700 msnm; rango de precipitación media anual 1001-1500 mm; presencia de tipos forestales Esclerófilo, Roble-Raulí-Coihue; descripción del suelo presente en esta zona: rocas graníticas en terrenos topografía intermedia, arenas volcánicas en terrenos planos a ligeramente ondulados, cenizas volcánicas, y suelos rojos arcillosos.
ZP-11	NEVADOS DE CHILLÁN	Límites 35°21'S 70°28'W, 37°56'S 72°07'W; pre cordillera y cordillera de Los Andes regiones del Maule y Biobío; altitudes entre 700 y 1400 msnm; rango de precipitación media anual 1501-2500 mm; presencia de tipos forestales Roble-Raulí-Coihue, Lenga, Roble-Hualo, Ciprés de la cordillera y Araucaria; descripción del suelo Cenizas volcánicas modernas en terrenos intermedios a altos.





Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



GREEN CLIMATE FUND



INFOR



ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS VEGETACIONALES

www.conaf.cl | www.enccrv.cl