



APUNTE

Criterios prácticos para la recolección y almacenamiento de semillas forestales en programas de conservación, restauración y mejoramiento genético

Braulio Gutiérrez Caro¹ ¹ Instituto Forestal, sede Biobío. Concepción, Chile. bgutierr@infor.clDOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2025.637>

Recibido: 22.05.2025; Aceptado 06.06.2025.

RESUMEN

El documento entrega lineamientos técnicos para la recolección y almacenamiento de semillas forestales, fundamentales para iniciativas de restauración, conservación y mejoramiento genético. Destaca la necesidad de considerar aspectos genéticos, ecológicos y sanitarios para garantizar la viabilidad y utilidad del germoplasma recolectado.

Se subraya que la finalidad del uso de las semillas define criterios específicos: la restauración exige diversidad genética local, la conservación busca capturar la máxima variabilidad, y el mejoramiento selecciona individuos superiores. En todos los casos, es clave recolectar semillas maduras, sanas, de origen conocido y con alta viabilidad.

Respecto al almacenamiento, se diferencia entre semillas ortodoxas, que toleran la desecación y pueden almacenarse por años bajo condiciones controladas (baja humedad y temperatura), y recalcitrantes, que no pueden conservarse y deben ser usadas en la misma temporada de recolección.

Palabras clave: Semillas, recolección, almacenamiento,

SUMMARY

The document provides technical guidelines for the collection and storage of forest seeds, which are essential for restoration, conservation, and genetic improvement initiatives. It highlights the need to consider genetic, ecological, and sanitary aspects to ensure the viability and usefulness of the collected germplasm.

It emphasizes that the intended use of the seeds determines specific criteria: restoration requires local genetic diversity, conservation aims to capture maximum genetic variability, and genetic improvement focuses on selecting superior individuals. In all cases, it is crucial to collect mature, healthy seeds of known origin with high viability.

Regarding storage, a distinction is made between orthodox seeds—which tolerate desiccation and can be stored for years under controlled conditions (low humidity and temperature)—and recalcitrant seeds, which cannot be preserved and must be used within the same season.

Key words: Seeds collection, seeds storage, seeds



INTRODUCCIÓN

Las semillas forestales destinadas a restauración, conservación y mejoramiento genético deben cumplir con una serie de características técnicas, biológicas y genéticas que garanticen su eficacia en cada uno de estos propósitos. Algunas de estas características son comunes a los tres fines y otras son específicas para cada uno de ellos.

Las consideraciones genéticas en la colecta de semillas constituyen un aspecto prioritario, que resulta determinante para condicionar el éxito de las iniciativas de restauración, conservación o mejoramiento en que tales semillas serán utilizadas. Así, atributos relacionados con su origen, adaptación, diversidad genética, potencial evolutivo, diferencial de selección y otras, normalmente jugarán roles relevantes cuando las plantas derivadas de esas semillas sean establecidas en terreno, situación que ha sido descrita y detallada en abundante bibliografía (Bozano *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2014, 2015; Gutiérrez, 2015; 2021; 2024; Ipinza & Gutiérrez, 2014). Consideraciones de carácter ecológico también son de importancia para guiar la colecta de semillas, velando por la mantención de las poblaciones donde se colecta, evitando alterar su dinámica y regeneración natural y evitando también comprometer la situación de otros organismos que hacen uso de las semillas con distintos fines ecológicos (León Lobos *et al.*, 2014; Bacchetta *et al.*, 2008).

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; (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) tolerancia a la desecación, que determina la naturaleza ortodoxa o recalcitrante de las semillas y condiciona la posibilidad de almacenamiento de las mismas.

Independiente de los procedimientos operacionales para recolectar semillas, las consideraciones anteriores deben ser siempre tenidas en cuenta, pues son transversales a cualquier práctica de recolección de simientes. De hecho, ellas son la clave para obtener un germoplasma de utilidad, acorde a los fines perseguidos. En este contexto, el presente documento pretende destacar y difundir la importancia de las consideraciones básicas involucradas en la colecta de semillas y diferenciar las implicancias de aspectos relevantes de la recolección, especialmente en contextos de restauración, conservación y mejoramiento genético forestal.

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA COLECTA DE SEMILLAS

Objetivo de la Colecta

Uno de los aspectos principales que guía la colecta de semillas es el objetivo, uso o destino que motiva la recolección de las mismas. La finalidad de uso determina aspectos técnicos relevantes de la recolección, particularmente de aquellos relacionados con el origen y la variabilidad genética que deben cumplir los lotes de semilla a colectar. En el **Cuadro 1** se diferencian esas características dependiendo de si las semillas se recolectarán para iniciativas de restauración, conservación o mejoramiento genético.

Independiente de los procedimientos operacionales para recolectar semillas, y de los objetivos de uso de las mismas, existen consideraciones generales que deben ser siempre tenidas en cuenta, pues son transversales a cualquier práctica de recolección u objetivo de uso. De hecho, ellas son la clave para obtener un germoplasma de utilidad, para cualquiera que sea el fin que se persigue. Entre tales aspectos se destacan los siguientes:

- *Viabilidad y germinación elevada*: Las semillas deben presentar altas tasas de germinación y buena viabilidad, lo que se relaciona con su madurez fisiológica, sanidad y almacenamiento adecuado.



- *Sanidad*: Libre de patógenos, plagas o daños físicos. Se deben cumplir estándares fitosanitarios para evitar la introducción o diseminación de enfermedades.
- *Identidad genética*: Las semillas deben corresponder fielmente a la especie y/o procedencia declarada. Esto es fundamental para evitar errores en restauración y programas de mejoramiento.
- *Pureza física*: El lote debe tener un alto porcentaje de semillas verdaderas y estar libre de material vegetal no deseado u otras impurezas.
- *Origen conocido y documentado*: Información sobre procedencia geográfica, altitud, tipo de ecosistema, y si provienen de poblaciones naturales, ensayos genéticos, huertos semilleros o rodales semilleros.

Cuadro1. Diferenciación de atributos relevantes de las semillas en función de su uso.

Características	Finalidad de uso		
	Restauración Ecológica	Conservación Genética	Mejoramiento Genético
Objetivo	Recuperar funciones ecológicas, biodiversidad y resiliencia de ecosistemas degradados	Preservar <i>ex situ</i> la diversidad genética de especies y poblaciones	Actividades orientadas a la producción comercial, de individuos superiores en atributos específicos de interés del productor.
Procedencia	Local o ecológicamente equivalente	Diversa y representativa de toda la variabilidad	Árboles seleccionados o progenitores superiores
Diversidad genética	Alta, para favorecer adaptación y resiliencia	Máxima, incluyendo variantes raras y adaptativas	Controlada, pero suficientemente diversa para evitar consanguinidad
Adaptabilidad	Alta adaptabilidad al sitio de plantación	Relevante para preservar variación adaptativa	Adaptabilidad combinada con rendimiento de rasgos deseados
Calidad genética	Representativa del ecosistema	Representativa y con información genética detallada	Superior en rasgos específicos (crecimiento, forma, etc.)
Muestreo genético	De al menos 30-50 árboles por población	Amplio y sistemático, incluyendo muchas poblaciones e individuos	Limitado a árboles élite con evaluación comprobada

Fuente Semillera

La idoneidad de las semillas para un fin particular está fuertemente relacionada con la fuente o población desde donde ellas se recolecten, situación que define los aspectos genéticos del germoplasma que se obtenga. 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 fundamentales que quedan determinadas por la selección de la fuente semillera.

Para efectos de restauración, 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 (McKay *et al.*, 2005; Jones y Monaco, 2007; Mijnsbrugge *et al.*, 2010; Lowe *et al.*, 2010; Erikson & Halford, 2020; Gutiérrez, 2024).

En general, la observancia de las consideraciones genéticas puede materializarse, en la práctica, mediante la adecuada identificación o selección de las fuentes semilleras y sus procedencias, desde donde se recolectarán las semillas.

Madurez de los Frutos

Obtener frutos/semillas maduras es un aspecto crucial que define el momento en que se debe realizar la recolección, y que determina la viabilidad y calidad del material recolectado. 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 (León-Lobos *et al.*, 2014). La simiente inmadura, si bien puede evidenciar cierta capacidad de germinación, no posee tolerancia a la desecación, la que se adquiere al final de la fase de maduración. Cuando la semilla está madura es el momento óptimo para recolectarlas, ya que posteriormente su calidad comienza a decaer (León-Lobos *et al.*, 2014; Gold *et al.*, 2004; Di Sacco *et al.*, 2018).

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 (León-Lobos *et al.*, 2014).

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 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 documentado por diversos autores, pero no se debe olvidar que ese dato 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; Gold *et al.*, 2004)).

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 (Di Sacco *et al.*, 2018; Niculcar, 2021; Hall *et al.*, 2021). 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:

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. 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.

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, de modo que la muestra sea representativa. Al mismo tiempo, permitirá estimar el 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 sanas 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 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.

Aspectos Prácticos

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 coleccionado. 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 permiten definir si se justifica la recolección en función de la disponibilidad de semillas viables.

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.

ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS

Objetivo del Almacenamiento

Según los objetivos que se persigan, el almacenamiento de semillas requiere enfoques técnicos diferenciados. Para efectos de conservación se requiere un almacenamiento de largo plazo, que permita preservar la viabilidad de las semillas durante décadas o incluso siglos, garantizando la conservación genética y patrimonial de la diversidad biológica bajo condiciones altamente controladas. Este tipo de almacenamiento se efectúa con protocolos que involucran un estricto control del contenido de humedad de las semillas (3–7%), el uso de temperaturas muy bajas (hasta $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferiores), complejas tecnologías (liofilización, criopreservación) e infraestructura especializada y protegida.

Por su parte, para objetivos de restauración o mejoramiento genético la idea es mantener semillas viables para ser utilizadas en un horizonte operativo definido. Basta con un almacenamiento de corto a mediano plazo, desde algunos meses hasta unos pocos años, con un enfoque funcional más inmediato y condiciones de preservación menos exigentes. En efecto, se pueden admitir mayor variabilidad en el contenido de humedad de las semillas y temperaturas de almacenamiento de hasta $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que son considerablemente menos bajas que las requeridas para el almacenamiento de largo plazo utilizado con fines de conservación.

A pesar de la utilidad que representa el almacenamiento de semillas, la posibilidad de implementarlo y el periodo por el cual puede ser usado está condicionado por la capacidad de las semillas para tolerar la desecación y mantener la viabilidad, situación que permite clasificarlas en semillas ortodoxas o recalcitrantes. Este aspecto y otros relativos al almacenamiento de semillas se discuten en los puntos siguientes.

Naturaleza de la Semilla (Ortodoxas, Recalcitrantes)

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 2**).

Cuadro 2. Tipo de fruto y de semillas de los géneros de las especies forestales chilenas.

Género	Tipo de Semilla	Tipo de Fruto	Género	Tipo de Semilla	Tipo de Fruto
<i>Acacia</i>	(O)	(14)	<i>Legrandia</i>	(R)	(2)
<i>Aextoxicon</i>	(R)	(9)	<i>Lithraea</i>	(O)	(12)
<i>Amomyrtus</i>	(R)	(2)	<i>Lomatia</i>	(O)	(13)
<i>Araucaria</i>	(R)	(6)	<i>Luma</i>	(R)	(2)
<i>Aristolelia</i>	(O)	(2)	<i>Maytenus</i>	(O)	(4)
<i>Austrocedrus</i>	(O)	(6)	<i>Myrceugenia</i>	(R)	(2)
<i>Beilschmiedia</i>	(R)	(3)	<i>Nothofagus</i>	(O)	(15)
<i>Caldcluvia</i>	(O)	(4)	<i>Persea</i>	(R)	(3)
<i>Citronella</i>	(R)	(10)	<i>Peumus</i>	(O)	(9)
<i>Cordia</i>	(O)	(11)	<i>Pilgerodendron</i>	(O)	(6)
<i>Crinodendron</i>	(R)	(4)	<i>Pitavia</i>	(R)	(2)
<i>Cryptocarya</i>	(R)	(3)	<i>Podocarpus</i>	(O)	(7)
<i>Dasyphyllum</i>	(O)	(1)	<i>Pouteria</i>	(R)	(2)
<i>Drimys</i>	(O)	(2)	<i>Proustia</i>	(O)	(1)
<i>Embothrium</i>	(O)	(13)	<i>Prumnopitys</i>	(O)	(8)
<i>Escallonia</i>	(O)	(5)	<i>Quillaja</i>	(O)	(4)
<i>Eucryphia</i>	(O)	(4)	<i>Salix</i>	(O)	(4)
<i>Fitzroya</i>	(O)	(6)	<i>Saxegothaea</i>	(O)	(6)
<i>Gevuina</i>	(R)	(15)	<i>Schinus</i>	(O)	(9)
<i>Gomortega</i>	(O)	(9)	<i>Sophora</i>	(O)	(14)
<i>Jubaea</i>	(O)	(9)	<i>Tepualia</i>	(O)	(4)
<i>Kageneckia</i>	(O)	(4)	<i>Trevoa</i>	(O)	(4)
<i>Laurelia</i>	(O)	(1)	<i>Weinmannia</i>	(O)	(4)
<i>Laureliopsis</i>	(O)	(1)			

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

Tipo de semilla: (O) Ortodoxa; (R) Recalcitrante.

Tipo de fruto: (1) Aquenio; (2) Baya; (3) Baya uniseminada; (4) Cápsula; (5) Cápsula pequeña; (6) Cono; (7) Cono con arilo carnoso; (8) Cono drupáceo; (9) Drupa; (10) Drupa carnosa; (11) Drupa leñosa; (12) Drupa seca; (13) Folículo dehiscente; (14) Legumbre indehiscente; (15) Nuez.

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 el 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, de superficie húmeda, un embrión proporcionalmente grande 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*).

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 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*), fuinque (*L. ferruginea*), ciruelillo (*Embothrium coccineum*)).

Condiciones de Almacenamiento

La pérdida de viabilidad de las semillas es un fenómeno que está regido en gran parte por la tasa de respiración, lo que hace que las medidas que reduzcan dicha tasa, sin producir daños, permiten prolongar la vida de la semilla almacenada. Esta longevidad aumenta al disminuir la temperatura y concentración de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento y el contenido de humedad de la semilla almacenada. Esta última es 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.

Contenido de humedad de las semillas

Reduciendo el contenido de humedad, se reduce la respiración y con ello se desacelera el envejecimiento de la semilla y se prolonga su viabilidad, siendo un parámetro incluso más importante que el control de la temperatura durante el almacenamiento.

La disminución de la humedad de las semillas a almacenar se puede realizar mediante: (i) exposición al aire en ambientes secos, ventilados y sombríos; (ii) Deshidratación con desecantes artificiales como el gel de sílice, que permite conservación a mediano y largo plazo y alcanzar contenidos de humedad tan bajos como 1 a 3%; (iii) cámaras de deshidratación, que, mediante deshumidificadores y aire acondicionado, mantienen valores de humedad relativa entre 10 y 15%; (iv) ultradesecación, 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).

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 ultradesecadas por liofilización y mantenidas a temperatura ambiente durante 10 años, han mostrado un mejor comportamiento que las conservadas a baja temperatura. De igual forma, semillas ultradesecadas con gel de sílice y mantenidas 40 años en un armario a temperatura ambiente, no han tenido un comportamiento distinto al de otras con mayor contenido de humedad, pero almacenadas en cámara fría. No obstante, parece evidente que la baja temperatura complementa, por lo que sería poco sensato prescindir de ella.

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 puede ser 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.

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

En vez de controlar la humedad en los envases, es posible controlarla en la misma cámara de almacenamiento, convirtiendo las cámaras frías en cámaras secas. Así, al mantener una temperatura alrededor de 0°C 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.

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.

Temperatura de Almacenamiento

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 dos años. La conveniencia de las temperaturas inferiores a cero grados se manifiesta preferentemente 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%.

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.



La priorización exclusiva de la temperatura podría comprometer llevar a descuidar el factor de baja humedad, sea por no deshidratar lo suficiente o por utilizar envases inadecuados, comprometiendo la eficacia del almacenamiento.

CONCLUSIONES

La colecta y almacenamiento de semillas forestales constituyen etapas críticas en los programas de restauración ecológica, conservación genética y mejoramiento forestal. Su adecuada implementación requiere la integración de criterios técnicos, genéticos y ecológicos que aseguren la calidad, viabilidad y funcionalidad del germoplasma recolectado.

La finalidad de uso de las semillas determina requerimientos específicos en términos de procedencia, diversidad genética y calidad del material. Así, las iniciativas de restauración demandan semillas con alta diversidad genética y adaptación local; la conservación genética requiere capturar la mayor variabilidad intraespecífica posible; y el mejoramiento forestal depende de la selección de individuos con atributos superiores y rendimiento comprobado.

Por su parte, la posibilidad de almacenamiento y la extensión del mismo depende de la naturaleza de las semillas. Las semillas ortodoxas pueden conservarse por períodos prolongados bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, mientras que las recalcitrantes presentan serias limitaciones para su almacenamiento debido a su baja tolerancia a la desecación. Las condiciones de almacenamiento pueden ser variables, dependiendo fundamentalmente del contenido de humedad de las semillas, y también de la temperatura de almacenamiento, la concentración de oxígeno y de la impermeabilidad y hermeticidad de los contenedores utilizados.

REFERENCIAS

- Bacchetta, G., Bueno-Sánchez, A., Fenu, G., Jiménez-Alfaro, B., Mattana, E., Piotto, B. & Virevaire, M. (Eds). (2008).** Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 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.
- Di Sacco, A; Way, M; León 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.
- 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.
- Gutiérrez, B. (2024).** ¿Es la semilla de origen local el mejor material genético para efectos de restauración? Ciencia & Investigación Forestal, 29(3): 85–94. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.598>
- 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. Cap 9. Pp: 221-237. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31302>

- 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. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20830>
- 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>
- 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>
- Ipinza, R. & Gutiérrez, B. (2014).** Consideraciones genéticas para la restauración ecológica. Ciencia & Investigación Forestal, 20(2): 51-72. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2014.421>
- Jones, T. & Monaco, T. A. (2007).** Restoration Practitioner's Guide to the Restoration Gene Pool Concept. Ecological Restoration, 25(1): 12-19. <https://doi.org/10.3368/er.25.1.12>
- 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.
- 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.
- 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, N°13. Pp: 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, N° 11. Pp: 300–311. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.09.002>
- 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.
- 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, N° 333. Pp: 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.