

## MÓDULO 3

# Cadena de abastecimiento de semilla y germoplasma de árboles

## Estudio de Caso 3.1

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

Chris Kettle y 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

#### Estudio de Caso 3.1

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

*Chris Kettle, Instituto de Ecosistemas Terrestres, ETH, Zurich*  
*David Boshier, Departamento de Ciencias Vegetales, Universidad de Oxford*

Este artículo presenta información sobre *Araucaria nemorosa*, una especie arbórea en peligro crítico, endémica en una pequeña área de la isla de Nueva Caledonia en el Pacífico. Use la información ofrecida aquí para identificar la cadena de suministro de plántulas y semillas y diseñar una estrategia para la recolección y uso de semilla que garantice el mantenimiento de la diversidad genética en los esfuerzos de restauración de esta especie amenazada. La estrategia debería tener en cuenta tanto los niveles de variación genética encontrados en la especie como el contexto forestal/socio-económico de Nueva Caledonia. **Asegúrese de que su cadena de suministro y sus recomendaciones son específicas y detalladas.**

#### Paso 1 – Diagrama - cadena de abastecimiento de semilla/germoplasma 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 semilla/plántulas en la variación genética de la especie (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)

#### Paso 2 - Análisis

3. ¿Cuáles son los riesgos genéticos asociados con el sistema actual de semillas/plántulas?
4. Realice recomendaciones específicas con las que mejorar la situación para subsanar las cuestiones de diversidad del sistema de semillas/plántulas (p. ej. métodos prácticos de recolección de germoplasma que aseguren una diversidad genética en la restauración).

En sus discusiones de grupo, considere los siguientes aspectos y responda las preguntas:

- ¿Cómo están afectando las perturbaciones humanas a la diversidad genética de *A. nemorosa*?
- ¿Cuál es el sistema de apareamiento? ¿Cuál es el mecanismo de dispersión de la semilla y el polen? ¿Qué significa esto en términos de conservación?
- ¿Cuáles son las amenazas para *A. nemorosa* (a corto y largo plazo)? **Indique los problemas** por tipo: **genéticos** (p. ej. ¿Qué poblaciones son demasiado pequeñas?); **otros tipos de problemas** (p. ej. sociales, de comunicación, de recursos - ver el estado de conservación en la sección Perfil Nacional).

## Introducción

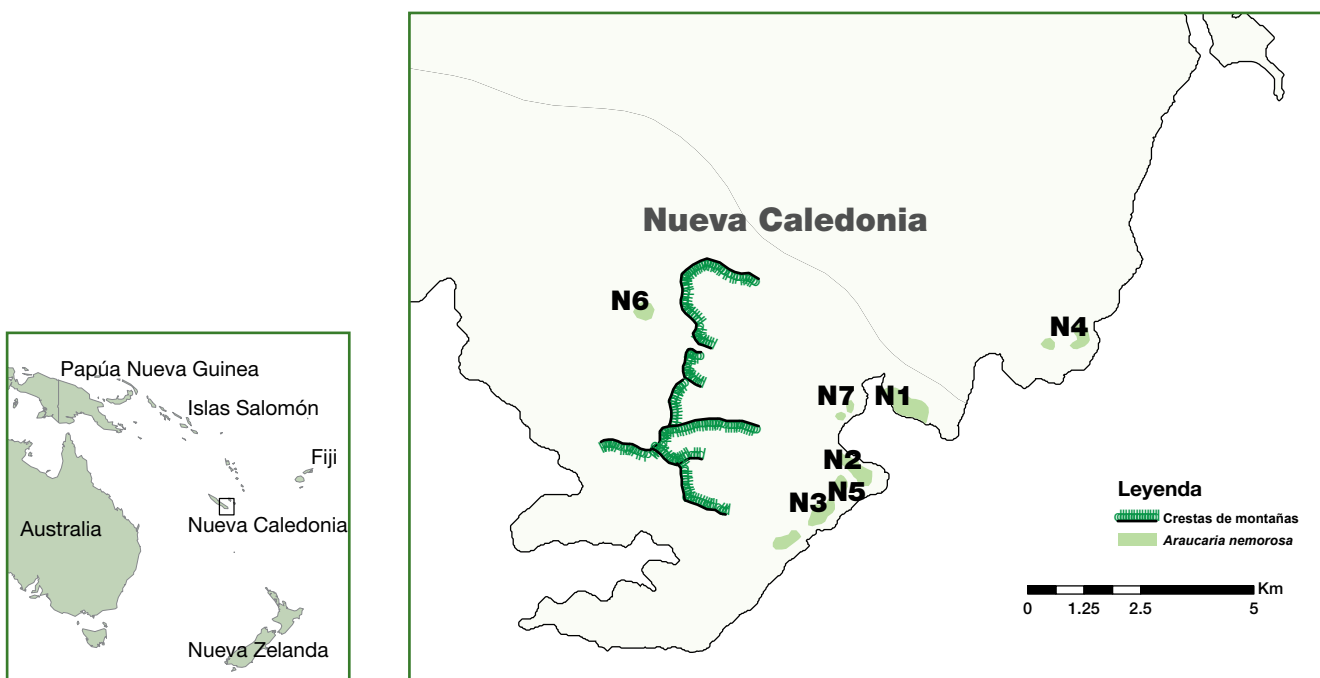
Nueva Caledonia es uno de los "hotspots de biodiversidad" del planeta, con más de 3 000 especies de plantas vasculares, de las cuales el 77% son endémicas. Se cree que la riqueza de su flora y el alto grado de endemismo se deben a su clima cálido y húmedo, al largo aislamiento de otras grandes masas terrestres, y a su geología inusual (la mitad de la isla se ubica sobre rocas ultramáficas, cuyos suelos son muy pobres en nutrientes y poseen un alto contenido en metales tóxicos). Dado el pequeño tamaño de la isla (19 000 km<sup>2</sup>), su biodiversidad en cuanto a coníferas en particular es notable e importante. Las 43 especies de coníferas de la isla son endémicas y representan casi el 7% de las coníferas del mundo, de las cuales 29 especies están clasificadas como amenazadas (por la UICN). Nueva Caledonia cuenta con 13 de las 19 especies de *Araucaria* del mundo, 11 de las cuales están clasificadas como amenazadas.

## Taxonomía y características botánicas

*Araucaria* es un género de coníferas de hoja perenne de la familia Araucariaceae. Las 19 especies del género tienen una distribución muy dispersa, repartida entre Nueva Caledonia (donde hay 13 especies endémicas), la Isla Norfolk, Australia oriental, Nueva Guinea, Argentina, Chile, y el sur de Brasil.

*Araucaria nemorosa* de Laubenfels: 3-20 m de altura, 65-70 cm dap (diámetro a la altura del pecho), copa oval o cónica. Ramillas de 8-12 mm de diámetro. Hojas juveniles aciculares, lanceoladas, curvadas hacia el interior, relativamente gruesas. Hojas adultas imbricadas, lanceoladas, estrechas, escuamiformes, con nervadura central prominente, de 6-10 mm de longitud por 1,5-3,0 mm de anchura. El cono masculino es cilíndrico, de 8 cm x 14 mm, y contiene polen triangular con seis sacos polínicos. Conos femeninos ovoides, 11 cm x 5-9 cm, con brácteas reflexas de 12-20 mm de largo. Las semillas alcanzan hasta 30 mm de largo, con la nuez ligeramente rectangular y alas anchamente ovadas.

**Figura 1.** Distribución de *Araucaria nemorosa* en Nueva Caledonia (tomado de Kettle et al. 2008)



## Distribución

*Araucaria nemorosa* es la más rara de las araucarias de Nueva Caledonia, existente en tan sólo ocho poblaciones conocidas, y presente en una superficie de 9,8 km<sup>2</sup> y una zona de ocupación de 0,64 km<sup>2</sup> en la región alrededor de Port Boise (precipitación anual de 2500-3000 mm). Casi todas las poblaciones, excepto la pequeña población de Forêt Nord hacia el interior, se encuentran en los bosques costeros a menos de 2 km hacia el interior (altitudes <100 msnm, por lo general <20 msnm). No está claro si la distribución original de la especie era más amplia. *A. nemorosa* domina el estrato arbóreo en el hábitat de maquis en el extremo sur de la isla de Grand Terre (Figura 1), mientras que en varios de los bosques de planicie es emergente en el dosel.

La mayoría de especies de Araucariaceae se encuentran en los suelos ultramáficos (12 de las 13 especies de araucarias incluyendo *A. nemorosa*, 4 de las 5 especies de *Agathis*) que dominan el sur de la isla. El suelo soporta un hábitat arbustivo, conocido como 'maquis' o 'maquis miniers' (maquis de minero) ya que la roca se extrae para la obtención de níquel. El suelo tiene concentraciones muy bajas de nutrientes minerales y concentraciones muy altas de metales (plomo, níquel, manganeso) que son tóxicos en mayor o menor medida para las plantas. A nivel mundial, es relativamente poco frecuente encontrar especies que crecen sólo en rocas ultramáficas, pero esto no es inusual en Nueva Caledonia, tanto para coníferas como para angiospermas. Nueva Caledonia se separó de Gondwana entre el Triásico y el final de los períodos del Jurásico, antes de la formación de las rocas ultramáficas. Se ha sugerido que la rápida radiación evolutiva de tipo adaptativo en las coníferas se produjo en respuesta a las nuevas condiciones edáficas (suelos ultramáficos) después de que Nueva Caledonia se convirtiera en una isla, una situación bastante común en la biogeografía insular, análoga a la de los pinzones de Darwin en las Galápagos.

## Usos y valor potencial

La especie se usó en el pasado para la producción de madera, postes, horcones, y madera rolliza, pero dichos usos están ahora prohibidos debido a la rareza de la especie. *A. columnaris* posee gran importancia simbólica para la población indígena de Kanak, pero no hay pruebas publicadas de si esto aplica también a otras especies de *Araucaria* en el área. Al igual que con muchas otras especies de *Araucaria*, su mayor valor potencial futuro es como ornamental, aunque el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD, ver Cuadro 3) ha estudiado sus usos en silvicultura (como maderable) y en reforestación posterior a la explotación minera.

## Resultados de ensayos

Los rodales remanentes muestran una densidad variable (área basal media 5,29 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, rango 0,72-10,04 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), donde las plántulas/brinzales (dap 0-5 cm) son más comunes que cualquier otra clase diamétrica. Una escasez de árboles en las clases diamétricas de 5-20 cm indica una falta de reclutamiento de plántulas/brinzales para la población madura. Sin embargo, la especie podría depender de perturbaciones para un reclutamiento efectivo, de manera que la regeneración exitosa sería episódica, en vez de continua. La extrapolación de las tasas de crecimiento de árboles plantados en suelos menos hostiles sugiere que los árboles más viejos tienen al menos 90 años y probablemente muchos cientos de años de antigüedad.

## Estado de conservación

*A. nemorosa* está clasificada según los criterios de la UICN como en peligro crítico (CR. B1+2c). Esto significa que la especie se enfrenta a un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre en el futuro inmediato, según lo definido por los siguientes criterios:

B) Extensión de la presencia estimada menor de 100 km<sup>2</sup> o un área de ocupación estimada en menos de 10 km<sup>2</sup>, y estimaciones que indiquen los dos puntos siguientes:

- 1) Severamente fragmentada o conocimiento de su existencia en una sola ubicación.
- 2) Declive continuo, ya sea observado, inferido o esperado, en cualquiera de los parámetros siguientes:
  - c) área, extensión o calidad del hábitat.

Durante los últimos 150 años, el aumento de la frecuencia de incendios forestales, la introducción de mamíferos, la tala y la extracción de minerales han ocasionado una enorme degradación del hábitat que ha resultado en menos del 30% de la vegetación original. Alrededor del 70% de los rodales remanentes de *A. nemorosa* (poblaciones 1-6) se encuentran en terrenos pertenecientes a una familia supuestamente interesada en la conservación de estas poblaciones y que mantiene una buena relación de cooperación con el Servicio Ambiental (Service de l'Environment). Existe la necesidad de desarrollar estrategias de restauración para *A. nemorosa* 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 plántulas silvestres (reducciones en la diversidad genética y aumento de la endogamia). Para lograr estos objetivos de restauración, las plántulas se están cultivando inicialmente en viveros para su posterior plantación en terreno abierto despojado de vegetación por actividades mineras o perturbaciones por incendios. Se han utilizado dos métodos opuestos para obtener semilla para la restauración de *A. nemorosa*: 1) recolección directa de los conos de árboles maduros y, 2) recogida del piso del bosque de las semillas recién caídas. El estudio genético más abajo compara los atributos genéticos de dos poblaciones de vivero de *A. nemorosa*, una derivada de una recolección de conos y la otra de semillas del piso del bosque.

## Fenología

*A. nemorosa* es un árbol hermafrodita longevo que se regenera sexualmente mediante grandes conos femeninos que contienen varios cientos de semillas. Es necesario recoger sin dilación la semilla caída ya que ésta germina a los pocos días de ser liberada del cono, a la vez que el almacenamiento a largo plazo es problemático ya que la semilla es recalcitrante. Aunque parecen normales, muchas semillas no son viables. Esto restringe el potencial de regeneración de las pequeñas poblaciones remanentes. Un muestreo realizado en dos parcelas de 0,04 ha en cada una de las seis poblaciones de *A. nemorosa*, que incluía los sitios más conocidos (N1, N2, N3, N5, N6, N7; Fig. 1, Cuadro 1) estimó:

- i. la densidad de adultos de tamaño reproductivo
- ii. la proporción de árboles de tamaño reproductivo que contenían conos
- iii. la varianza en la producción de conos femeninos entre los árboles de tamaño reproductivo

En cada parcela, se registraron todos los árboles de *A. nemorosa* con un diámetro del tallo >2 cm y se midió el dap de los árboles >1,4 m de altura. En el resto de individuos más pequeños, el diámetro se midió a una altura del tallo representativa. Se anotó para cada árbol la presencia y número de conos femeninos maduros.

**Cuadro 1.** Distribución de la producción de piñas maduras de *A. nemorosa* en dos parcelas de 0,04 ha, ubicadas en cada una de las seis poblaciones naturales.

Población	Código	Área (ha)	N	Muestra	Árboles >15cm dap	#árboles con conos	#conos/ árbol con conos	dap promedio cm	DAP mínimo de árbol productor de conos, cm
Kaanua	N1	22,68	>1000	25	13	1	2	14,9	16
Vane	N2	15,72	>1000	15	8	1	7	25,6	48
New Forest	N3	15,2	>1000	63	45	4	1,2,3,3	18,2	18,5
Mini Nuri	N5	1,28	<500	36	22	4	2,2,7,5	18,4	22,5
Forêt Nord	N6	0,44	93	28	11	5	1,1,1,3,9	17,1	32,7
Natasha's	N7	1,48	<100	62	23	2	2,8	12,9	23,5

N es el tamaño estimado de la población sobre la base de un inventario de árboles maduros, a partir de fotografías tomadas a gran altitud o por conteos directos; dap es el diámetro a la altura del pecho.

La producción de conos en las seis poblaciones de *A. nemorosa* fue muy baja y mostró una alta proporción de árboles adultos sin conos femeninos maduros (Cuadro 1). El árbol más pequeño con conos femeninos tenía 16 cm dap. Asumiendo que todos los árboles >15 cm dap eran sexualmente maduros, el promedio de árboles sexualmente maduros con conos femeninos maduros fue de 13,9%, y se encontró que el 7,7% y el 45,5% de los árboles maduros tenían conos maduros en Kaanua (N1) y Forêt Nord (N6), respectivamente. Dentro de las poblaciones, hubo una gran variación entre árboles en la producción de conos femeninos, siendo la variación en la producción de conos dos y cuatro veces mayor que el valor medio en N5 (media = 3;  $r^2 = 6$ ) y N6 (media = 3;  $r^2 = 12$ ), respectivamente.

En una evaluación preliminar del número y variabilidad de semillas viables por cono, se recolectaron 13 conos maduros de las poblaciones N1 (1), N3 (4), N5 (6) y N7 (2). Las actividades mineras impidieron la recolección de conos en Forêt Nord (N6). Los conos se diseccionaron y se registró el número de semillas por cono. La proporción de semillas flotantes se utilizó como una estimación mínima de las semillas no viables, ya que las semillas sin embrión flotan invariablemente, mientras que se asumió que las semillas que se hundieron eran fértiles. El número de semillas por cono sugiere que el número de semillas viables puede ser muy bajo para *A. nemorosa*, con una varianza alta entre conos. El número de semillas (llenas+vanas) producidas por cada cono fue en promedio de 339 (rango 279-422). Sin embargo, el porcentaje de semillas llenas por cono fue muy bajo y altamente variable. Más del 50% de los conos produjo menos de 10 semillas llenas, pero un solo cono produjo 125 semillas llenas, de modo que >50% de las semillas supuestamente viables de los 13 conos recogidos procedía del mismo cono.

## Variación genética en poblaciones remanentes, regeneración natural y viveros

En 2001, dos viveros recolectaron semillas de dos poblaciones (Kaanua y Forêt Nord) para la restauración del hábitat y estudiar el potencial silvícola de la especie. Kaanua (N1) es una de las poblaciones más grandes de *A. nemorosa*, mientras que Forêt Nord (N6) es la más pequeña y aislada, y la única población del interior, vecina a una zona urbanizada en expansión debido al procesamiento de níquel por la empresa minera Vale Inco (Figura 1, Cuadro 1). Un vivero, gestionado por el *Institut Agronomique Néo-Calédonien*, recogió conos de

aproximadamente 30 árboles en Kaanua. El segundo vivero (Vale Inco) muestreó semillas recién caídas al piso del bosque en una zona no mencionada de Forêt Nord. Después de la germinación, las plántulas se transplantaron a envases y se dejaron crecer bajo sombra en los viveros. Las tasas de germinación fueron bajas en general (30-40%).

A fin de estudiar las consecuencias genéticas de la degradación del hábitat y los esfuerzos de restauración de *A. nemorosa* se utilizaron marcadores genéticos (nucleares de Secuencias Simples Repetidas - nSSR) con los que comparar los niveles de diversidad genética y endogamia entre las poblaciones remanentes silvestres (adultos y brinzales) y las dos poblaciones de vivero derivadas de ellos. Se tomaron muestras de cuarenta plántulas de cada una de las poblaciones de vivero y la misma cantidad de brinzales silvestres (rango de edad estimado 1-5 años) y árboles adultos en las mismas poblaciones de origen (N1 y N6). El muestreo abarcó la totalidad del área de cada población.

### **Diversidad genética en poblaciones de adultos, y de brinzales silvestres y de vivero**

Se encontró que los siete loci nSSR del muestreo eran polimórficos en los brinzales silvestres y las cohortes de adultos de Kaanua y Forêt Nord, y en la muestra de vivero de Forêt Nord. No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la riqueza alélica o en la diversidad de genes entre las muestras de brinzales silvestres y adultos de Kaanua. Sin embargo, se encontró que el material de plántulas de vivero de Kaanua era monomórfico en un locus y contenía significativamente menor riqueza de alelos (AE,  $P < 0,05$ ) y diversidad genética ( $H_e$ ,  $P < 0,05$ ) que la de los correspondientes brinzales silvestres y cohortes de adultos (Cuadro 2). En contraste, no se encontraron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) en la riqueza de alelos o la diversidad de genes entre las plántulas de vivero de Forêt Nord respecto a los brinzales silvestres o los adultos de la misma población de origen (Cuadro 2). El porcentaje de alelos raros (frecuencia  $< 0,1$ ) fue mucho menor ( $\chi^2 = 21,9$ ,  $P < 0,001$ ) en el material de plántulas de vivero de Kaanua (N1N 38%) que en los brinzales silvestres (N1W 74%) y las cohortes de adultos (N1A 84%). En contraste, no se encontraron pruebas de diferencias en la proporción de alelos raros entre las plántulas de vivero, los brinzales silvestres y los adultos de Forêt Nord ( $\chi^2 = 0,132$ ,  $P > 0,05$ ).

### **Endogamia y diferenciación genética**

Además de las recolecciones de N1 y N6, se tomaron muestras de acículas de 40 adultos y plántulas de las poblaciones de N2-N5 (Cuadro 2; Figura 1). El coeficiente de endogamia ( $F_{IS}$ , déficit de heterocigosidad respecto a las expectativas de Hardy-Weinberg) en las poblaciones de plántulas de las seis poblaciones fue casi el doble que para los adultos (media  $F_{IS} = 0,192$  y  $0,108$ , respectivamente,  $P = 0,017$ ). Aunque la diferencia no fue significativa en sitios individuales, todas las poblaciones de plántulas mostraron un coeficiente de endogamia superior al de los adultos del mismo sitio.

No se encontraron pruebas de endogamia en el material de plántulas de vivero de Kaanua ( $F_{IS} = -0,024$ ), en contraste con las muestras de brinzales silvestres y adultos del mismo sitio, las cuales mostraron un nivel significativo de endogamia (valores de  $F_{IS}$  de  $0,194$  y  $0,135$ , respectivamente, Cuadro 2). La situación fue diferente en Forêt Nord, con un aumento del coeficiente de endogamia desde el de adultos ( $F_{IS} = 0,009$ ), al de brinzales silvestres ( $F_{IS} = 0,168$ ) y al de plántulas de vivero ( $F_{IS} = 0,282$ ).



**Cuadro 2.** Medidas de diversidad genética, porcentaje de alelos raros (frecuencia <0,1) y coeficientes de endogamia para muestras de adultos (A), plántulas silvestres (W) procedentes de seis poblaciones naturales y dos poblaciones de plántulas de vivero (N) de *A. nemorosa* (n=40 para todas las muestras).

Población	Código	Muestra	$A_E$ (S.E.)	$H_e$ (S.E.)	% alelos raros	$F_{IS}$	$N_e$
Kaanua	N1	A	9,53 (2,46)	0,72 (0,09)	84	0.135*	
Kaanua	N1	W	8,83 (1,90)	0,71 (0,09)	74	0.194*	30
Kaanua	N1	N	2,81 (0,46)	0,46 (0,09)	38	-0.024n.s.	1
Forêt Nord	N6	A	6,12 (1,11)	0,65 (0,07)	68	0.009n.s.	
Forêt Nord	N6	W	5,59 (0,90)	0,62 (0,07)	65	0.168*	11
Forêt Nord	N6	N	6,40 (0,87)	0,69 (0,05)	65	0.282*	N/C
Vane	N2	A	7,9	0,64		0.135*	
Vane	N2	W	7,5	0,66		0.188*	
New Forest	N3	A	8,4	0,73		0,066	
New Forest	N3	W	7,3	0,69		0.219*	
Cap Reine	N4	A	7,4	0,70		0.160*	
Cap Reine	N4	W	7,0	0,68		0.241*	
Mini Nuri	N5	A	6,6	0,64		0.123*	
Mini Nuri	N5	W	6,8	0,64		0.142*	

$A_E$  = riqueza de alelos,  $H_e$  = diversidad de genes,  $F_{IS}$  = coeficiente de endogamia dentro de las muestras, S.E. = error estándar, no disponible para las poblaciones N2-N5. Se muestra el nivel de significancia de las diferencias de  $F_{IS} = 0$ ; \*  $P < 0,05$ , n.s. = no significativo.  $N_e$  = tamaño efectivo de poblaciones que dan lugar a brinzales silvestres y plántulas de vivero. N/C = No calculable (se obtuvo estimación negativa)

No se encontró una diferenciación genética significativa ( $F_{ST}$ , valores no mostrados) entre cohortes de adultos y brinzales silvestres en las seis poblaciones. Las estimaciones pareadas de  $F_{ST}$ , para medir la diferenciación genética entre muestras de adultos y brinzales silvestres y muestras de vivero del mismo sitio indicaron la existencia de diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre el material de plántulas de vivero y las muestras de adultos y brinzales silvestres de Kaanua ( $F_{ST} = 0,160$  y  $0,167$ , respectivamente), lo que muestra la existencia de efectos de muestreo en la recolección de semillas. También se encontró una diferenciación genética significativa entre el material de plántulas de vivero y las muestras de adultos y brinzales silvestres en Forêt Nord ( $P < 0,05$ ), pero el grado de diferenciación fue tan sólo una cuarta parte del encontrado en Kaanua ( $F_{ST} = 0,042$  y  $0,047$ , respectivamente). Los valores pareados de  $F_{ST}$  mostraron diferencias genéticas entre las seis poblaciones, lo que probablemente se debió a su pequeño tamaño de población. La población N6 aislada del interior fue la más distinta genéticamente (valores pareados de  $F_{ST}$  aproximadamente el doble de los de otras comparaciones pareadas de poblaciones).

### Tamaño efectivo de la población adulta

El tamaño efectivo de la población adulta que contribuye con genes a las cohortes de plántulas silvestres y de vivero se calculó a partir de cambios en la diversidad de genes entre adultos y muestras de plántulas (Cuadro 2). En Kaanua, el número efectivo estimado de árboles adultos que contribuyó a la cohorte de brinzales silvestres fue grande ( $N_e = 30$ ), mientras que para el material de vivero el número efectivo fue muy pequeño ( $N_e = 1$ ). En Forêt Nord, la población adulta efectiva estimada que

contribuyó a la cohorte de brinzales silvestres fue moderado ( $N_e = 11$ ), mientras que el ligero aumento en la diversidad de genes del material de plántulas de vivero, en comparación con la de los adultos, no representa una prueba de la existencia de un número restringido de adultos que contribuyen a las plántulas de vivero en Forêt Nord, a pesar de que no fue posible calcular el número efectivo de adultos.

El muestreo de material para vivero y para análisis genéticos y evaluaciones del comportamiento reproductivo se realizó en años diferentes. Por tanto, la información sobre la demografía reproductiva no puede ser utilizada para explicar directamente nada de la diversidad y las diferencias de endogamia en el material de vivero, en comparación con las poblaciones de origen silvestre. En vez de esto, la exploración de la biología reproductiva ofrece nociones generales de la producción de semilla y viabilidad de la especie.

### **Perfil de Nueva Caledonia** *(con base en la presentación elaborada en 2002 para la FAO)*

#### **Introducción**

- Área: 238 539 km<sup>2</sup>, la mayoría por debajo de 600 msnm (metros sobre el nivel del mar); <10% por encima de 300 msnm; muy pocas áreas >1000 msnm.
- Población: 244 600 (enero de 2008).
- Producto Interno Bruto per cápita: USD 25 485 (2004), lo cual es relativamente alto en comparación con otros territorios de ultramar. Nivel de vida: similar al de la Unión Europea (UE). La economía y el medio ambiente son vulnerables, a pesar de los recursos naturales.
- El cuarto mayor productor de níquel del mundo (25% de las reservas mundiales). Minería regulada por tres provincias diferentes, con desequilibrios perjudiciales para la Provincia del Norte, en particular.
- Producto Nacional Bruto per cápita: USD 11 800. El consumo local de madera aserrada en 1997 fue de 18 196 m<sup>3</sup>, de los cuales el 18% (3 220 m<sup>3</sup>) procedía de la producción local, en comparación con el 30% en 1987. En 1997, se importó el 82% (14 976 m<sup>3</sup>) de la demanda de madera para aserrío, frente al 70% en 1987, principalmente de madera de coníferas de Australia, Estados Unidos, Fiji y Nueva Zelanda.

Nueva Caledonia es un territorio de ultramar francés que abarca varias islas de la Melanesia en el suroeste del Pacífico, a unos 1 200 km al este de Australia. Cuenta con estructuras administrativas e instituciones propias que gradualmente están adquiriendo más autonomía. Nueva Caledonia fue "descubierta" por el capitán Cook en 1774 y su nombre procede de la antigua Caledonia (Escocia), ya que algunas partes de la isla se parecían a los páramos escoceses. La población melanesia, conocida como Kanaks en Nueva Caledonia, se estableció en Nueva Caledonia hace 3 500 años. En contraste con la mayoría de las áreas tropicales que se enfrentan a amenazas más graves, como un crecimiento acelerado de la población, la pobreza extrema, e instituciones gubernamentales disfuncionales o inexistentes, la flora nativa del territorio está razonablemente intacta. La riqueza comparativa de Nueva Caledonia (ingresos per cápita similares a los de Australia y Nueva Zelanda), junto con su estabilidad política y económica actual, evitan muchas de las actividades devastadoras que llevan a la degradación y pérdida de millones de hectáreas de vegetación nativa en los trópicos. Sin embargo, Nueva Caledonia sufre serias amenazas a su rica biodiversidad debido a la destrucción del hábitat y la extinción de especies. La situación ya es crítica para los pequeños fragmentos remanentes de bosque esclerófilo, y podría convertirse rápidamente en lo mismo para otros ecosistemas de la isla, sobre todo si el entorno político se deteriora. Nueva Caledonia no es rica en recursos y su prosperidad actual es vulnerable. Se requieren acciones apropiadas para la protección de un área de diversidad botánica notable. Si no se hace, sin embargo, podría condenarla al mismo destino irreversible que han sufrido tantas otras floras tropicales.

## Recursos forestales

Nueva Caledonia es una antigua masa de tierra que se desprendió de Australia hace 85 millones de años, preservando con ello la antigua vegetación de ese período y que se ha extinguido en otros lugares. La vegetación terrestre de Nueva Caledonia se puede dividir en tres grandes tipos de vegetación nativa: matorral tipo maquis, bosque lluvioso y bosque seco tropical. El endemismo de especies es más alto en la vegetación de maquis (91%), un brezal-matorral característico de suelos ultramáficos, y en el bosque lluvioso (87%), que se producen tanto dentro como fuera de estos sustratos. El grado de endemismo es menor en los rodales remanentes de bosque esclerófilo (59%), que son el tipo de hábitat más amenazado de Nueva Caledonia, y que abarcan sólo el 2% de su área original de aproximadamente 4 500 km<sup>2</sup>. Se estima que unas 50 especies están en riesgo de extinción o han desaparecido de la flora de Nueva Caledonia. La amenaza para la flora y la vegetación de los otros hábitats principales es en la actualidad mucho menor que en la mayoría de las zonas tropicales, debido a la estabilidad política y económica de la isla, comparativamente.

Nueva Caledonia cuenta con una red de áreas protegidas que abarca el 22% de su territorio. Sin embargo, las 24 reservas en las categorías I-IV de la UICN cubren sólo el 2,6% del territorio). Por otra parte, el 83% de las especies de plantas amenazadas de Nueva Caledonia no se encuentran en áreas protegidas. Todos los bosques de altura y el 90% de los bosques lluviosos están protegidos por la legislación, por su relieve, o por su aislamiento. Varios tipos de vegetación están insuficientemente representados en la red de áreas protegidas (Cuadro 4), incluyendo: 1) bosque esclerófilo; 2) manglares, cuya composición florística varía entre las costas este y oeste; 3) bosque húmedo perennifolio, principalmente sobre sustratos no ultramáficos en el norte y centro de Grande Terre; 4) bosques en las islas de la Lealtad, y 5) maquis sobre varios sustratos, principalmente en el norte y noreste de la isla. Las principales amenazas son los incendios no controlados, la roturación de tierras, la cría de ganado y las poblaciones de ciervos. Los fuertes vientos y huracanes causan algunos daños en los bosques abiertos (como plantaciones o sabana arborescente). El Servicio Forestal supervisa la aplicación de la normativa y de los permisos en todos los bosques talados (actualmente menos de 40 ha/año). Sin grandes talas de árboles, los aprovechamientos causan poca deforestación, pero el daño a los árboles jóvenes y a los regenerados puede ser serio. La sobreexplotación por talas podría ser peligrosa para algunas poblaciones gregarias, densas u otras en particular (p. ej. *Agathis lanceolata*, *A. moorei*, *Araucaria columnaris*, *Arillastrum gummiferum*, *Intsia bijuga*).

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 para la protección son los obstáculos principales para una conservación efectiva a largo plazo. Solamente la mitad de los parques existentes impone alguna restricción a la minería dentro de sus límites, y los otros están abiertos a las actividades mineras. La extracción de níquel desde 1950 a 1975 ha dañado y destruido muchos paisajes y montañas en el sur y el occidente del territorio. En los valles cercanos se produjeron y se vertieron grandes cantidades de residuos debido a la ausencia de controles, lo que contaminó manglares y lagunas costeras por sedimentación. Varias especies se siguen talando y destruyendo (p. ej. *Agathis ovata*, *Araucaria montana*, *Arillastrum gummiferum*) debido a que las regulaciones actuales no son suficientemente severas y las Provincias no tienen jurisdicción legal sobre la minería. Sin embargo, el impacto es localizado en su mayoría. Hay poca conciencia sobre la conservación entre la población de Nueva Caledonia, en particular con respecto al hábitat terrestre. Existe la necesidad de controlar e informar a los propietarios de tierras, y los esfuerzos en este sentido comenzaron en 1991 en la Provincia del Norte y en 1994 en la Provincia del Sur. A pesar de las campañas de educación pública y los esfuerzos de lucha contra incendios, cada año se queman grandes áreas

(p. ej., 3 000 ha en 1996; 21 700 ha en 1997). La financiación de actividades de conservación es difícil, ya que agencias como el Banco Mundial y la Unión Europea no asignan recursos para estos esfuerzos en Nueva Caledonia, por ser técnicamente parte de Francia. Francia ha reconocido recientemente como prioritarias las necesidades de conservación de la isla.

**Recursos forestales y fitogenéticos**

Hay seis instituciones en Nueva Caledonia que trabajan en temas de recursos forestales (Cuadro 3), las cuales cuentan con personal capacitado y con experiencia. Hay cierta escasez de personal técnico, pero el equipamiento es eficiente y suficiente. La amplia superficie de Nueva Caledonia, la dispersión de sus bosques, la difícil elección de los rodales apropiados, la tenencia de la tierra, la competencia con proyectos agrícolas o industriales y los costos complican las funciones y las actividades de las diferentes instituciones.

**Cuadro 3.** Instituciones en Nueva Caledonia activas en el ámbito de los recursos genéticos forestales

Nombre y localización(es) principal(es)	Especialidades
<b>Institutos de Investigación</b>	
Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD, antes ORSTOM) Nouméa (Provincia Sur)	Estudios botánicos y ecológicos Censos específicos Ensayos en rodales de minas Cooperación internacional Herbario de Nueva Caledonia Publicaciones sobre Nueva Caledonia
Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - CIRAD) Nouméa (Provincia del Sur) Port Laguerre (Provincia del Sur)	Investigaciones y estudios forestales Censo forestal Selección y mejoramiento genético Recolección y almacenamiento de semillas Seguimiento de ensayos y huertos semilleros Cooperación internacional y regional
<b>Administración Pública</b>	
Departamento de Desarrollo Rural de la Provincia del Sur (oficina Bosque) Nouméa (Provincia del Sur)	Plantaciones, viveros Control de bosques talados Fondos para proyectos industriales y privados
Departamento de Recursos Naturales de la Provincia Sur - Servicio de Medio Ambiente Nouméa (Provincia del Sur)	Regulaciones ambientales, controles, monitoreo, relaciones y encuestas Cooperación local
Departamento de Recursos Naturales de la Provincia Sur - Servicio de Parques y Áreas de Conservación Nouméa (Provincia Sur)	Monitoreo, educación, vigilancia y censos de avifauna en las zonas terrestres
Servicio de Bosques, Madera y Medio Ambiente de la Provincia Norte Koné (Provincia Norte)	Monitoreo de plantaciones, bosques naturales y viveros públicos Normativa forestal y medioambiental, muestreos y controles Educación del gran público y en escuelas Cooperación local y regional Fondos para la industria de la madera y proyectos privados Construcción y mantenimiento de carreteras
Departamento de Agricultura y Forestal del Territorio de Nueva Caledonia Nouméa (Provincia Sur)	Fondos públicos y estatales Aplicación de convenciones internacionales Estadísticas sobre la madera (producción local e importación) Otros asuntos forestales y medioambientales
Departamento de Agricultura y Forestal del Territorio de Nueva Caledonia Nouméa y Aeropuerto de Tontouta (Provincia del Sur)	Introducción de plantas y exportación de animales

**Cuadro 4.** Tipos de bosque y especies que son objeto de las acciones de conservación

Acciones		
Mejora del conocimiento y la conservación de hábitats de interés especial, respecto a: ecología; regeneración; amenazas; crecimiento; desarrollo; sensibilización de visitantes, propietarios de tierras y usuarios; censo; plantaciones; normativa; áreas de conservación; ecotipos y procedencias; monitoreo; y educación.		
Tipo de bosque objetivo	Tasa de conservación <sup>(1)</sup>	Principales objetivos en cuanto a especies y géneros
Bosques y árboles en las montañas ultramáficas y zonas mineras	30 %	<i>Agathis lanceolata</i> , <i>Agathis ovata</i> , <i>Araucaria montana</i> , <i>A. nemorosa</i> , <i>A. rulei</i> , <i>A. scopulorum</i> , <i>A. bernieri</i> , <i>A. biramulata</i> , <i>Arillastum gumiferum</i> .
Bosques gipsícolas	0 %	<i>Araucaria columnaris</i> , <i>Intsia bijuga</i> , <i>Manilkara pancheri</i> , <i>Santalum austrocaledonicum</i> .
Árboles y otra vegetación de bosques esclerófilos	3 %	<i>Terminalia cherrieri</i> , así como especies de los géneros <i>Cupaniopsis</i> , <i>Diospyros</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Phyllanthus</i> , <i>Syzygium</i>
Bosques lluviosos y bosques de altura sobre esquistos	5 %	<i>Agathis spp.</i> , <i>Araucaria schmidii</i> , <i>Calophyllum caledonicum</i> , <i>Crossostylis spp.</i> , <i>Elaeocarpus spp.</i> , <i>Kermadecia spp.</i> , <i>Montrouziera cauliflora</i> , <i>Schefflera spp.</i>
Manglares	0 %	Géneros <i>Avicennia</i> , <i>Bruguiera</i> , <i>Exoecaria</i> , <i>Rhizophora</i> , etc.

1) La tasa de conservación es una valoración indicativa del nivel de conservación actual de un ecosistema, derivada de la razón Tasa de Conservación = Área protegida / Área total

## Fuentes de información

Este estudio se basa en los siguientes artículos:

Kettle CJ, Ennos RA, Jaffre T, Gardner M, Hollingsworth PM. 2008. Cryptic genetic bottlenecks during restoration of an endangered tropical conifer. *Biological Conservation* 141:1953–1961.

Kettle CJ, Hollingsworth PM, Jaffre T, Moran B, Ennos, RA. 2007. Identifying the early genetic consequences of habitat degradation in a highly threatened tropical conifer, *Araucaria nemorosa* de Laubenfels. *Molecular Ecology* 16:3581–3591.

Papineau C. 2002. State of forest and tree genetic resources in New Caledonia. Preparado para el Taller Regional sobre Bosques y Recursos Genéticos Forestales de Oceanía, FAO/SPRIG (AusAID)/PREP/PIFTSP (SPC), Apia, Samoa, 12-16 Abril 1999. Documento de Trabajo sobre Recursos Genéticos Forestales, No. FGR/33E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Roma (no publicado).

# 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*