

Restauración ecológica a escala de paisaje: el aporte de los bancos de germoplasma*



Pedro León-Lobos
Biólogo, Mg.Sc., Ph.D.
Investigador INIA La Platina



Erwin Domínguez D.
Botánico, Mg.Sc.
Investigador INIA Kampenaike



Lorena Barra B.
Ingeniera Civil Industrial/Ingeniera Agrónoma, Mg. Cs., Dra.
Investigadora INIA Quilamapu



Carolina Pañitrur D.
Ingeniera Agrónoma, Dra.,
Encargada Banco Base de Semillas
INIA



* Este artículo contó también con la colaboración y edición especial de **Fernando Ortega K.**, Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Investigador de INIA Carillanca.

Los bancos de germoplasma permiten conservar semillas y microorganismos, y disponer de material genético esencial para el éxito de la restauración ecológica y a escala de paisaje.

Las Naciones Unidas proclamó al decenio 2021–2030 como la Década para la Restauración de los Ecosistemas, con el fin de prevenir, detener y revertir su degradación en todo el mundo. Para ello, impulsa una estrategia orientada a promover y apoyar la restauración ecológica, haciendo frente a la crisis ambiental global generada por la pérdida de ecosistemas naturales¹.

Por su parte, en abril de 2020 Chile actualizó sus compromisos —Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC)— para enfrentar el cambio climático y avanzar hacia la meta de carbono neutralidad, implicando la incorporación a procesos de restauración de 1 millón de hectáreas al 2030, priorizando aquellas con mayor vulnerabilidad social, económica y ambiental². Esta meta ha sido incorporada en el reciente Plan Nacional de Restauración de Paisajes³, impulsado por el

Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Agricultura, junto con la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Restaurar 1 millón de hectáreas en ocho años es un desafío sin precedentes en nuestro país, que implica movilizar una gran cantidad de financiamiento, capacidades técnicas, de coordinación, gestión y logística. Además de requerir un buen conocimiento sobre la estructura y funcionalidad de los ecosistemas a intervenir, de tecnologías basadas en este conocimiento científico, y de capital humano capacitado y calificado, se necesita disponer de germoplasma vegetal (semillas y plantas) y microbiano de alta calidad, cantidad y genéticamente diverso.

Las semillas, al ser las unidades básicas de reproducción sexual de las plantas superiores, tienen un rol exclusivo e irremplazable en la

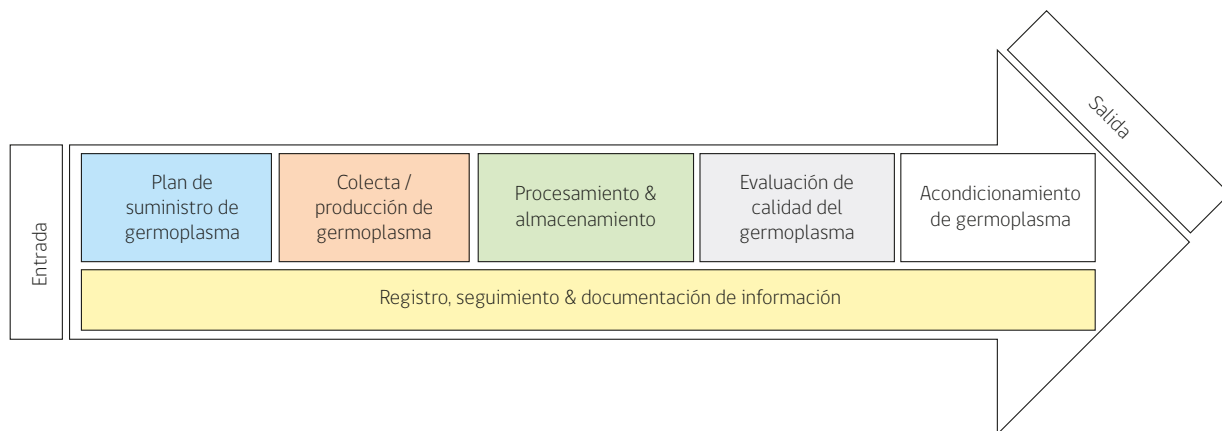
restauración ecológica. Estos son los insumos básicos para producir plantas, por almácigo-transplante o por siembra directa. En las semillas se encuentra almacenada toda la información genética de las especies, su valor evolutivo y de adaptación a los ecosistemas donde viven. Por tanto, sin semillas la restauración ecológica no podría llevarse a cabo.

Por su parte, los microorganismos (hongos y bacterias) del suelo son fundamentales para la vida en la tierra. Juegan un rol clave en la dinámica de las comunidades vegetales y del ecosistema, participando en la formación de suelo, a través de la degradación de la materia orgánica; el ciclaje de nutrientes; la fijación y solubilización de nutrientes esenciales para las plantas; y la protección de las plantas frente a condiciones de estrés biótico y abiótico, entre otras funciones. Por ello, no se puede concebir un programa de restauración sin considerar a los microorganismos, especialmente en áreas muy erosionadas y afectadas por perturbaciones antrópicas, donde se han producido importantes pérdidas de biodiversidad, materia orgánica y en consecuencia vida microbiana.

¹ <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31813/ERDStrat.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

² https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf

³ <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/Plan-Nacional-de-Restauracion-de-Paisajes-2021-2030.pdf>



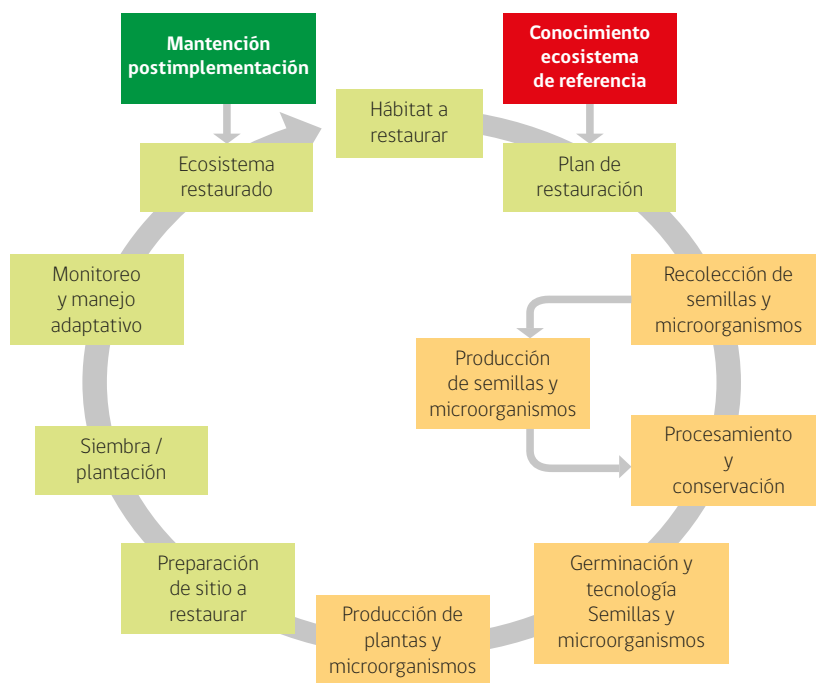
➤ **Figura 1.** Cadena de Suministro de Germoplasma nativo para restauración ecológica. Adaptado de Pedrini & Dixon (2020). Restoration Ecology. Special Issue 28:S3 pp: S213-S303.

Rol de los Bancos de Germoplasma

Los bancos de germoplasma tienen un rol preponderante en el cumplimiento de los objetivos nacionales de restauración del paisaje:

- Permiten almacenar y disponer de gran cantidad de material genético para restauración de diversas especies.
- Posibilitan rescatar y resguardar material genético diverso de áreas con alta probabilidad de ser afectadas por catástrofes ambientales, como la mega sequía e incendios forestales que ocurren en la zona central y sur de Chile.
- Permiten responder rápidamente con acciones de revegetación (plantas) e inoculación (microorganismos) en áreas siniestradas, por ejemplo, por incendios forestales.
- Posibilitan generar y disponer de conocimientos y tecnologías para germinar semillas y producir plantas nativas para restauración.

Para el éxito de la restauración del paisaje se debe implementar una Cadena de Suministro de Germoplasma (CSG), tanto de semillas como de microorganismos. Parte fundamental de esta CSG es contar con Bancos de Germoplasma y sus procedimientos habituales



➤ **Figura 2.** Esquema del proceso de restauración ecológica de ecosistemas (cuadros en verde), incluyendo, además, las etapas de la Cadena de Suministro de Germoplasma (cuadros en café claro), insumo clave para la restauración ecológica.

(adquisición, procesamiento, monitoreo, regeneración y multiplicación, y documentación, entre otros) que se insertan plenamente en la CSG (**FIGURA 1**).

En términos simples, la CSG no es otra cosa que un programa de conservación de germoplasma para la restauración ecológica. Por lo

anterior, los bancos de germoplasma son actores claves para operativizar la CSG y, consecuentemente, juegan un rol esencial en el cumplimiento de los objetivos nacionales e internacionales en restauración ecológica. La CSG es un componente crítico y tiene que ser parte integral dentro del ciclo de restauración ecológica (**FIGURA 2**).

La CSG, debe ser considerada desde el inicio del proceso, desde la elaboración del Plan de Restauración, e incluye:

- a. **Un plan de obtención y suministro de germoplasma.** Es necesario planificar todos los aspectos esenciales, tanto técnicos como de logística, de la prospección y colecta de germoplasma. Esto incluye priorizar las especies y grupos, definir zonas de transferencia de material, localizar las fuentes de germoplasma, épocas de recolección, cantidad de muestra a recolectar por especie, proveedores de germoplasma en caso que se requiera, logística para traslado y manejo del material, medidas de seguridad y permisos, entre otros aspectos.
- b. **Recolección de germoplasma.** Esta se debe realizar sobre la base de protocolos y estándares que permitan obtener muestras de germoplasma (semillas y microorganismos) de alta calidad y diversidad genética, de la forma más eficiente y segura posible, sin dañar el ecosistema.
- c. **Producción/multiplicación.** En caso de contar con insuficiente germoplasma por muestra, a partir de colectas *in situ*, la alternativa es establecer sistemas de producción o multiplicación para satisfacer la demanda de propágulos para la restauración a gran escala. Al igual que para la colecta, se debe tener presente mantener una alta diversidad genética.
- d. **Procesamiento y conservación de germoplasma (semillas y microorganismos).** El procesamiento tiene como propósito obtener muestras limpias, puras y de alta calidad fisiológica. Una vez procesadas, las muestras deben ser secadas y posteriormente almacenadas en cámaras de frío (0 a -20 °C). Para las pocas especies con semillas que no toleran estas condiciones de almacenamiento (Avellano chileno, Pitao, Araucaria, Belloto,

Peumo, Luma y Arrayán), sus semillas se pueden mantener húmedas por un periodo corto (menos de 1 año) y entre 5 a 15 °C. De preferencia, llevarlas directamente a siembra. En el caso de las muestras de suelo, para el aislamiento de microorganismos benéficos, por lo general, se almacenan entre 4 y 8 °C. Una vez aislados los microorganismos estos pueden ser conservados en medio de cultivos, por crioconservación y/o liofilización.

- e. **Germinación y tecnología de semillas y microorganismos.** Para plantas, los ensayos de germinación permiten evaluar la calidad de las semillas almacenadas, además de desarrollar/adaptar los protocolos que las especies requieren para ser propagadas (vía semillas). También, desarrollar tecnologías de postcosecha (acondicionamiento, encapsulado, peletización), para acelerar y sincronizar la germinación; mejorar el vigor de las semillas, la emergencia de plántulas y, al final, el establecimiento. Para el caso de los microorganismos es fundamental determinar la viabilidad y pureza postconservación, lo que permitirá entregar material de calidad, para la elaboración de inóculos que serán usados en la restauración.

- f. **Documentación de germoplasma.** La captura o registro de información asociada a las muestras de germoplasma, debe ser realizada desde un inicio (**FIGURA 1**). Esta información incluye datos de origen de la procedencia, manejo y calidad del material, la que es esencial para dar valor y utilidad al germoplasma que ingresa a la cadena de suministro. Un sistema de documentación permite hacer un manejo y gestión efectivos de todas las etapas de la cadena de suministro, ya que mientras mayor información cuenta el germoplasma preservado, mayor es su valor para la restauración.

Aporte de los bancos de germoplasma de INIA a la restauración ecológica

INIA tiene experiencia en la aplicación de tecnologías de bancos de semillas, para especies nativas a nivel nacional. Desde hace más de 30 años sus bancos operan bajo protocolos establecidos sobre la base de estándares internacionales. A través de estos, se han ejecutado diversos proyectos y programas a solicitud del sector público y privado para la recolección, propagación y conservación de semillas nativas, para fines de investigación y también para restauración (**FIGURA 3**).



📌 **Figura 3.** Plantas de Llaleta (*Azorella ruizii*) de 2 años, generadas a partir de semillas conservadas en banco de germoplasma, utilizadas en un ensayo piloto de restauración, en la cordillera de la Región de Valparaíso.



📍 **Figura 4.** Etapas del desarrollo y crecimiento de plántulas de Litre (*Lithrea caustica*).

Cabe destacar un programa emblemático, apoyado por el Jardín Botánico Real de Kew (Reino Unido), que se extendió por 15 años (2001–2016) y que permitió, entre otros logros, recolectar y conservar semillas del 28 % de la flora nacional, siendo un 67 % de estas endémicas del país. Dentro de esta misma línea se

han apoyado y realizado medidas de mitigación ambiental para el sector privado, lo que ha posibilitado conservar semillas y generar plantas de un número importante de especies nativas con fines de repoblamiento (**FIGURA 4**).

Además, a través del proyecto FNDR Diagnóstico y Conservación de la Flora Costera, Región de Antofagasta,

se está desarrollando un plan piloto que busca preservar, propagar y reintroducir en su hábitat natural, especies nativas amenazadas de la zona costera de la región (**FIGURA 5**). Esto con el fin de mejorar el estado de conservación de estas especies, además de mantener los servicios ecosistémicos en este valioso entorno.



📍 **Figura 5.** (A) Monitoreo de ensayo de reintroducción en Cerros de Paposo (Taltal, Región de Antofagasta). (B) Planta de *Dalea azuera*, especie en peligro de extinción —endémica al sector de Paposo—, y propagada a partir de semillas conservadas en el banco de germoplasma.



➤ **Figura 6.** Monitoreo de vegetación y toma de muestras de suelo para el aislamiento y caracterización de microorganismos, en la estepa patagónica, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

Por último, y de forma reciente, se trabaja en el monitoreo de la cubierta vegetal y en un plan de trabajo para la restauración ecológica de la estepa patagónica en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena (**FIGURA 6**).

Consideraciones finales

Con el fin de facilitar el cumplimiento del compromiso nacional de restaurar 1 millón de hectáreas al 2030, es imprescindible que el país implemente una Cadena de Suministro de Germoplasma nativo. Para ello se requiere fortalecer y expandir las capacidades nacionales en conservación de semillas de especies nativas y microorganismos. En los últimos 30 años, INIA ha incrementado sus facultades para la conservación de semillas nativas y, a partir de 2012, de microorganismos,

focalizando sus esfuerzos en las alianzas público-privadas.

El desarrollo de sistemas sostenibles de suministro de semillas nativas y microorganismos benéficos para acciones de restauración de paisajes, sobre la base de diversas especies y estándares de alta calidad, requiere de una fuerte inyección de recursos económicos por parte del Estado y privados, para mejorar las capacidades nacionales orientadas a alcanzar los objetivos de restauración ecológica y la conservación de la diversidad biológica. **TA**

Glosario

Restauración ecológica: proceso que contribuye a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.

Restauración de ecosistemas:

a veces se usa indistintamente como restauración ecológica, pero restauración ecológica siempre aborda la conservación de la biodiversidad y la integridad ecológica, mientras que algunos enfoques para la restauración de ecosistemas pueden centrarse únicamente en la prestación de servicios ecosistémicos.

Restauración del paisaje:

es el proceso continuo de mejoramiento del bienestar humano y recuperación de la funcionalidad ecológica de paisajes de gran extensión y diversidad de usos, actores y ecosistemas, tanto terrestres como de aguas continentales y marino-costeras.