



---

APUNTE

## ¿Es la semilla de origen local el mejor material genético para efectos de restauración?

Braulio Gutiérrez Caro<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Instituto Forestal, sede Biobío. [bgutierr@infor.cl](mailto:bgutierr@infor.cl)

\*Autor para correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.598>

Recibido: 18.10.2023; Aceptado 10.11.2023

---

### RESUMEN

Se cuestiona el paradigma de que las semillas de origen local son la mejor alternativa para efectos de restauración. Al respecto, se describen situaciones en que el uso de semillas foráneas o mezclas de semillas locales y foráneas resultan opciones más adecuadas que el mero uso de semilla local. Se plantea que estas consideraciones contribuirán a mejorar la selección del origen de las semillas utilizadas para plantaciones de restauración, permitiendo así mejorar el grado de éxito de estas iniciativas.

**Palabras clave:** Semilla local, restauración, procedencias, diversidad genética, potencial evolutivo.

### SUMMARY

The paradigm that local seeds are the best alternative for restoration purposes is questioned. In this regard, situations are described in which the use of foreign seeds or mixtures of local and foreign seeds are more appropriate options than the mere use of local seeds. It is proposed that these considerations will contribute to improving the selection of the origin of the seeds used for restoration plantations, thus allowing the degree of success of these initiatives to be improved.

**Key words:** Local seed, restoration, provenance

---

## INTRODUCCIÓN

En las iniciativas de restauración se ha de velar por seleccionar un material de plantación idóneo y genéticamente diverso para cada sitio de plantación (Ipinza & Gutiérrez, 2014). Al respecto, la principal y más relevante consideración genética que condiciona la producción de plantas con fines de restauración, es el abastecimiento de semillas o materiales de propagación adecuados, especificándose que para estos efectos la idoneidad del material de propagación, se refiere al origen y diversidad genética de las fuentes de semillas y de los lotes de semillas que desde allí se obtienen (Gutiérrez, 2021).

En efecto, es ampliamente aceptado que tales elementos son determinantes para la adaptación de las plantas al sitio de restauración y también para conservar el potencial evolutivo y ofrecer así un amplio espectro de variabilidad genética para seguir adaptándose a las cambiantes condiciones futuras. Por lo mismo, si la restauración busca asegurar el establecimiento y la perpetuación natural de las masas implantadas, rehabilitar los procesos ecológicos 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. Por el contrario, al no tener en cuenta estas consideraciones, las iniciativas de restauración podrían estar destinada al fracaso, aunque esto solo llegue a ser perceptible mucho después de iniciada la actividad, tal como lo sugieren Thomas *et al.* (2014, 2015) y se detalla en Bozzano *et al.* (2014).

Un punto distinto, pero muy relacionado con lo anterior es dilucidar que tan idónea es la semilla local para satisfacer los requisitos de una iniciativa específica de restauración. En efecto, el uso de semillas de origen local en la restauración es una práctica prudente, habitual y muy extendida, que se ha consolidado en una especie de paradigma de que “*lo local es lo mejor*”. Sin embargo, esta postura no considera ni integra algunos importantes aspectos como la pérdida de biodiversidad, la fragmentación del hábitat y el cambio climático (McKay *et al.*, 2005; Breed *et al.*, 2013; Jones, 2013; Hancock *et al.*, 2013; Hancock & Hughes, 2014, Gellie *et al.*, 2016). Tampoco considera en toda su extensión el concepto de los acervos genéticos de restauración (Jones, 2003; Jones & Monaco, 2007) y no son escasos los resultados empíricos en que las fuentes locales han tenido desempeños inferiores a los obtenidos por material genético más lejano (Nolan *et al.*, 2023; Gellie *et al.*, 2016).

En el contexto descrito, el presente documento busca poner sobre la mesa algunas consideraciones y reflexiones respecto al origen del material genético involucrado en actividades de plantación o siembra implementadas en el marco de iniciativas de restauración, aportando y revisando alguna información que permita ponderar en mejor forma los criterios de selección de semillas para promover un nuevo paradigma, de que para efectos de restauración “*lo local no siempre es lo mejor*”.

## QUÉ ES SEMILLA LOCAL

La semilla es el componente fundamental de las plantaciones de restauración y elegir el origen de las mismas es la principal decisión que tendrá consecuencias importantes en el proceso de restauración. Tradicionalmente se ha fomentado el uso preferencial de semillas locales, asumiendo que ellas maximizan el éxito, al preservar la adaptación local específica. Sin embargo, no es fácil definir que constituye una “procedencia local”, ya que la procedencia a menudo se basa en límites espaciales arbitrarios y por lo mismo, el concepto de “local” resulta ampliamente divergente entre proyectos (Havens *et al.*, 2015). Como indican McKay *et al.* (2005), una de las principales preocupaciones genéticas de los profesionales de la restauración es definir ¿Qué tan local es local?. Frecuentemente se tienden a asumir que la adaptación local viene dada por defecto, aspecto respaldado por numerosos estudios de genética ecológica, sin embargo, también hay evidencia de que el flujo de genes, los bancos de semillas y, quizás lo más importante, las fluctuaciones temporales en la selección pueden reducir la probabilidad de ecotipos locales altamente especializados.

Tradicionalmente la semilla local es aquella que se obtiene en el mismo sitio de plantación o en áreas próximas a esta. En los mejores casos se extiende el concepto de local a la semilla procedente de la misma procedencia, o zona de procedencia del lugar de plantación. Esta semilla generalmente presenta ventajas adaptativas que han motivado su uso preferente en las iniciativas de restauración, sin embargo, atribuirle *a priori* esas ventajas desconoce que, en ambientes fuertemente degradados, fragmentados y bajo condiciones de cambio climático, ya no es posible generalizar que siempre las semillas de origen local serán las mejores, o incluso ni siquiera una alternativa adecuada para la restauración de un sitio particular (Havens *et al.*, 2015).

Se ha descubierto que la diferenciación genética adaptativa entre poblaciones aumenta con la distancia geográfica, lo que refleja una correlación entre la distancia y las diferencias en las condiciones ambientales a las que las poblaciones se han adaptado. Sin embargo, también es común que las especies muestren una importante diferenciación genética a pequeña escala entre diferentes hábitats, así, 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). Por lo mismo, será más importante buscar semillas en las áreas más similares al sitio de restauración, en lugar que simplemente en las más cercanas (Mijnsbrugge *et al.*, 2010).

En efecto, la investigación genética indica que la distancia geográfica es un mal predictor de la diferenciación adaptativa (McKay *et al.*, 2005) y no existe un criterio claro para determinar, en distancia, hasta dónde se pueden mover con éxito las plantas a partir del lugar de origen de sus semillas. El concepto “local” queda entonces mejor definido por la similitud climática y ambiental del material de origen en relación con el sitio de plantación a donde será transferido (Erikson & Halford, 2020). En este sentido la definición

de procedencias, zonas de procedencias, zonas genéticas o zonas semilleras es una medida útil para orientar la colecta de semillas.

## **SOBREVALORACIÓN DE PROCEDENCIA LOCAL**

En restauración normalmente se sugiere que es importante usar semilla localmente adaptada, por cuanto las poblaciones locales a menudo muestran ventajas para el sitio de restauración, en tanto que el material genético foráneo puede tener problemas de adaptación a las condiciones ambientales locales. En efecto, se han listado numerosas desventajas y peligros asociados al uso de material foráneo, entre ellos la alteración de las frecuencias génicas; la introducción de genes mal adaptados a las condiciones locales; la hibridación interespecífica entre material local y foráneo, que puede generar un impacto negativo sobre la estructura genética de la población local mediante depresión exogámica o contaminación genética; la fijación de genotipos inadaptados debido a la deriva genética; la alteración de los patrones locales de interacción genética entre especies; una menor capacidad para adaptarse a cambios ambientales futuros y una serie de derivaciones en cascada a nivel poblacional y comunitario a partir de los argumentos primarios (Endler *et al.*, 2010; Mijnsbrugge *et al.*, 2010; Hancock *et al.*, 2013). Sin embargo, tales desventajas, si bien razonables, comienzan a perder valor en la medida que se trabaja en ambientes fuertemente degradados o bajo las modificaciones ambientales asociadas al cambio climático (Jones, 2013; Hancock *et al.*, 2013), obligando a los restauradores a reconsiderar el principio básico de la ecología de la restauración, respecto a la idoneidad del material local al enfrentar condiciones como las indicadas.

Por otra parte, aun cuando a menudo se asume que las poblaciones locales son superiores a las foráneas, existen abundantes estudios que demuestran que las poblaciones no locales pueden expresar un mejor desempeño que las propias del lugar (Mijnsbrugge *et al.*, 2010). Esto ocurre especialmente cuando las poblaciones locales han perdido variabilidad genética y exhiben pérdidas de adaptabilidad que no garantizan su permanencia en el escenario climático proyectado a futuro (Jones & Monaco, 2007; Lowe, 2010).

Distintos experimentos para comparar el desempeño de procedencias (trasplantes recíprocos, ensayos de jardín común o pruebas de procedencias y de interacción genotipo ambiente) frecuentemente han evidenciado superioridad de genotipos no locales, concluyéndose que un excesivo énfasis en germoplasma local puede ocultar el hecho de que la proximidad geográfica para los sitios de plantación no es necesariamente el mejor indicador de la calidad o la idoneidad del material de propagación.

Dos meta-análisis descritos en Jones (2013) muestran que, si bien el desempeño local superó el rendimiento de una población no local elegida al azar en el 71% de las comparaciones, la adaptación general entre entornos fue tan frecuente como adaptación local. Por su parte, Hancock *et al.* (2013) tras comparar el rendimiento de plantas de seis especies (*Acacia falcata*, *Bursaria spinosa ssp. spinosa*, *Eucalyptus crebra*, *E. tereticornis*, *Hardenbergia violacea* y *Themeda australis*) cultivadas a partir de semillas locales y no locales en dos experimentos de jardín común, encontraron poca evidencia de que las plantas de procedencia local fueran superiores a las de procedencias distantes en términos de supervivencia y establecimiento. De 12 evaluaciones efectuadas (6 especies x 2 sitios) solo en 4 hubo diferencias significativas de supervivencia a favor de la procedencia local. En términos de crecimiento (altura, diámetro y biomasa aérea) y porcentaje de floración, solo en una de las 6 especies se observó una superioridad consistente del origen local sobre el foráneo (*B. spinosa*). En síntesis, no detectan pruebas sólidas de superioridad local para el éxito del establecimiento, lo que les permite concluir que la inclusión de material de procedencia no local puede considerarse como una estrategia de adaptación para mitigar los efectos de un entorno cambiante al aumentar el potencial evolutivo de la especie en el sitio.

Las mismas conclusiones se obtienen en el estudio de Hancock & Hughes (2014) donde se compara una procedencia local con 3 procedencias no locales de *E. tereticornis* en campo y bajo condiciones controladas, en cámara de crecimiento, donde se simulan condiciones de temperatura esperadas para escenarios climáticos del año 2050. No hubo evidencia de superioridad local para la supervivencia o el crecimiento, tanto en terreno como en cámara. Incluso, en el ensayo de campo la procedencia local sufrió una herbivoría significativamente mayor que la procedencia no local. En general, las procedencias de

climas más cálidos demostraron un rendimiento de crecimiento comparable, y a menudo mejor, que las plantas de procedencia local.

Gellie *et al.* (2016) confirman la situación anterior con un experimento de jardín común, donde comparan procedencias locales y no locales de *Eucalyptus leucoxylon*, en términos de supervivencia, altura, susceptibilidad a la herbivoría de insectos y estrés relacionado con patógenos. La procedencia local tuvo la mayor mortalidad y creció menos. La procedencia local también sufrió más por la herbivoría de invertebrados y el estrés relacionado con patógenos. Sus resultados dejan en evidencia que no se obtendría ninguna ventaja durante el establecimiento de *E. leucoxylon* utilizando únicamente la procedencia local, sugiriendo que la incorporación de mezclas de semillas más diversas de todo el gradiente de aridez durante la restauración de bosques abiertos de *Eucalyptus* proporcionaría beneficios cuantificables para la restauración (por ejemplo, entre un 6 y un 10 % más de supervivencia, entre un 20 y un 25 % más de altura de las plantas, entre un 16 y un 45 % más resistencia a patógenos durante el establecimiento).

En forma análoga, al evaluar la supervivencia y crecimiento de un ensayo de procedencias y progenies de roble (*Nothofagus obliqua*) de 16 años de edad, Gutiérrez (2020) observa que existe escasa diferenciación de desempeño entre procedencias y regiones de procedencias, siendo más evidente a nivel de progenies. Al respecto concluye que no hay coincidencia entre los mejores materiales y los materiales locales, estos últimos evidencian una superioridad marginal y no se destacan en forma especialmente favorables entre los orígenes y progenies evaluados. En otra evaluación, para un ensayo de procedencias y progenies de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) de 15 años de edad no se observan diferencias estadísticamente significativas entre zonas de procedencia, resultando que la procedencia local no se diferencia de las foráneas para efectos de crecimiento en altura ni diámetro (Gutiérrez, 2017).

## CUANDO LO LOCAL NO ES LO MEJOR

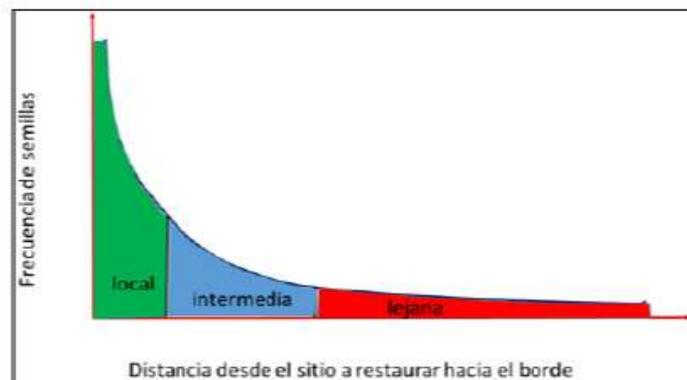
### Ecosistemas Muy Degradados o Fragmentados

Cuando en las áreas a recuperar o restaurar persisten pocos árboles remanentes, estos pueden ser consanguíneos y con una importante reducción de su adecuación biológica. Tal situación invalida o reduce el valor de dicha población como una fuente semillera adecuada (Vranckx *et al.*, 2012; Breed *et al.*, 2012; Murawski *et al.*, 1994; Ng *et al.*, 2009). Este escenario suele imperar en condiciones de gran alteración, cuando no existen fuentes de semilla local, o cuando las fuentes existentes son pequeñas, de poca variabilidad genética y ya no resultan adecuadas para repoblar el sitio degradado. En estas condiciones, en que las poblaciones locales remanentes no pueden satisfacer los requerimientos de diversidad genética que garanticen el potencial adaptativo de la vegetación implantada Broadhurst & Boshier (2014) señalan que las fuentes locales podrían no producir semilla de calidad para labores de restauración, indicando que la pérdida de diversidad genética puede requerir el uso de semillas desde poblaciones no locales.

Debe tenerse en cuenta que la diversidad genética es necesaria no solo para proteger los recursos genéticos, sino que también para mejorar el éxito inicial de la restauración y proporcionar resistencia contra la presión ambiental y las condiciones cambiantes del futuro. 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 de los bosques.

Consecuentemente, en condiciones en que la semilla local no proporciona suficiente diversidad genética, el abastecimiento de germoplasma forestal de sitios más lejanos, pero de condiciones ecológicas similares, puede ser una mejor opción que recurrir a bosques cercanos fragmentados, intensamente explotados o árboles aislados (Breed *et al.*, 2011; Sgro *et al.*, 2011). Esto constituye el ejemplo clásico de que “*lo local no siempre es lo mejor*”. En efecto para fines de promover la diversidad genética del germoplasma utilizado

en restauración Lowe (2010) sugiere utilizar mezcla de semillas donde se combinen en distinta proporción orígenes locales con otros más distantes respecto al sitio a restaurar (Figura 1).



(Fuente. Lowe,2010)

Figura 1. Composición de mezcla de semillas para restauración

### Cambios en Condiciones Ambientales

Cuando las condiciones ambientales han experimentado, o se espera que experimenten cambios radicales en el futuro, como ocurre con el acelerado cambio climático global, se produce un serio cuestionamiento a la suposición de que el uso de acervo genético local proporcionará el mejor resultado de restauración a largo plazo (Hancock & Hughes, 2014). El cambio climático está alterando los patrones globales de temperatura y precipitación, de modo que estas desviaciones de las condiciones históricas, y la variabilidad prevista de los climas futuros dificultan las estrategias y decisiones de abastecimiento de semillas de las procedencias idóneas para la práctica de la restauración ecológica. El paradigma de "lo local es lo mejor", sustentado en el principio de que los ecotipos están genéticamente adaptados a su entorno local, se debilita debido a que las adaptaciones locales comienzan a ser superadas por el cambio climático (Vitt *et al.*, 2022). En esta situación normalmente falta evidencia empírica para gestionar el abastecimiento de semillas, adecuadas para garantizar la longevidad y la función ecológica de las comunidades naturales restauradas.

La adaptación local está condicionada en parte por extremos climáticos pasados, que, aunque sean poco frecuentes, permiten recuperar esta "memoria genética" cuando se repiten, favoreciendo así el postulado de que "lo local es lo mejor". Sin embargo, la memoria genética puede ser menos relevante cuando las condiciones ambientales han cambiado. Al respecto no debe perderse de vista que los genotipos locales son hasta cierto punto transitorios, y consecuencia de acontecimientos históricos y patrones ambientales pasados, que no se condicen necesariamente con las condiciones existentes en la actualidad ni con las esperables en el futuro. Consecuentemente, Jones (2023) indica que el paradigma de que "lo local es mejor" puede considerarse más como una hipótesis comprobable que como un supuesto general. Así, a medida que el cambio ambiental se acelera, tanto a nivel global como a nivel local, las excepciones a "lo local es lo mejor" es muy probable que aumenten.

Aquellas especies que han evolucionado en ambientes estables y con pocos cambios, muestran alta adaptación local (especies especialistas) y son el caso clásico de "local es mejor", pero esta condición solo será válida mientras las condiciones a las que están adaptadas no cambien.

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 (Gutiérrez, 2021). Experiencias realizadas con especies de pastos perennes (Nolan *et al.*, 2023), respaldan el uso de mezclas regionales

de semillas y permiten concluir que provenir de un lugar seco durante una temporada seca es una ventaja, que resalta la importancia de incluir poblaciones adaptadas a la sequía para aumentar la resiliencia climática. Por el contrario, los mismos experimentos entregan escasa evidencia de que restringir el abastecimiento de semillas a las poblaciones locales mejore la supervivencia y establecimiento de las especies evaluadas.

### En los Límites de la Distribución

Para poblaciones en el límite de la distribución de una especie, o expuestas a presiones de selección atípicas de la especie en su conjunto, es más probable que lo mejor sea lo local. Sin embargo, el desempeño de poblaciones de especies propensas a la depresión endogámica puede verse comprometido por los efectos fundadores, la endogamia o la fragmentación del paisaje. Estas poblaciones genéticamente empobrecidas tienen más probabilidades de mostrar una mala adaptación local y menos probabilidades de ser las mejores (Jones, 2013). Análogamente, cuando las condiciones ambientales varían significativamente entre los sitios que ocupa una especie, la selección natural podrá promover cierta interacción genotipo ambiente para favorecer adaptación local a cada sitio específico, contribuyendo a "local es mejor". Sin embargo, esta selección puede verse confundida por el flujo y la deriva genética, opuesta a la selección por variación ambiental temporal, y limitada por una falta de variación genética, de modo que lo local no será necesariamente lo mejor.

### ACERVOS GENÉTICOS PARA RESTAURACIÓN

Para organizar y entender las distintas fuentes de germoplasma que puede ser usados para efectos de restauración, resulta útil recurrir al concepto de acervos genéticos para restauración (Jones, 2003; Jones & Monaco, 2007). Estos acervos se clasifican, en función de su proximidad o identidad genética con la población objetivo a restaurar, en cuatro categorías; desde el más parecido al material local (acervo primario), hasta el más distante (acervo cuaternario). El acervo genético primario tiene una relación directa con las especies del lugar a restaurar y es genéticamente idéntico al material que originalmente existía en dicho lugar, en este contexto la identidad genética es igual a uno. En el acervo genético secundario (2°), la identidad genética es menor que uno y así en los acervos genéticos siguientes (3° y 4°) va declinando la correspondencia genética (**Figura 2**), estos últimos tres acervos corresponden a distintas categorías de semillas foráneas (no locales).

El enfoque de los acervos genéticos de restauración reconoce la diferencia entre identidad genética y potencial de adaptación. En esta aproximación, cuando el ecosistema del sitio a restaurar ha sido irreversible o significativamente alterado en su estructura o funcionalidad, la selección y adaptación del material vegetal se desacopla de la identidad genética. Así, cuando el material local (acervo primario) es escaso, con poca variabilidad o ya no resulta apropiado para repoblar el sitio degradado, entonces se debe complementar con semillas de fuentes no locales (acervos secundario, terciario y cuaternario) con potencial de adaptación. Es decir, no siempre las especies con la mayor identidad genética serán exitosas en dicho sitio, por lo tanto, muchas veces tendrán que ser sustituidas por acervo genéticos de orden superior.

ACERVOS GENÉTICOS PARA RESTAURACIÓN	
<p><b>Primario</b> Alta identidad genética con población objetivo. Incluye solo material local y de poblaciones conectadas mediante flujo génico.</p>	Local, misma zona de procedencia
<p><b>Secundario</b> Cuando no se dispone del acervo primario. Corresponde a semillas colectadas desde poblaciones de la misma especie, pero no conectadas mediante flujo génico con la población objetivo.</p>	Misma u otra zona de procedencia
<p><b>Terciario</b> Especies o grupos taxonómicos relacionados con los del sitio objetivo, o híbridos entre aquellos y estos.</p>	Otras especies, otros orígenes, exóticas
<p><b>Cuaternario</b> Considera especies o grupos taxonómicos que puedan cumplir papeles similares en la estructura y función ecosistémica que aquellos desempeñados por las especies de la población objetivo.</p>	

(Fuente: Adaptado de Jones, 2003 y Jones y Monaco, 2007)

Figura 2. Caracterización de los acervos genéticos para restauración.

Usando una lógica similar a la de los acervos genéticos para restauración, Havens *et al.* (2015) describen 5 categorías de procedencias, desde la estrictamente local hasta otras más disimiles y lejanas, definiendo las condiciones en que se recomienda su utilización y detallando las ventajas y desventajas de cada una (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de distintos tipos de procedencias de semillas para efectos de restauración.

Procedencia	Ventajas	Desventajas	Uso Recomendado
<p><b>Estrictamente local:</b> Semillas del sitio a restaurar o poblaciones cercanas conectadas por flujo génico.</p>	-Poco riesgo de problema de adaptación, al menos en el corto plazo.	-Base genética estrecha. -Posible endogamia. -Deriva genética. -Pérdida de potencial adaptativo.	-Ambientes con mínima alteración. -Cuando hay extensas poblaciones locales en el sitio a restaurar o adyacente a él. -El cambio previsto en la distribución es bajo.
<p><b>Local con holgura:</b> Mezcla de semillas de poblaciones geográficamente cercanas con énfasis en aquellas de condiciones ambientales equivalentes a las del área a restaurar.</p>	-Poco riesgo de problema de adaptación, al menos en el corto plazo. -Evita endogamia -Aumenta potencial adaptativo.	-Puede tener una base genética estrecha. -Pérdida de potencial adaptativo para el largo plazo.	-Ambientes con mínima alteración. -El cambio previsto en la distribución es bajo.
<p><b>Compuesta cercana:</b> Mezcla de semillas de poblaciones cercanas e intermedias para imitar el flujo génico a larga distancia.</p>	-Evita endogamia -Aumenta potencial adaptativo.	-Problemas de adaptación -Depresión exogámica	-Ambientes con mínima alteración. -Ambientes muy fragmentados. -El cambio previsto en la distribución es moderado.

<p><b>Compuesta lejana:</b> Mezcla de semillas de varias poblaciones ubicadas a distancias variables a lo largo de la distribución de la especie.</p>	<p>-Maximiza potencial adaptativo.</p>	<p>-Mayor riesgo de mala adaptación. -Depresión exogámica. -Posibilidad de genotipos invasores.</p>	<p>-Ambientes muy alterados. -El cambio previsto en la distribución es alto.</p>
<p><b>Predicha o estimada:</b> Semillas de individuos bien adaptados a ambientes con condiciones equivalentes a las que se predicen o estiman para el futuro en el sitio a restaurar.</p>	<p>-Funciona bien con condiciones cambiantes, siempre y cuando las predicciones sean correctas.</p>	<p>-Proyecciones pueden estar erradas. -Requiere mucha investigación (alto costo inicial).</p>	<p>-Ambientes con alteración baja a moderada. -El cambio previsto en la distribución es alto y bien comprendido.</p>

(Fuente: Havens *et al.*, 2015)

## CONCLUSIONES

En síntesis, los argumentos que promueven el uso de material local para restauración son válidos y constituyen un enfoque apropiado en muchas circunstancias. Así, 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 zona a restaurar. Este suele ser el enfoque más comúnmente sugerido o recomendado. No obstante, existen argumentos técnicos y evidencia creciente de que en determinadas circunstancias el uso de material foráneo, o mezclas de local y foráneo, son opciones de restauración viables, y más apropiadas incluso que la que ofrece la semilla local.

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. 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. 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. De este modo, la investigación básica y la gestión contribuyen a identificar los orígenes más adecuados para obtener las semillas requeridas en un programa de restauración.

A pesar de lo anterior, en la actualidad prevalece cierto desconocimiento respecto de la conveniencia de utilizar material no local en determinadas condiciones de restauración y, si bien las semillas locales y las no locales pueden ser el germoplasma más eficaz para determinadas circunstancias individuales, todavía prima el criterio de priorizar el material local, el cual sigue siendo la primera opción para los profesionales de la restauración, perdiéndose así las ventajas que el material no local puede ofrecer para contribuir al éxito del área restaurada.

## REFERENCIAS

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.

- Breed, MF., Stead, MG., Ottewell, KM., Gardner, MG. & Lowe, AJ. (2013).** Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics*, N° 14. Pp: 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10592-012-0425-z>
- Breed, MF., Gardner, MG., Ottewell, KM., Navarro, CM. & Lowe, A. (2012).** Shifts in reproductive assurance strategies and inbreeding costs associated with habitat fragmentation in Central American mahogany. *Ecol. Lett.*, N° 15. Pp: 444–452. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01752.x>
- Breed, MF., Ottewell, KM., Gardner, MG. & Lowe, AJ. (2011).** Clarifying climate change adaptation responses for scattered trees in modified landscapes. *J. Appl. Ecol.*, N° 48. Pp: 637–641. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01969.x>
- Broadhurst, L. & Boshier, D.H. (2014).** Seed provenance for restoration and management: conserving evolutionary potential and utility. En: Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S. et al. (Eds). *Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. state of the world's forest genetic resources. Thematic Study.* FAO and Bioversity International. Rome. Pp: 27-38
- Endler, J., Mazer, S. Williams, M. Sandoval, C. & Ferren, W. (2010).** Problems associated with the introduction of non-native genotypes on NRS reserves. University of California, Natural Reserve System, Committee to evaluate introduction of exotic genotypes into UC Reserves. En: [https://www.ucnrs.org/staff/admin\\_handbook/APP-18ABCD-Use-Application/Non-Native-Genotype.pdf](https://www.ucnrs.org/staff/admin_handbook/APP-18ABCD-Use-Application/Non-Native-Genotype.pdf)
- Erikson, V. & Halford, A. (2020).** Seed planning, sourcing and procurement. *Restoration Ecology*, 28(s3):s216-s224. <https://doi.org/10.1111/rec.13199>
- Gellie, NJC., Breed, MF., Thurgate, N., Kennedy, SA. & Lowe, AJ. (2016).** Local maladaptation in a foundation tree species: Implications for restoration. *Biological Conservation*, N° 203. Pp: 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.036>
- 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.* Instituto Forestal-Fondo Investigación del Bosque Nativo. Cap. 9. Pp: 221-237. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31302>
- Gutiérrez, B. (2020).** Desempeño de progenies, procedencias y regiones de procedencias de roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst). *Ciencia & Investigación Forestal*, 26(3):33-50. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2020.536>
- Gutiérrez, B. (2017).** Evaluación de crecimiento y forma de fuste de un ensayo de procedencias y progenies de coihue (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.) de 15 años de edad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 23(3): 31-42. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2017.484>
- Hancock, N., Leishman, MR. & Hughes, L. (2013).** Testing the 'local provenance' paradigm: A common garden experiment in Cumberland Plain Woodland, Sydney, Australia. *Restoration Ecology*, N°21. Pp: 569–577. <https://doi.org/10.1111/rec.2013.21.issue-5>
- Hancock, N. & Hughes, L. (2014).** Turning up the heat on the provenance debate: Testing the 'local is best' paradigm under heatwave conditions. *Austral Ecology*, N° 39. Pp: 600–611. <https://doi.org/10.1111/aec.2014.39.issue-5>
- Havens, K., Vitt, P., Still, S., Kramer, AT., Fant, JB. & Schatz, K. (2015).** Seed sourcing for restoration in an era of climate change. *Nat. Areas Jour.*, N° 35. Pp: 122–133. <https://doi.org/10.3375/043.035.0116>
- 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. (2013).** When local isn't best. *Evol. Appl.*, N° 6. Pp: 1109–1118. <https://doi.org/10.1111/eva.12090>
- Jones, T. (2003).** The Restoration Gene Pool Concept: Beyond the Native Versus Non-Native Debate. *Restoration Ecology* Vol. 11 N° 3, pp. 281-290. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00064.x>
- Jones, T. & Monaco, TA. (2007).** Restoration Practitioner's Guide to the Restoration Gene Pool Concept. *Ecological Restoration* 25:1. March 2007 pp. 12-19. <https://doi.org/10.3368/er.25.1.12>

- Lowe, A.J. (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, J.K., Christian, C.E., Harrison, S. & Rice, K.J. (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, K.V., Bischoff, A., Smith, B. (2010).** A question of origin: Where and how to collect seed for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 11(2010): 300-311. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.09.002>
- Murawski, D.A., Nimal Gunatilleke, I.A.U. & Bawa, K.S. (1994).** The effects of selective logging on inbreeding in *Shorea megistophylla* (*Dipterocarpaceae*) from Sri Lanka. *Conserv. Biol.*, N° 8. Pp: 997–1002. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08040997.x>
- Ng, K.K.S., Lee, S.L. & Ueno, S. (2009).** Impact of selective logging on genetic diversity of two tropical tree species with contrasting breeding systems using direct comparison and simulation methods. *For. Ecol. Manage.*, N° 257. Pp: 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.035>
- Nolan, M.P., Luong, J.C., Valliere, J.M., Mazer, S.J. & D'Antonio, C.M. (2023).** Rethinking local seed sourcing for the restoration of a foundational grass species in California. *Restor. Ecol.*, e13992. <https://doi.org/10.1111/rec.13992>
- Sgrò, C.M., Lowe, A.J. & Hoffmann, A.A. (2011).** Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evol. Appl.*, N° 4. Pp: 326–337. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00157.x>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P. & Bozzano, M. 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* N° 245. Pp: 29-36.
- Vitt, P., Finch, J., Barak, R.S., Braum, A., Frischie, S. & Redlinski, I. (2022).** Seed sourcing strategies for ecological restoration under climate change: A review of the current literature. *Front. Conserv. Sci.*, 3:938110. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.938110>
- Vranckx, G., Jacquemyn, H., Muys, B. & Honnay, O. (2012).** Meta-analysis of susceptibility of woody plants to loss of genetic diversity through habitat fragmentation. *Conserv. Biol.*, N° 26. Pp: 228–237. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01778.x>