

## MÓDULO 3

# Cadena de abastecimiento de semilla y germoplasma de árboles

## Notas para el Profesor 3.1

# Cuellos de botella genéticos en la restauración de *Araucaria nemorosa*

David Boshier



## Agradecimientos

Los editores de este Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales quieren agradecer a Jarkko Koskela y Barbara Vinceti por su contribución a la hora de identificar la necesidad de este manual y por su apoyo continuo durante su preparación. Reconocemos el asesoramiento tan importante de un grupo de investigadores clave de Bioversity International –Elizabeth Goldberg, Jozef Turok y Laura Snook– quienes han apoyado durante varias etapas de este proyecto.

Este manual de formación fue validado por medio de varios eventos de capacitación en todo el mundo. Nos gustaría agradecer los valiosos comentarios recibidos de muchos estudiantes y sus profesores.

Nos gustaría también agradecer especialmente a Ricardo Alía del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) de España, por haber revisado los estudios de caso presentados en este módulo.

El video titulado “The world’s most endangered forests” sobre los bosques más amenazados del planeta fue facilitado por cortesía de Thomas Gillespie.

Las fotografías de la presentación de PowerPoint son propiedad de Chris Earle, Thomas Geburek, Google Earth, Chris Kettle, P.P. Lowry II, Stephane McCoy, la Oficina de Turismo de Nueva Caledonia, el Real Jardín Botánico de Edimburgo, Bernard Suprin, y Vale Inco.

Finalmente, nunca hubiera sido posible la producción del Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales sin el apoyo económico de la Cooperación Austriaca para el Desarrollo mediante el proyecto ‘Desarrollo de la capacidad de formación y recursos humanos para la gestión de la biodiversidad forestal’, ejecutado por Bioversity International en el período 2004-2010. Nos gustaría también agradecer el apoyo económico adicional del proyecto SEEDSOURCE financiado por la Comisión Europea.

Todas las ilustraciones de las portadas fueron realizadas por Rosemary Wise e incorporadas en la diagramación al diseño creado por Patrizia Tazza. Agradecemos a ambas la belleza de su trabajo. La traducción al español fue realizada por Jesús Cordero.

### Financiado por

Austrian

Development Cooperation

### en colaboración con



### Cita:

Kettle, C. y Boshier D. 2014. Cuellos de botella genéticos en la restauración de *Araucaria nemorosa*. Estudio de caso y notas para el profesor. En: Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales. Editado por D. Boshier, M. Bozzano, J. Loo, y P. Rudebjer. Bioversity International, Roma, Italia.

<http://forest-genetic-resources-training-guide.bioversityinternational.org/>

ISBN 978-92-9043-975-2  
ISSN 2223-019X

Bioversity International  
Via dei Tre Denari, 472/a  
00057 Maccarese  
Roma, Italia  
© Bioversity International, 2014  
Bioversity International es el nombre operativo del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI).

## Módulo 3

### Cadena de abastecimiento de semilla y germoplasma de árboles

#### Notas para el Profesor 3.1

### Cuellos de botella genéticos en la restauración de *Araucaria nemorosa*

*David Boshier, Departamento de Ciencias Vegetales, Universidad de Oxford*

#### Introducción

El objetivo de estas notas para el profesor es ayudar al profesorado a utilizar en sus clases el **Estudio de Caso 3.1 Cuellos de botella genéticos en la restauración de *Araucaria nemorosa***. Las notas:

- describen los conceptos clave que presenta el estudio de caso, con referencias a libros de texto y artículos sobre recursos genéticos forestales en los que encontrará explicaciones sobre estos principios (referencias completas al final de estas notas).
- proporcionan consejos prácticos sobre cómo preparar y realizar el ejercicio, y discutir las principales cuestiones de aprendizaje (genéticas u otras) que los estudiantes deberían ser capaces de extraer del estudio de caso.
- ofrecen un comentario a la presentación de PowerPoint utilizada para presentar el estudio de caso a los estudiantes. La presentación contiene fotos de la especie, los sitios en donde se encuentra, asuntos relevantes relacionados con el uso del suelo en la zona y figuras/cuadros del ejercicio.

En el DVD que acompaña estas notas se pueden encontrar los materiales de apoyo siguientes, así como también en la página web del Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales en [www.biodiversityinternational.org](http://www.biodiversityinternational.org)

- Presentación de PowerPoint del Profesor
- Video de corta duración
- El Estudio de Caso.

#### Conceptos clave para introducir y considerar en este Estudio de Caso

El ejercicio, tal y como se describe en el estudio de caso, explora los temas siguientes con respecto al modo en que la cadena de suministro de semilla/plántulas puede afectar a la diversidad genética de las especies.

#### Conservación en términos generales

- **Materiales de reproducción - origen y recolección:** ver FAO et al. (2007a) pp. 50; Geburek y Turok (2005) pp. 569-570.
- **Conservación de especies y genotipos:** ver FAO et al. (2007a), pp. 13-15. FAO et al. (2002) pp. 7-11; FAO et al. (2007b), pp. 3-4. Finkeldey (2005) pp. 183-185; Geburek y Turok (2005) pp. 304-306, 391-399, 545-554.
- **Fragmentación, conectividad - flujo genético y mantenimiento de poblaciones viables:** ver FAO et al. (2007a), pp. 45-47. FAO et al. (2002) pp. 49-52, 64; Boshier et al. (2004); Finkeldey (2005) pp. 93, 177-178; Geburek y Turok (2005) pp. 426-432, 440-443.

- **Conservación y restauración del hábitat *in situ*, *ex situ*** : ver FAO et al. (2007a) pp. 5-19, 35; FAO et al. (2002); FAO et al. (2007b); Finkeldey (2005) pp. 181-198; Geburek y Turok (2005) pp. 6-8, 535-562, 567-581.

### Conceptos de genética

- **Procesos genéticos asociados a poblaciones pequeñas – mayor deriva genética, efectos de cuello de botella, y aumento de la endogamia:** ver FAO et al. (2007a) pp. 45-47; Finkeldey (2005) pp. 75-76; Geburek y Turok (2005) pp. 426-432.
- **tamaño efectivo de población comparado con el tamaño censal:** ver FAO et al. (2007a) pp. 45-47; FAO et al. (2002) pp. 7-11, 65; FAO et al. (2007b) pp. 10-14; Finkeldey (2005) pp. 177, 181-198; Geburek y Turok (2005) pp. 162-164, 420-431.
- **Diferenciación entre poblaciones *Gst/Fst*:** ver FAO et al. (2007a) pp. 43; Finkeldey (2005) pp. 111-115; Geburek y Turok (2005) pp. 264-266.

### Cómo realizar el ejercicio

Hay varias maneras de realizar el ejercicio dependiendo del tiempo disponible y del número de estudiantes. El ejercicio funciona mejor si los estudiantes pueden trabajar en grupos de 4 a 5 personas (no más de 6). Es preferible que los estudiantes hayan leído el estudio de caso antes de iniciar el ejercicio, *pues así no pierden un tiempo valioso de clase mientras lo leen. Entregue por tanto el estudio de caso en una clase previa y recomiende que lo lean antes de la siguiente clase. No sobra advertir que el profesor y sus asistentes deben estar familiarizados con el documento en su totalidad.* N.B.: el ejercicio se estableció en el contexto de mediados de la década del año 2000, tanto en términos del estado de conservación de la especie como del contexto social. Por tanto, no se ha incluido información más reciente sobre el contexto y estado de conservación, ya que no se consideran relevantes para el ejercicio.

Número ideal de estudiantes: 4-15

Duración ideal de la clase: 3 horas, distribuidas así:

- **Introducción:** use el video y a continuación la presentación de PowerPoint - *aproximadamente 30 minutos.*
- **Trabajo en grupo:** apropiado para 1-3 grupos, de 4-5 participantes cada uno. Cada grupo desarrolla un plan de acción. Cada grupo tiende a asumir un enfoque diferente, de manera que se discuten diferentes aspectos y al final se habrán tratado casi todos los puntos. Los estudiantes discuten el estudio de caso entre ellos, para poder responder a puntos específicos y desarrollar su plan de acción. El profesor debe estar presente para responder las inquietudes que tengan los grupos. Sin embargo, no es necesario que el profesor esté presente todo el tiempo con la totalidad de la clase. Una vez que el profesor y los grupos consideren que han entendido la tarea y los temas, cada grupo se puede reunir por su cuenta para discutir y preparar el mapa y la estrategia fuera de las horas de clase – *1.5 horas.*
- **Presentaciones:** cada grupo presenta oralmente su mapa y estrategia a la clase con la ayuda del mapa en papelógrafo o con una presentación de PowerPoint – *10 minutos* por presentación más *5 minutos* después de cada una para que el resto de la clase y el profesor hagan preguntas y comentarios; *15-45 minutos*, dependiendo del número de grupos.
- **Discusión final:** guiada por el profesor, para permitir que los alumnos hagan comentarios generales sobre lo que les pareció bueno, lo que hizo falta, etc. – *10 minutos.*

## Información de contexto

Dependiendo del tiempo y los medios disponibles, puede utilizar cualquier combinación de los siguientes recursos: i) video sobre la pérdida de los bosques de Nueva Caledonia para presentar el contexto general de la isla; ii) Presentación en PowerPoint.

**Video:** en inglés subtulado en español; dura 7 minutos y se titula: '*The world's most endangered forests*'. Producido por el Profesor Tom Gillespie (Universidad de California) y National Geographic, ofrece un breve panorama de Nueva Caledonia, su cultura, la importancia de sus bosques en términos de biodiversidad a escala mundial y las amenazas.

**Presentación en PowerPoint:** aproximadamente 20 minutos. Abarca conceptos generales de las araucarias en Nueva Caledonia, en particular *A. nemorosa*. También permite explicar ciertos asuntos específicos tratados en el estudio de caso, en particular la interpretación de datos procedentes de estudios genéticos.

**Diapositiva 1:** título - muestra el enfoque del estudio de caso y la especie en estudio.

**Diapositiva 2:** muestra la ubicación de Nueva Caledonia a escala global.

**Diapositiva 3:** muestra la imagen que Nueva Caledonia ofrece al mundo exterior. Se hace hincapié en el turismo de playa. Sin embargo, Nueva Caledonia es un centro de biodiversidad, en particular de coníferas. Las imágenes muestran rodales de *Araucaria columnaris*, una de las 13 especies de *Araucaria* endémicas de la isla.

**Diapositiva 4:** contrasta la imagen turística de la isla, un paraíso tropical, con la realidad de los ecosistemas forestales importantes que han sido, y siguen siendo, destruidos por la minería y los incendios.

**Diapositiva 5:** muestra tres de las especies de *Araucaria*, cada una de las cuales con un estado de conservación diferente, en términos de categorías de la UICN.

**Diapositiva 6:** muestra las especies de estudio, su distribución real (Figura 1 en el estudio de caso), su estado de conservación (categoría UICN) y las principales características de su biología reproductiva.

**Diapositiva 7:** muestra una vista aérea de la parte costera de la distribución de la especie en estudio. Se pueden apreciar los bosques remanentes, que contienen las poblaciones N1-3, N5 y N7. La población N6 del interior (Forêt Nord) no se aprecia.

**Diapositiva 8:** muestra los árboles de las poblaciones de Port Boise y el autor principal del estudio (Chris Kettle) con una podadora de mango largo.

**Diapositiva 9:** muestra la pequeña población de Forêt Nord antes y después del establecimiento de la planta procesadora de níquel de la empresa Vale Inco.

**Diapositiva 10:** muestra el vivero de la empresa minera Vale Inco en Goro, que es el foco de sus esfuerzos para la restauración de la vegetación nativa después de las operaciones de minería. Dentro de esta restauración, se hace hincapié en la propagación de especies nativas (incluyendo *A. nemorosa*).

**Diapositiva 11:** resume cuáles fueron los objetivos de la investigación y muestra plantas de *A. nemorosa* en el vivero del Institut Agronomique Néo-Calédonien (IAC).

*Diapositiva 12:* muestra un cono maduro de *A. nemorosa* y el aspecto de las semillas fértiles e infértiles.

*Diapositiva 13:* Cuadro 1 del estudio de caso. El texto relacionado con el Cuadro 1 del estudio de caso señala que la producción de conos en las seis poblaciones fue muy baja, y se encontró una alta proporción de árboles adultos sin conos femeninos maduros. Sugiere que los grupos deberían pensar en lo que esta variación en la producción de conos femeninos entre árboles significa para la diversidad genética. N.B.: lo mucho o poco que quiera explicar dependerá de lo que los grupos sean capaces de entender de su lectura directa.

*Diapositiva 14:* trata el tema del tamaño de la población. Pida a los grupos que establezcan una relación con los tamaños de población del Cuadro 1 (estudio de caso) y que piensen en lo que esto significa para su viabilidad. También cómo el traslape entre generaciones significa que los tamaños efectivos de población de estos remanentes serán inferiores a los respectivos tamaños censales.

*Diapositiva 15:* Cuadro 2 del estudio de caso – muestra las medidas de la diversidad genética de tres cohortes diferentes (adultos, y plántulas silvestres y de vivero) de las dos poblaciones que son el foco de los esfuerzos de restauración, así como para los árboles adultos y los brinzales silvestres para las otras cuatro poblaciones. N.B.: lo mucho o poco que quiera explicar dependerá de lo que el grupo sean capaz de entender de su lectura directa. Pídales que se concentren en dónde existen diferencias entre cohortes dentro de las poblaciones para las cinco variables que se muestran en el cuadro. Dígales también que el texto menciona que las cohortes de adultos y brinzales silvestres son genéticamente similares (es decir, valores bajos del Índice de Fijación  $F_{st}$ ; ver referencias en la página 1 para explicaciones detalladas de  $F_{st}$ ), mientras que los valores significativamente altos de  $F_{st}$  indican que las cohortes de adultos y plántulas de vivero, y las cohortes de plántulas de vivero y brinzales silvestres, son genéticamente diferentes.

*Diapositiva 16:* impactos genéticos teóricos causados por perturbaciones humanas y la fragmentación de los bosques. A la izquierda de la diapositiva se observan los impactos directos visibles; a la derecha, los efectos genéticos esperados debidos a los diferentes impactos humanos sobre las poblaciones de árboles. El estudio proporciona información sobre la primera y la tercera de éstas – pídale que piensen en sus grupos sobre lo que el estudio muestra sobre los impactos sobre ellas.

*Diapositiva 17:* permite explicar el fundamento de lo que es un cuello de botella genético, en el que se pierden alelos/diversidad debido a efectos de muestreo, pero también debido al aumento en el impacto de la deriva genética.

*Diapositivas 18-22:* permiten al profesor repasar lo que los estudiantes deben hacer durante el ejercicio.

*Diapositiva 18:* resalta las dos partes del ejercicio. El objetivo se presenta en el primer párrafo del estudio de caso de modo que puede mencionar que tiene un ámbito de aplicación relativamente reducido. Por lo tanto, las acciones propuestas tienen que enmarcarse en el contexto de los esfuerzos en curso, en lugar de en iniciativas totalmente nuevas.

*Diapositiva 19:* da detalles de lo que se espera en el paso 1 - específicamente en lo que consiste el mapa. Normalmente, los estudiantes son buenos a la hora de identificar las diferentes etapas y agentes de la cadena actual, pero a menudo no tanto en cuanto a identificar las implicaciones genéticas de cada paso, p. ej. cuando se producen cuellos de botella. Por tanto, vale la pena recordarles que se acuerden de identificar éstas en sus mapas.

*Diapositiva 20:* da un ejemplo de un mapa de la cadena de suministro de semillas de un ejercicio similar - debe insistir en que sus mapas no tienen que parecerse a éste. Sin embargo, puede mostrarlo para resaltar las principales cuestiones, entre ellas el hecho de que en este caso el grupo erró por no identificar los problemas genéticos asociados a cada paso. Esto vuelve a hacer hincapié en la parte fundamental del ejercicio.

*Diapositiva 21:* da detalles de lo que se espera en el paso 2. Ésta permite al profesor hacer hincapié en la necesidad de identificar los riesgos genéticos (p. ej. cuellos de botella y endogamia, y no sólo la pérdida de la diversidad genética), y hacer recomendaciones específicas dentro de la situación actual.

*Diapositiva 22:* ejemplo de la segunda gráfica que resume los efectos genéticos y las recomendaciones para las acciones. Ésta se puede usar para ilustrar que las recomendaciones de este ejemplo son muy generales (p. ej. apoyo técnico) y que los grupos tienen que ser más específicos y prácticos, de manera que se pueda ver lo que harían en realidad para mejorar la situación.

## **Puntos importantes a resaltar en la discusión e incluir en las presentaciones de los estudiantes**

### **Comentarios acerca de las preguntas**

- *¿Cómo están afectando las perturbaciones humanas a la diversidad genética de *A. nemorosa*?*

Las perturbaciones humanas han reducido, sin duda, los tamaños de población, lo que ha traído una pérdida de diversidad genética. La restauración en curso también está influyendo, y las dos poblaciones procedentes de vivero ofrecen pruebas de estar comprometidas genéticamente, aunque de diferente manera. El material de vivero procedente de Kaanua está genéticamente empobrecido (menor  $A_e$ ,  $H_e$ , % de alelos raros). El material de vivero procedente de Forêt Nord no sufre de baja diversidad genética (las fuentes A, W, N muestran valores similares, Cuadro 2), pero es endogámico (mayor coeficiente de endogamia  $F_{IS}$ ).

- *¿Cuál es el sistema de apareamiento? ¿Cuáles son los mecanismos de dispersión de la semilla y el polen? ¿Qué supone esto en términos de conservación?*

La dispersión de la semilla sucede por gravedad y viento. La dispersión del polen sucede por viento. Los árboles son hermafroditas (monoicos - conos masculinos y femeninos) de manera que puede darse la autofecundación, y no hay ningún mecanismo de autoincompatibilidad que lo restrinja. La endogamia se produce de manera natural, como lo muestran los coeficientes de endogamia de los brinzales silvestres (Cuadro 2). El hecho de que el coeficiente de endogamia sea inferior en brinzales silvestres en comparación con árboles adultos sugiere que durante la regeneración se discrimina el material endogámico. Las implicaciones para la conservación son que se debe evitar el aumento de la endogamia, ya que reduce la cantidad y viabilidad del regenerado.

### **¿Cuáles son las amenazas para *A. nemorosa* (a corto y largo plazo)? Enumere los problemas según el tipo**

#### **Genéticos**

- *Tamaño de la población*

Tres de las poblaciones están por debajo de 500 (Forêt Nord - N6, Mini Nuri - N5, Natasha - N7, Cuadro 1) y son claramente demasiado pequeñas como para ser viables a largo plazo. Los tamaños de población efectivos ( $N_e$ ) serán mucho más bajos, dada la proporción de árboles de tamaño reproductivo, el solapamiento entre generaciones y la proporción desigual de árboles semilleros

en el regenerado. Esto último se observa también en los valores bajos de  $N_e$  en el Cuadro 2.

■ *Fertilidad y producción de semilla*

El estudio sobre la ecología reproductiva sugiere que sólo una pequeña proporción de los árboles potencialmente maduros sexualmente contribuyen a la producción anual de semillas y que esto afecta a la diversidad capturada en la recolección con fines de obtener plántulas de vivero. La producción de conos femeninos y de semilla es muy baja y también muestra una alta variabilidad entre árboles (Cuadro 1). Aunque los datos se basan en una estación, e incluso si existiera vecería (producción masiva de conos), raramente los programas de restauración pueden permitirse el lujo de esperar para recolectar semillas a que llegue un año excepcional de producción de conos. Las colectas se realizan cuando hay un presupuesto disponible para el trabajo de campo y espacio en el vivero.

El bajo nivel de producción de semilla puede deberse a limitaciones del polen. Una explicación más probable es el aborto del embrión debido a la depresión endogámica. Se cree que una severa depresión endogámica en la etapa de embrión es común en las coníferas, para las que las polinizaciones controladas sugieren que la manifestación de genes recesivos deletéreos debidos a la autofecundación es responsable de un 80% a un 96% de las semillas vacías. La disponibilidad de polen viable procedente de alo cruzamiento puede verse reducida cuando hay un mayor aislamiento espacial entre árboles fértiles. Por tanto, la degradación y la explotación de las poblaciones pueden dar lugar a mayores niveles de autofecundación y menor producción de semilla.

Una causa adicional de una baja producción de semilla observada en otras coníferas, en relación con la polinización, es la obturación de las estructuras reproductivas con polen heteroespecífico de especies emparentadas, lo que resulta en semillas vanas. Esto es potencialmente importante para *A. nemorosa* cuyas poblaciones remanentes son simpátricas con poblaciones muy densas de *A. columnaris*, una especie más extendida cuyas poblaciones contribuyen probablemente de forma significativa a la nube de polen.

■ *Cuello de botella*

El estudio mostró que las plántulas de vivero de Kaanua (N1) son genéticamente más pobres que sus parientes silvestres a pesar de haberse establecido a partir de semillas recolectadas de la población más grande y de una de las poblaciones con mayor variabilidad genética entre las poblaciones remanentes. Se encontró que la riqueza alélica era dramáticamente más baja en este lote de vivero con pérdida de muchos alelos raros y una estimación asociada muy baja del tamaño efectivo de población ( $N_e$ ). Estas plántulas de vivero capturaron <30% de la diversidad alélica presente en la población de origen, con un locus monomórfico. Por el contrario, el lote vivero de Forêt Nord capturó de manera más eficaz la variación disponible de su fuente original. Aunque la población de Forêt Nord es la más empobrecida genéticamente, el material de vivero cuenta con más del doble de riqueza alélica que el lote de semillas de Kaanua (N1). Un árbol contribuyó con más del 50% de la recolección total de semilla. Esto demuestra dramáticamente cómo se puede producir un cuello de botella genético por descifrar debido a la alta variación en la fertilidad.

■ *Endogamia*

Las poblaciones de brinzales y adultos silvestres de *A. nemorosa* exhiben cierto nivel de endogamia, como lo indican los coeficientes de endogamia positivos significativos ( $F_{IS}$ ), aunque los brinzales mostraron significativamente mayor endogamia que los adultos. Sin embargo, las plántulas de vivero de Kaanua no mostraron coeficientes de endogamia significativos, pero sí un ligero exceso de heterocigosidad. Una explicación de este resultado es que las plántulas son la



progenie de muy pocos progenitores por alocruzamiento (p. ej. el resultado es representativo de un pequeño número de eventos). Esto es consistente con que estas plántulas de vivero proceden de un número de árboles muy pequeño. Por el contrario, el lote de vivero de Forêt Nord tiene un coeficiente de endogamia positivo significativo, que es >50% mayor que el de los brinzales silvestres y los adultos de la misma población. Una explicación es que la progenie endogámica sufre una mayor selección en condiciones forestales naturales que en las relativamente benignas condiciones de vivero (algunos individuos con endogamia que sobreviven en el vivero morirían en la naturaleza).

### **Otros tipos de problemas**

#### ■ *Sociales, comunicación, recursos*

Las poblaciones de *A. nemorosa* están sujetas a amenazas considerables debido a la degradación del hábitat relacionada con el aumento de la frecuencia de incendios, la introducción de mamíferos, la tala y la falta de controles sobre las actividades mineras. El setenta por ciento de los rodales remanentes de *A. nemorosa* (N 1-6) están en tierras que son propiedad de una sola familia. A pesar de informes sobre el interés de esta familia en el bienestar de las poblaciones y en mantener una buena relación de cooperación con el Servicio para el Ambiente, el futuro de una gran mayoría de las especies está en manos de una sola familia.

#### ■ *Política, legislación y concienciación*

La carencia de una política ambiental claramente articulada, la falta de una gestión efectiva de áreas protegidas y una pobre vigilancia del cumplimiento de la legislación son los obstáculos principales para una conservación efectiva a largo plazo. Hay una falta de conciencia entre la población de los problemas/acciones de conservación, en particular con respecto a los hábitats terrestres. Existe la necesidad de controlar e informar a los propietarios. El estatus político de Nueva Caledonia implica que las agencias internacionales generalmente no financiarán allí labores de conservación y Francia tan solo ha establecido recientemente las necesidades de conservación de la isla como una prioridad.

### **El mapa y el análisis de los estudiantes deben indicar:**

#### **Paso 1 - Diagrama de la cadena de abastecimiento de semilla/plántulas de *A. nemorosa***

1. Prepare un diagrama (de flujo) de la cadena de abastecimiento de semilla/germoplasma, desde la fuente al usuario final en el ámbito de la restauración (desde el árbol madre hasta una nueva plántula en su utilización final).
2. El diagrama debe identificar:
  - los principales agentes (individuos, instituciones) y procesos en la cadena de *A. nemorosa* (lo que hacen estos agentes);
  - las influencias de la cadena de suministro de semilla/plántulas en su variación genética (cuellos de botella, selección, deriva genética);
  - los límites sociales en la cadena de abastecimiento de semilla/plántulas (p. ej. políticas/leyes, comercio, cuestiones institucionales o de capacidad).

Claramente, hay muchas maneras en las que se puede bosquejar un mapa. El ejemplo de la página siguiente muestra las principales características que deberían incluir en sus mapas, identificando los principales agentes, las influencias genéticas y los límites sociales.

#### **Paso 2 - Análisis**

3. ¿Cuáles son los riesgos genéticos asociados con el sistema de semillas actual?

Los cuellos de botella, la endogamia, el aumento de la deriva genética - todos llevan a una pérdida de diversidad genética y al aumento de la depresión endogámica (reducción de la fertilidad y reducción del vigor de los árboles).



- Realice recomendaciones específicas para mejorar la situación para subsanar las cuestiones de diversidad del sistema de semillas/plántulas (p. ej. métodos prácticos de recolección de semilla que aseguren una diversidad genética en la restauración).

Existe la necesidad de desarrollar estrategias de restauración que incrementen el número de individuos de las poblaciones actuales, restablezcan poblaciones en localizaciones previas, e impidan la intensificación de los problemas genéticos asociados observados en las cohortes de brinzales silvestres. Hasta cierto punto, la conservación de *A. nemorosa* depende del establecimiento de plántulas criadas en vivero. Por tanto, es vital que este material de reproducción sea genéticamente robusto. Es posible hacer observaciones de sentido común a partir de los resultados. El problema genético que más llama la atención es el del material de vivero originado en los conos recogidos de árboles en Kaanua. Trepas a los árboles es costoso y requiere tiempo y equipo especializado, lo que limita el potencial de muestreo de muchos árboles. Además, es probable que la alta variabilidad en la producción de conos haga que sólo se tomen muestras de árboles con un gran número de conos; esto, unido a la alta variabilidad en la viabilidad de las semillas, se traducirá en un grave cuello de botella por descifrar. Cuando

se emplea la recolección directa de conos para obtener plántulas de vivero, un método práctico para identificar los casos en los que el material acaba dominado por un pequeño número de familias podría ser el seguimiento de la progenie muestreada de árboles diferentes. El realizar un muestreo durante varios años también ayudaría a maximizar el número de árboles que contribuyen al material de vivero.

En contraste con la recolección directa de conos, el material de vivero de Forêt Nord se recogió directamente del piso del bosque. No se encontraron pruebas de un cuello de botella genético en esta muestra. La adopción de este método de muestreo es probable que resulte en una muestra más completa de semillas de la totalidad de la población, ya que es fácil cubrir un área amplia que contenga las semillas dispersas de muchos árboles. Sin embargo, puesto que esta semilla mostró un mayor nivel de endogamia que la población de brinzales silvestres, el material de calidad inferior en el vivero se debería descartar, o de lo contrario habrá una alta mortalidad en las plantaciones de restauración.

Una estrategia alternativa para el abastecimiento de material de vivero es el muestreo de brinzales silvestres directamente del suelo del bosque y criarlos en los viveros. Los brinzales silvestres de todas las seis poblaciones estudiadas contienen niveles de variación comparables a los de las poblaciones de adultos y es probable que sean el producto de una población de adultos mucho más efectiva que la resultante de la semilla de una sola estación reproductiva. Aunque las poblaciones de brinzales silvestres presentan generalmente más endogamia que las de adultos silvestres (mayor  $F_{IS}$ ), estos brinzales ya han sido objeto de selección en cierta medida (Cuadro 2), donde algunas semillas altamente endogámicas han quedado descartadas. Por lo tanto, se espera que el valor adaptativo de las poblaciones de brinzales establecidos sea más alto que el de la población de semillas. Como los niveles de mortalidad en brinzales de *A. nemorosa* son altos, especialmente en bosques primarios debido a la competencia, la recolección de algunos de estos brinzales puede representar un uso eficiente de este material. Esto necesita sopesarse respecto al riesgo de afectar negativamente cualquier regeneración natural que pudiera ocurrir, así como el costo y el desafío práctico de translocar los brinzales. Estas consideraciones ponen un límite en los tamaños de las muestras que se pueden recolectar de esta manera.

## Más información

FAO, CSFD, IPGRI. 2002. Conservación y ordenación de recursos genéticos forestales. Vol. 2: en bosques naturales ordenados y áreas protegidas (*in situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

FAO, FLD, Bioversity International. 2007a. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 1: visión general, conceptos y algunos métodos sistemáticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

FAO, FLD, Bioversity International. 2007b. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. Vol. 3: en plantaciones y bancos de germoplasma (*ex situ*). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia.

Finkeldey R. 2005. An Introduction to Tropical Forest Genetics. Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding. Georg-August-Universität Göttingen, Alemania.

Geburek T, Turok J, editores. 2005. Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe. Arbora Publishers, Zvolen, Eslovaquia.

## Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales

### MÓDULO 1 Estrategias para la conservación de especies

- 1.1 *Leucaena salvadorensis*: variación genética y conservación
- 1.2 *Talbotiella gentii*: variación genética y conservación
- 1.3 *Shorea lumutensis*: variación genética y conservación

### MÓDULO 2 Árboles fuera del bosque

- 2.1 Conservación de la diversidad de especies arbóreas en cacao agroforestal en Nigeria
- 2.2 Opciones para la conservación de dos especies arbóreas fuera del bosque

### MÓDULO 3 Cadena de abastecimiento de semilla y germoplasma de árboles

- 3.1 Cuellos de botella genéticos en la restauración de *Araucaria nemorosa***
- 3.2 Plantación de árboles en fincas en África Oriental: ¿cómo asegurar la diversidad genética?

### MÓDULO 4 Manejo forestal

- 4.1 Impactos de la tala selectiva en la diversidad genética de dos especies maderables amazónicas
- 4.2 ¿Degradan las talas selectivas la calidad genética de las generaciones futuras mediante selección disgénica?
- 4.3 Conservación de *Prunus africana*: análisis espacial de la diversidad genética para la gestión de productos forestales no maderables

### MÓDULO 5 ¿Cuán local es lo local? – la escala de adaptación

- 5.1 Selección de material de plantación para la restauración forestal en el Pacífico noroeste de los Estados Unidos
- 5.2 Adaptación local y restauración forestal en Australia Occidental

Otros módulos en esta serie:

*Plantaciones forestales, Domesticación de especies arbóreas, Restauración forestal, Modificación genética*