



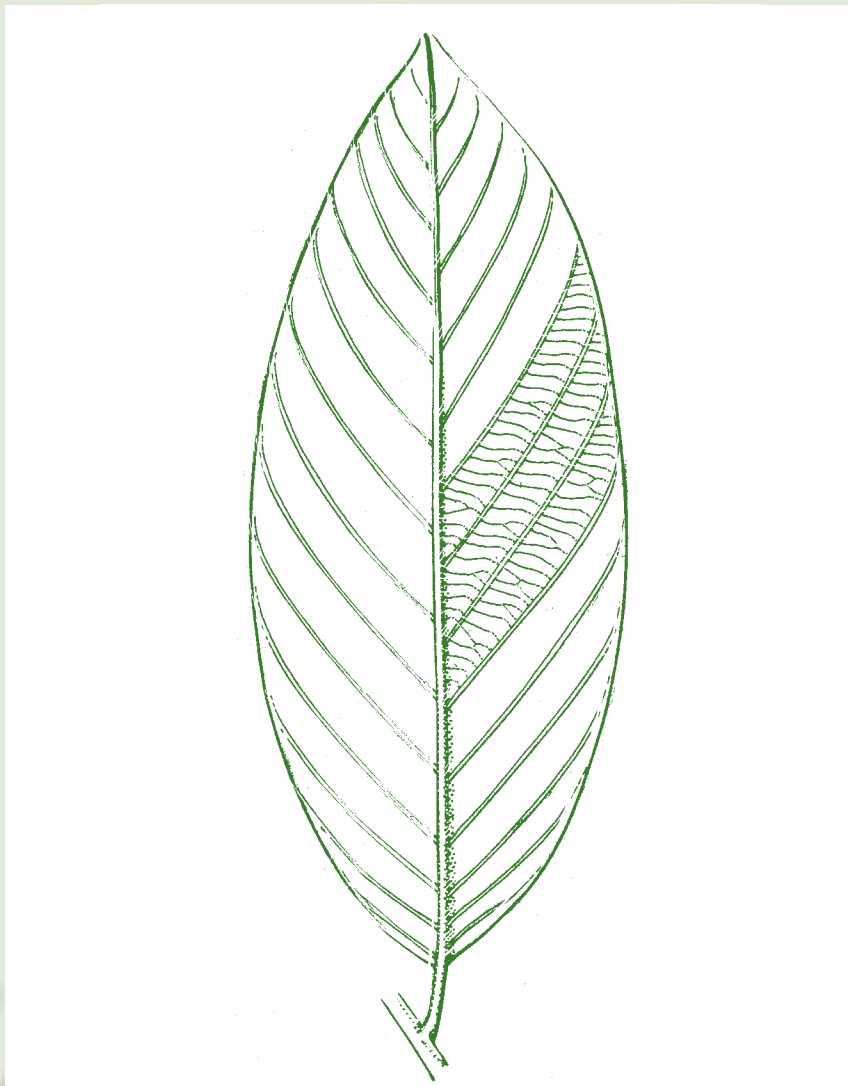
MÓDULO 1

Estrategias para la conservación de especies

Estudio de caso 1.3

Shorea lumutensis: variación genética y conservación

David Boshier



Reconocimientos

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.

Esta guía de capacitación fue validada durante varios eventos de capacitación en varios continentes. Nos gustaría agradecer los valiosos comentarios recibidos de muchos estudiantes y sus profesores, en particular los de Ricardo Alía y Santiago González-Martínez del Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA), España, y los de Peter Kanowski de la Universidad Nacional de Australia (ANU).

Nos gustaría agradecer especialmente a Lee Soon Leong, del Instituto de Investigación Forestal de Malasia (FRIM) el que haya puesto a nuestra disposición información adicional y fotografías para este estudio de caso. Nos gustaría también dar las gracias en particular a Thomas Geburek, del Departamento de Genética, Centro Federal de Investigación y Formación en Bosques, Riesgos Naturales y Paisaje (BFW), Viena, Austria, por revisar los estudios de caso presentados en este módulo. Sus valiosos comentarios produjeron mejoras sustanciales en el módulo.

Financiado por

Austrian

Development Cooperation

Las derechos de autor de las fotografías de la presentación PowerPoint pertenecen a Lee Soon Leong, David Boshier, 'New Scientist' y Royal Botanic Gardens, Kew.

en colaboración con



Finalmente, nunca hubiera sido posible la producción del Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales sin el apoyo económico de Cooperación Austriaca para el Desarrollo mediante el proyecto 'Desarrollo de la capacidad de formación y recursos humanos para la gestión de la biodiversidad forestal', llevado a cabo por Bioversity International en el periodo 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 maquetación al diseño creado por Patrizia Tazza. Agradecemos a ambas la belleza de su trabajo. La traducción al español fue realizada por Jesús Cordero.

Cita:

Boshier D. 2011. *Shorea lumutensis*: variación genética y conservación estudio de caso y notas para el profesor En: Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales. Editado por Boshier D, Bozzano M, Loo J, Rudebjer P. Bioversity International, Roma, Italia.

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

ISBN 978-92-9043-889-1
ISSN 2223-0165

Bioversity International
Via dei Tre Denari, 472/a
00057 Maccarese
Roma, Italia

© Bioversity International, 2011
Bioversity International es el nombre operativo del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

MÓDULO 1

Estrategias para la conservación de especies

Estudio de Caso 1.3

***Shorea lumutensis*: variación genética y conservación**

David Boshier, Departamento de Ciencias Vegetales, Universidad de Oxford

Este estudio de caso presenta información sobre *Shorea lumutensis* (Sym.), un árbol dipterocarpo raro y endémico de la Malasia peninsular. Use la información para diseñar una estrategia de conservación para la conservación genética de esta especie amenazada. La estrategia debería tener en cuenta los patrones de variación genética de la especie y el contexto forestal y socioeconómico; la estrategia puede combinar medidas *in situ* y *ex situ*, además de otras medidas de conservación. **Asegúrese de que sus recomendaciones sean específicas y detalladas** (p. ej., si usted recomienda la recolección de semilla para la conservación *ex situ*, especifique de qué poblaciones, cuántos árboles, qué cantidad de semilla, dónde será almacenada, etc.). En vista de que los fondos nunca son ilimitados, indique también la prioridad relativa de las acciones (por ejemplo, ¿será prioritaria una acción en particular en una reserva específica?). El ejercicio se estableció en el contexto previo al año 2007, tanto en términos del estado de la especie como del perfil nacional. Aunque existe información más reciente y el contexto ha cambiado, estos no se incluyen pues no se consideran relevantes para el ejercicio.

En sus discusiones de grupo, debería considerar y responder en particular a lo siguiente:

- ¿Cómo ha cambiado la estructura genética de *S. lumutensis* la intervención humana?
- ¿Cuál es el sistema de apareamiento? ¿Cuál es el mecanismo de dispersión de la semilla y el polen?:
- ¿Cuáles son los niveles de variación genética y cómo se distribuyen los alelos entre todas las poblaciones?

En su estrategia, debería detallar los puntos siguientes:

- ¿Cuáles son las amenazas para *S. lumutensis* (a corto y largo plazo) y qué poblaciones requieren acciones prioritarias? ¿De qué tipo deberían ser estas? **Enumere los problemas** según el tipo: - **genéticos**, p.ej. ¿qué poblaciones son muy pequeñas? ¿Cuáles son diferentes?) - **Otros tipos de problemas** (p. ej. sociales, de comunicación, de recursos - ver la secciones “Estado de conservación” y “Perfiles nacionales”).
- ¿**Cuáles** serán los métodos de conservación *-in situ, ex situ*, en fincas (*circa situm*)?
- ¿Cuántas áreas de conservación se requieren? ¿Qué dimensiones debe tener cada área de conservación?
- ¿Cómo se deben diseñar las áreas de conservación?
- ¿Cuáles son los factores sociales limitantes para la conservación, utilización y establecimiento de plantaciones?
- ¿Qué necesitan saber los usuarios finales y cómo se lo va a comunicar?
- ¿**Quién** hará **qué**, y **dónde** y **cómo** lo va a financiar?

Introducción

En Malasia peninsular, la familia Dipterocarpaceae incluye unas 155 especies. Hasta ahora no se había considerado la conservación de las dipterocarpáceas como algo importante, ya que no se pensaba que ninguna de las especies de la familia estuviera amenazada. Sin embargo, la investigación ha mostrado que más del 57% de las especies están restringidas a zonas específicas. Treinta especies son endémicas de Malasia peninsular, de las cuales 12 se consideran raras. Entre estas últimas, *Shorea lumutensis* Sym. está ahora considerada como en peligro crítico al haberse estimado una reducción de su población de al menos un 80% en los últimos 10 años y la población total estimada en menos de 250 individuos maduros (criterios de la UICN¹: CR A1cd, C2a). Intrínsecamente, estas poblaciones tan pequeñas son más vulnerables a catástrofes naturales, eventos estocásticos (fortuitos) demográficos y ambientales, actividades humanas y estocasticidad genética (como la pérdida de diversidad genética debida a la deriva y la endogamia).

Descripción de la especie, usos y estado de conservación

Shorea es un género de la familia Dipterocarpaceae, con unas 350 especies distribuidas en el sur y el sureste de Asia. *S. lumutensis* es un árbol de tamaño mediano a grande (la mayoría de árboles tienen un diámetro a la altura del pecho (dap) <50 cm, pero ocasionalmente alcanzan >100 cm dap), con raíces fúlcreas cortas y la corteza presenta fisuras longitudinales irregulares. Las hojas son coriáceas, oblongo-elípticas, con 14 pares de nervaduras prominentes en el envés, el cual es marcadamente glauco. Esta característica le da su nombre malayo de *balau putih* (Balau blanco). Las flores son hermafroditas (unos 9 mm de largo, con pétalos lineales amarillos pálidos y de 20 a 25 estambres), los frutos son subsésiles con tres alas externas y dos internas.

Fenología

La floración de las dipterocarpáceas es notablemente episódica. Los bosques tropicales lluviosos no estacionales de Malasia exhiben una floración masiva a intervalos irregulares de 2 a 10 años, seguidos por una fructificación masiva. Durante estas etapas de floración masiva, florecen casi la mitad de los árboles maduros, y más del 80% del dosel y de los árboles emergentes en el bosque por un período corto de 3 a 4 meses. Se presenta un aumento rápido de la cantidad de polinizadores en el bosque, en parte debido a la migración de estos polinizadores desde los márgenes del bosque para libar de las abundantes flores. Parece que muchas dipterocarpáceas que comparten un único polinizador (trips comunes de flores) reducen la competencia por los polinizadores floreciendo de modo secuencial. La cantidad de trips aumenta rápidamente al alimentarse y procrear en los millones de yemas florales de las dipterocarpáceas, varias semanas antes de la floración. La señal ambiental para esta floración irregular, aunque extendida y masiva, está relacionada con un descenso de 2°C por debajo de la temperatura media nocturna durante 4 a 5 noches, que sucede con el fenómeno de El Niño.

La observación de *S. lumutensis* en un bosque natural mostró solamente un único evento de floración (aprox. 2 semanas, en 5 de un total de 35 árboles > 30cm dap en la parcela). La asignación de paternidad mostró que además otros siete árboles florecieron también en la parcela (en total florecieron 12 de 35 árboles), pero probablemente con una intensidad de floración baja, que es difícil de observar con binoculares. Entre el final de la floración y la caída de los frutos maduros pasaron aproximadamente 10 semanas, y entre la formación de yemas florales y la caída de los frutos maduros pasaron aproximadamente 16 semanas.

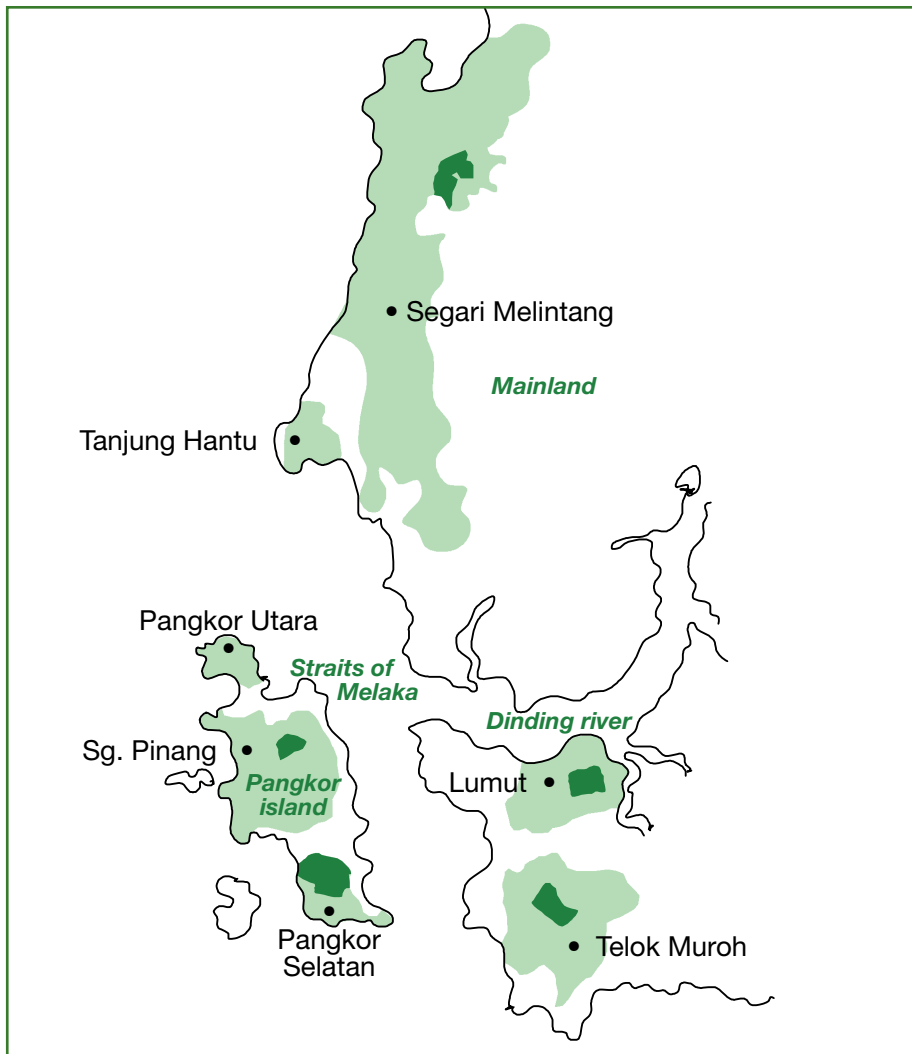
¹ www.iucnredlist.org/info/categories_criteria1994#categories

El dap de los árboles que florecieron tuvo un rango de 31-110 cm, indicando que se pueden definir como reproductores los árboles de más de 30 cm de dap. La semilla se dispersa por gravedad y ayudada por sus alas; los predadores de semilla podrían realizar una dispersión secundaria. La depredación de frutos es considerable; la mayoría de las semillas maduras caídas son consumidas por mamíferos pequeños (como ardillas y ratas). La semilla de las dipterocarpaceas es recalcitrante, es decir, su viabilidad es corta, lo cual hace que a menudo su almacenamiento bajo condiciones estándar no sea práctico.

Distribución

Shorea lumutensis está restringida a la parte occidental de la Malasia peninsular (Distrito Manjung). Informes previos habían reportado su presencia en el noroeste de Johor en la Malasia peninsular pero resultó ser *S. inappendiculata*. Aún no se tiene certeza sobre si la especie se encuentra también en Karimum y en la costa oriental de Sumatra, donde los especímenes encontrados podrían pertenecer a esta especie o a *S. inappendiculata*. *S. lumutensis* está presente en cinco reservas forestales (Sungai Pinang, Pangkor Selatan, Segari Melintang, Lumut y Teluk Muroh), y en total confinada a un área de unos 313 km² (ver Figura 1). Las poblaciones de las dos islas (Sungai Pinang y Pangkor Selatan),

Figura 1. Ubicación de las cinco reservas forestales en Malasia peninsular donde crece *Shorea lumutensis*. Dentro de cada reserva las áreas oscuras muestran dónde se encuentra la mayoría de árboles de *S. lumutensis*. N.B. no se encuentra en las reservas de Pangkor Utara y Tanjung Hantu.



aisladas de la tierra firme hace miles de años, están separadas del continente por los Estrechos de Dinding (aproximadamente 3 km). De las tres poblaciones continentales, las de las Reservas de Lumut y Teluk Muroh no están separadas por ninguna barrera geográfica importante, pero la población de la Reserva de Segari Melintang sí está separada de las dos poblaciones anteriores por el Río Manjung (con una anchura de aproximadamente 2 km en este punto).

Al no haber datos de registros fósiles, no se tiene certeza de si la especie tuvo en el pasado una distribución más amplia que la que tiene actualmente. La distribución puede ser el resultado de limitaciones fisiológicas al crecimiento y la reproducción (es decir, su rareza puede reflejar la adaptación específica a un hábitat escaso), en vez de reflejar patrones de dispersión histórica. Dentro de las reservas forestales, se encuentra generalmente a *S. lumutensis* en el dosel inferior de árboles emergentes en parches pequeños de bosque seco de dipterocarpos en cerros costeros, generalmente por encima de 100 msnm en suelos de fertilidad moderada, con microclimas bien drenados, o que no pueden mantener permanentemente un nivel alto de humedad en el suelo. Ocasionalmente se pueden observar individuos aislados. Esta distribución espacial en grupos está estrechamente relacionada con las variaciones topográficas locales: abundante en crestas de cerros y laderas más altas, y ausente en los valles y laderas más bajas. Las crestas y laderas tienden a ser más secas que las pendientes menos inclinadas y los valles. Además, la influencia de la pendiente en la textura del suelo y en su capacidad de retención de humedad determina en parte los niveles de nutrientes minerales disponibles, y por consiguiente la agregación espacial. Por las mismas razones, las distancias entre las poblaciones remanentes son mayores que lo que sugerirían los límites de las reservas (ver las áreas núcleo en la Figura 1 y las distancias reales en el Cuadro 4).

Usos y valor potencial de los árboles para plantaciones arbóreas

Aunque la madera se clasifica como Balau (una madera noble de dipterocarpacea), los aserraderos del área de Dinding rehúsan el trabajarla. No hay ninguna razón para esta actitud, sino que es un prejuicio local. Aunque el turismo es una amenaza a las reservas de la Isla de Pangkor, el ecoturismo vinculado directamente a las reservas puede ofrecer también oportunidades para la conservación y la educación de la población con relación a *S. lumutensis* y otras especies amenazadas.

Resultados de los estudios de campo

En bosques naturales, la distribución diámetrica de la especie presenta una curva típica en forma de J invertida, que indica una regeneración abundante, presentando mortalidad solamente en las clases de plántulas y brinzales (75 árboles en 3 años, Cuadro 1). Las clases de menor diámetro presentan bajas tasas de crecimiento. Los árboles de tamaño mediano representan el 1.7% de los 416 individuos encontrados en una parcela de 5 ha, mientras que los árboles más grandes representan el 8.2% de la población. Los resultados sugieren que la población está en peligro de disminución, aunque esto podría ser un reflejo de una tasa natural de crecimiento lenta, que conlleva una transición más lenta entre las clases de menor diámetro. La experiencia en la plantación de esta especie es limitada. Brinzales de 2 años de edad de 3 árboles madre contaban con una altura media de 5-62 cm y un diámetro de 1-8 mm a nivel del suelo.

Cuadro 1. Dinámica poblacional a corto plazo de *S. lumutensis* en un período de 3 años (2001-2004) en una parcela de 5 ha en la Reserva de Sungai Pinang (desviaciones estándar entre paréntesis)

Clase por tamaño (dap en cm)	No. de árboles	% mortalidad	Aumento del diámetro (mm/año)	
			Tasa media	Tasa máxima
1-5	342	22	0.3 (0.5)	1,3
6-10	14	8	0.7 (0.7)	2,3
11-20	7	0	1.4 (1.1)	3,7
21-30	19	0	1.6 (1.2)	3,7
>31	34	0	2.4 (1.9)	6,3

Estado de conservación

Es probable que la especie se extinga si no se hace nada para conservarla. Solo se conocen cinco poblaciones de *S. lumutensis*, que quizá no tengan más de 500 individuos grandes (>30 cm dap), distribuidas así: Sungai Pinang aprox. 100, Pangkor Selatan aprox. 50 ó menos, Segari Melintang aprox. 120, Lumut aprox. 90 y Teluk Muroh aprox. 100. Es importante resaltar que estas estimaciones se limitan a censos por rodales y es posible que haya otros árboles fuera del área censada. Los censos indican que la cantidad de individuos es mayor que las cifras originales proporcionadas por la evaluación de la UICN (ver Introducción). Aunque en cada una de las poblaciones se observó una cantidad reducida de árboles grandes, en cada población se observaron cada vez más brinzales y plántulas creciendo alrededor de los árboles grandes. La densidad de *S. lumutensis* (4.4 árboles ha⁻¹) es mayor que la de *S. leprosula* (3.3 árboles ha⁻¹), una dipterocarpacea común y ampliamente distribuida en Malasia peninsular. Por tanto, la rareza de *S. lumutensis* se puede clasificar como localmente común pero cuya presencia se restringe a tan sólo unos pocos lugares.

Las siguientes son las principales amenazas a las poblaciones existentes: la explotación maderera (Segari Melintang), la excavación de piedra (canteras), la transformación del bosque en plantaciones de palma de aceite (Lumut, Teluk Muroh), y los cambios en el uso de la tierra para acomodar el turismo (Pangkor Selatan, Sungai Pinang). La ubicación de las áreas núcleo de las poblaciones de *S. lumutensis* en rodales en las márgenes de las reservas aumenta de por sí la amenaza a esta especie. No se han reportado enfermedades asociadas a esta especie, aunque falta investigación como para poder hacer afirmaciones más concluyentes.

Variación genética en poblaciones naturales

Se muestrearon cinco poblaciones, que representan la totalidad del rango natural conocido de *S. lumutensis* (Figura 1, Cuadro 2). Se analizó material de las hojas de 40 a 48 árboles maduros (>20cm dap) de cada población utilizando como marcadores a ocho microsatélites (SSR, por sus siglas en inglés) de loci polimórficos (el Cuadro 4 presenta las frecuencias alélicas de seis de los loci). Para cada población se calcularon las medidas estándar de diversidad genética: la media de alelos por locus (*A*), riqueza alélica (*R_s*), heterozigosidad esperada (*H_e*) e índice de fijación (*F_{is}*). A pesar de su reducido rango de distribución, esta especie presenta niveles sorprendentemente altos de diversidad genética (Cuadro 2) comparables con los de otras dipterocarpaceas (como *S. leprosula*, *S. ovalis*, *S. curtisii* y *S. macroptera*). La riqueza alélica varió de 5.7 (Lumut) a 6.3 (Segari Melintang), con una heterozigosidad (también conocida como diversidad de genes) de 0.609 (Sungai Pinang) a 0.673 (Segari Melintang). Los valores del índice de fijación fueron positivos (*F_{is}*> 0.1; Cuadro 2) para todas las

poblaciones, lo cual es indicativo de un exceso de homocigotos y endogamia. Los tamaños de población probablemente han permanecido lo suficientemente grandes como para mantener niveles altos de diversidad genética dentro de las poblaciones individuales.

Cuadro 2. Diversidad genética de poblaciones de *S. lumutensis* en ocho loci microsatelitales (desviaciones estándar entre paréntesis)

Población	Tamaño de la muestra	Cantidad media de alelos por locus (A)	Riqueza alélica, Rs	Heterozigosidad media, He	Índice de Fijación, Fis
1) Segari Melintang	48	7.9 (1.9)	6.3 (1.3)	0.673 (0.058)	0,109
2) Lumut	40	6.6 (1.4)	5.7 (1.2)	0.636 (0.074)	0,156
3) Teluk Muroh	48	7.0 (1.5)	6.0 (1.1)	0.661 (0.052)	0,194
4) Sungai Pinang	47	7.4 (1.8)	6.0 (1.4)	0.609 (0.082)	0,130
5) Pangkor Selatan	48	8.1 (1.7)	6.1 (1.1)	0.663 (0.077)	0,128
Media	46	7.4 (0.6)	6.0 (0.2)	0.648 (0.026)	0,143

Un análisis jerárquico de conglomerados de las poblaciones usando las distancias genéticas de Nei entre pares de poblaciones mostró tres conglomerados: Lumut/Teluk Muroh, Sungai Pinang/Pangkor Selatan, siendo Segari Melintang la más distante (Figura 2). Los conglomerados mostraron relaciones geográficas que fueron consistentes con el modelo de 'Aislamiento por Distancia', en el que las poblaciones geográficamente cercanas se agrupan. Sin embargo, el apoyo estadístico para estos conglomerados fue muy bajo (apoyo de bootstrap <10%), con tan solo un 5,8% de la diversidad genética distribuida entre poblaciones (es decir, la mayoría de la diversidad genética se encontró dentro de las poblaciones), indicando que apenas hay pruebas de una diferenciación entre poblaciones.

Cuadro 3. Distancia geográfica (en km) por encima de la diagonal para las cinco poblaciones de *S. lumutensis*.

Población	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
1) Segari Melintang (SM)	-	15,9	19,2	15,9	18,9
2) Lumut (LU)		-	2,6	7,5	6,6
3) Teluk Muroh (TM)			-	8,0	5,1
4) Sungai Pinang (SP)				-	3,3
5) Pangkor Selatan (PS)					-

Cuadro 4. Frecuencias alélicas en seis loci de cinco poblaciones* naturales de *Shorea lumutensis* (- = frecuencia de 0.000)

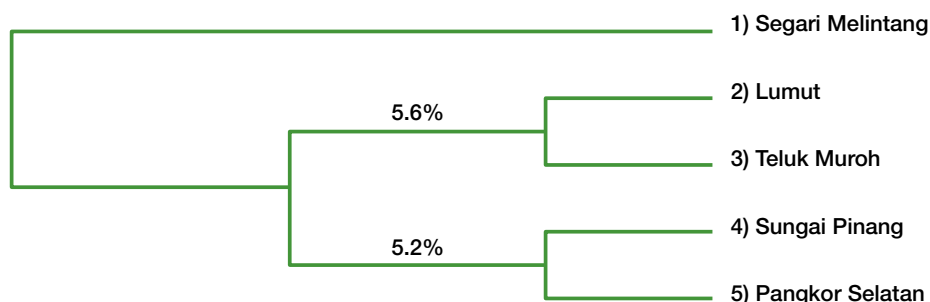
Locus	Alelo	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
Slu057	110	0,143	0,176	0,121	0,179	0,250
	112	0,614	0,649	0,621	0,641	0,396
	114	0,186	0,122	0,258	0,154	0,219
	116	0,029	-	-	-	0,094
	117	0,029	-	-	-	-
	118	-	-	-	-	0,010
	121	-	0,054	-	-	-
	122	-	-	-	-	0,021
	123	-	-	-	0,013	-
	124	-	-	-	-	0,010
	125	-	-	-	0,013	-
Slu110	220	0,103	-	-	0,030	0,031
	222	0,382	0,541	0,781	0,588	0,417
	224	0,485	0,459	0,219	0,368	0,552
	235	-	-	-	0,014	-
	247	0,029	-	-	-	-
Slu124	129	0,028	-	-	-	-
	131	-	-	0,024	-	-
	133	0,083	-	0,146	0,039	0,021
	135	0,097	0,038	-	0,066	0,125
	137	0,458	0,526	0,524	0,421	0,177
	138	0,014	-	-	-	0,042
	140	0,014	-	-	-	0,031
	141	0,028	0,090	-	0,066	0,010
	143	0,014	0,026	-	0,053	0,010
	145	0,014	0,026	-	0,013	-
	147	-	0,013	-	-	-
	149	-	-	-	-	0,010
	153	0,236	0,090	0,073	0,145	0,135
	154	-	-	-	0,026	0,031
	155	-	0,038	0,110	0,105	0,365
	159	-	-	-	-	0,010
	160	-	-	-	-	0,010
	162	-	-	0,012	-	-
	163	-	-	-	-	0,021
165	-	0,141	0,085	0,066	-	
167	0,014	-	0,024	-	-	
168	-	0,013	-	-	-	

Cuadro 4. Continuación

Locus	Alelo	1) SM	2) LU	3) TM	4) SP	5) PS
Slu175	220	0,758	0,875	0,400	0,890	0,895
	221	-	0,013	0,314	-	-
	223	-	0,013	0,114	-	0,023
	226	0,242	0,100	0,143	0,110	0,047
	228	-	-	0,029	-	0,012
	240	-	-	-	-	0,023
Sle111a	147	0,020	-	-	-	-
	148	-	-	-	0,013	-
	149	0,100	0,237	0,154	0,179	0,281
	150	0,020	-	-	-	0,010
	151	0,120	-	-	-	-
	155	0,060	0,053	0,019	0,013	0,010
	156	0,100	0,092	0,058	0,090	0,156
	157	0,560	0,461	0,635	0,513	0,469
	158	-	0,132	0,058	0,167	0,073
	159	0,020	-	-	-	-
	160	-	-	-	0,026	-
	161	-	-	0,038	-	-
	163	-	0,026	0,038	-	-
Sle267	108	0,016	-	-	--	-
	116	0,203	0,117	0,069	0,147	0,064
	118	-	-	-	0,015	0,106
	120	0,016	0,100	0,167	0,074	0,043
	122	0,078	-	-	-	-
	124	-	-	-	0,015	-
	126	0,234	0,167	0,306	0,397	0,255
	128	-	0,050	0,083	-	0,074
	130	-	0,017	0,069	0,118	0,298
	132	0,063	0,250	0,069	0,221	0,053
	134	0,281	0,250	0,097	-	0,011
	136	0,063	-	-	-	0,043
	138	-	-	0,056	-	-
	146	0,016	0,017	0,028	-	-
	148	-	0,033	0,042	0,015	-
	149	-	-	0,014	-	-
150	-	-	-	-	0,053	
152	0,031	-	-	-	-	

*SM, Segari Melintang; LU, Lumut; TM, Teluk Muroh; SP, Sungai Pinang; PS, Pangkor Selatan.

Figura 2. Dendrograma de similitudes genéticas entre las cinco poblaciones de *Shorea lumutensis* (valores de % de bootstrap en ramificaciones basados en 1000 iteraciones).



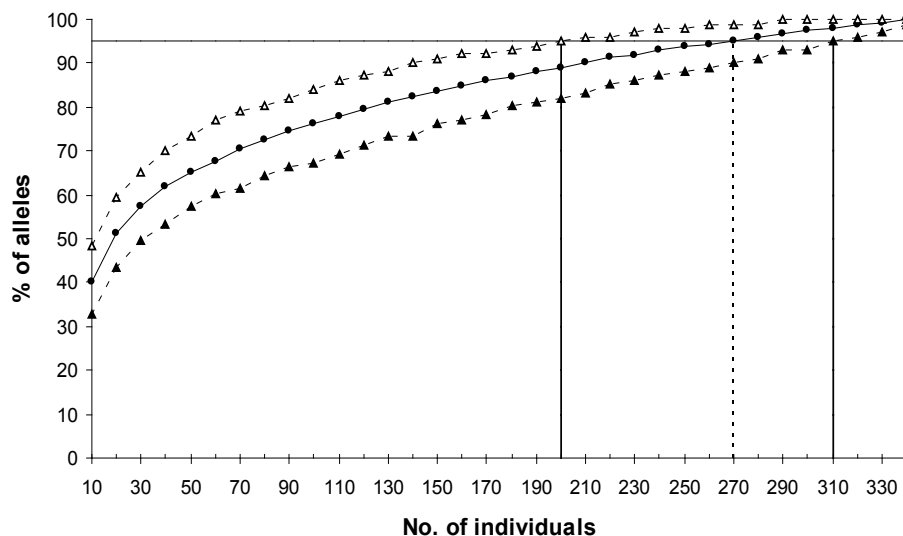
S. lumutensis presenta un sistema de apareamiento mixto (Cuadro 5, tasa media de alo cruzamiento de 63.4%), gran variación entre los cuatro árboles muestreados (22-92%) y ninguna evidencia de apomixis. Es probable que la semilla menos viable, producida por autopolinización, quede eliminada durante los procesos iniciales de germinación y establecimiento cuando la mortalidad es alta (Cuadro 1). El flujo de polen es moderadamente amplio, con distancias medias entre 122 y 220 m (Cuadro 5).

Los árboles con las tasas de alo cruzamiento más altas y que recibieron polen de muchos árboles padre distantes produjeron semillas más grandes y con mayor probabilidad de germinación y establecimiento de plántulas. A partir de las distancias de flujo del polen y de la densidad de árboles de *S. lumutensis*, se estimó la media del número de árboles (52) y la media del área (11.8 ha) de la unidad de mejora respectivamente. Mediante simulación se determinó que el tamaño de población mínimo para mantener los niveles actuales de diversidad genética (95% de alelos) es de 270 árboles (entre 200 y 310 árboles, Figura 3).

Cuadro 5. Resumen del sistema de apareamiento, la asignación de paternidad y los parámetros de la unidad de mejora para cuatro familias de polinización abierta de *S. lumutensis* en Sungai Pinang (desviaciones estándar entre paréntesis).

Árbol no.	No. de semillas	Sistema de apareamiento y asignación de paternidad			Parámetro de la unidad de mejora	
		% de semilla debida a alo cruzamiento	% de semilla de polen externo a la parcela	Distancia media de flujo de polen de alo cruzamiento /m	Tamaño/ individuo	Área (ha)
B004	38	22,2	11,1	122.0 (0.0)	70	16,0
B005	50	92,0	24,0	220.0 (120.2)	47	10,7
B026	44	61,4	13,6	138.4 (28.3)	45	10,3
B385	50	78,0	16,0	220.3 (78.5)	44	10,1
Media	45,5	63.4 (15.1)	16.2 (2.8)	175.2 (26.2)	52 (6)	11.8 (1.4)

Figura 3. Cambios en el porcentaje de alelos conservados con los cambios en el número de individuos eliminados de *S. lumutensis*. Los valores están basados en 1000 remuestras con errores estándar (líneas punteadas).



Malasia – información de contexto

- Área: 330 000 km². Altitudes: desde el nivel del mar hasta los 4095 msnm.
- Población: 26 600 000. El 33% vive en áreas rurales, y el 15.5% de la población está por debajo del umbral de pobreza.
- PIB: US\$ 5,859 per capita. La distribución de ingresos está por debajo del promedio mundial. La situación es peor en las zonas rurales, donde más del 80% de la población no percibe ingresos suficientes para satisfacer sus necesidades básicas (datos de 1993).
- Área definida como bosque: 208 900 km², equivalente al 63.6% de la superficie total.
- Durante un período de 15 años, entre 1990 y 2005, la cobertura forestal disminuyó en 14.900 km² (0.4% por año).
- Las causas principales de la deforestación son la agricultura migratoria, la conversión para ganadería extensiva y potreros para la cría de vacuno, la sobre explotación de leña y los incendios forestales, que afectan entre todas a un total de 20.000 ha anualmente.

Legislación forestal

En el sistema federal de gobierno de Malasia, el suelo y los bosques son responsabilidad estatal; cada Estado tiene la competencia e independencia para promulgar leyes y formular políticas. Por tanto, la legislación de cada Estado afecta la designación y el cambio de Estado de Bosque Permanente y de las áreas de conservación. La autoridad del gobierno federal incluye solamente proporcionar asesoría y asistencia técnica a los Estados y realizar investigación. Esta división de poderes plantea un reto a la implementación coordinada de políticas forestales nacionales. En 1978 se aprobó el establecimiento de un Consejo Forestal Nacional (los miembros incluyen los Primeros Ministros de todos los Estados y los ministerios de bosques, agricultura, medio ambiente y comercio). El Consejo es el foro donde los gobiernos estatales y el federal pueden discutir temas forestales y desempeña un papel principal en la promoción de la adopción de decretos federales a nivel estatal. La Política Forestal Nacional (1978) y la Ley Forestal Nacional (1984) aportan las bases para el manejo, desarrollo y conservación sistemáticos de los recursos forestales. Las revisiones realizadas entre 1992 y 1993 reflejan un cambio sustancial en la filosofía de manejo forestal, pasando de preocuparse simplemente por los

rendimientos de madera sostenibles a considerar el manejo sostenible de las múltiples funciones del bosque, intentando crear un equilibrio entre las funciones ecológicas, sociales y ambientales, y la importancia económica. Otras legislaciones federales complementan la Ley Nacional Forestal (por ejemplo, la Ley del Agua de 1920 – directrices para el mantenimiento de las franjas riparias; el Decreto de Conservación del Suelo de 1960; el Código Nacional del Suelo de 1965, el Decreto para la Protección de la Vida Silvestre de 1972 –un marco legal para la protección de las especies en peligro; la Ley de Parques Nacionales de 1980). Algunos gobiernos estatales también disponen de políticas forestales propias . La Política Nacional sobre la Biodiversidad (1988) trata de mejorar la conservación de la flora y la fauna de Malasia. Mediante una participación multisectorial (los ministerios de Industria Primaria, Agricultura, Vida Silvestre, Parques Nacionales y Pesca), esta política incluye estrategias para la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos biológicos para asegurar beneficios económicos, seguridad alimentaria y estabilidad ambiental a largo plazo.

Marco institucional

El Instituto de Investigaciones Forestales de Malasia (FRIM), los Departamentos Forestales de Malasia Peninsular, Sabah y Sarawak, la Asociación de la Industria Maderera de Malasia y el Consejo Maderero de Malasia están directamente involucrados en la administración, gestión, investigación y desarrollo del sector forestal. Todos estos institutos pertenecen al Ministerio de Industria Primaria. Otros centros llevan a cabo investigación y desarrollo (como el Centro de Investigaciones Forestales en Sandakan, Sabah; el Centro de Investigación y Tecnología Maderera, y la División de Investigación Forestal del Departamento Forestal de Sarawak; la Corporación para el Desarrollo de la Industria Maderera de Sarawak; la Facultad de Estudios Forestales de la Universidad Putra Malasia). Varias ONG (como la Sociedad para la Protección Ambiental de Malasia, la Sociedad Malaya para la Naturaleza, WWF, Sahabat Alam de Malasia) trabajan activamente en temas relacionados con la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad (p. ej., políticas, legislación, programas de concienciación).

Utilización de los recursos forestales

Los bosques de Malasia proporcionan múltiples beneficios que contribuyen significativamente a su desarrollo socioeconómico. Generalmente se les asocia con el aprovechamiento de madera y recursos no maderables (ratán, bambú, frutas, hortalizas, especias, plantas medicinales, plantas ornamentales), hábitat para la vida silvestre, así como con la prestación de servicios (agua, recreo). En 2001, los ingresos forestales de Malasia peninsular totalizaron US\$ 69,7 millones y la producción de madera rolliza fue de 4,15 millones m³. En el mismo año, la exportación de productos maderables de importancia (i.e. madera rolliza y aserrada, aglomerado, chapa) totalizó 2 300 millones USD, con un sector forestal público que empleaba 196 612 personas y el privado 185 891 personas. Se espera que el empleo aumente sustancialmente al dar mayor prioridad a la expansión de la base de los recursos forestales mediante el manejo intensivo del bosque, el desarrollo y el establecimiento de plantaciones de árboles de turno corto, y la modernización de la industria forestal para la elaboración de productos con mayor valor agregado. Se espera que el sector forestal continúe generando ingresos sustanciales tanto para el gobierno federal como para los gobiernos estatales. Los bosques también desempeñarán un papel importante en la estabilidad climática y ambiental, la conservación de una valiosa biodiversidad y la gestión de recursos hídricos.

Manejo y aprovechamiento de los bosques

El manejo de los bosques en Malasia se divide en tres categorías: 1) Áreas Totalmente Protegidas (TPAs), bajo el control del gobierno federal (Departamento de Vida Silvestre y Parques Nacionales), 2) Terrenos Forestales Permanentes (PFE, reservas forestales bajo el control del Departamento Forestal

y 3) bosques estatales, considerados esencialmente como reservas de tierras para el desarrollo. De acuerdo con la Política Forestal Nacional las PFE deben estar ubicadas estratégicamente por todo el país, mientras que para la Ley Forestal Nacional de 1984 (enmienda de 1993) las PFE se clasifican en clases funcionales: bosques para la protección del suelo, recuperación del suelo, control de inundaciones, bosques de cuencas, santuarios de vida silvestre, reservas de selva virgen, bosques para recreo, educación, investigación y propósitos federales.

La producción de madera en las PFE de Malasia peninsular se gestiona bajo dos sistemas: el Sistema Uniforme Malayo (MUS) con ciclos de aprovechamiento de 55 años y el Sistema de Manejo Selectivo (SMS) con ciclos de aprovechamiento de 30 años. En el MUS, los árboles maduros se aprovechan en una tala única de todo árbol >45 cm dap para todas las especies. Cualquier árbol grande remanente debido a defectos o valor de mercado bajo, se eliminan mediante descortezamiento en anillo y envenenamiento. El siguiente ciclo se desarrolla a partir de plántulas y por tanto tiene una edad uniforme y una mayor proporción de especies comerciales. Aunque el MUS es una práctica que no degrada el ambiente natural, no está orientado hacia la conservación genética. Puesto que depende principalmente de plántulas y brinzales para el establecimiento del siguiente ciclo, los tratamientos silvícolas favorecen estos grupos. Estos tratamientos tienden a fomentar el uso intensivo de veneno, por encima de los niveles necesarios y en algunos casos abren el dosel de manera demasiado drástica. Por tanto, el énfasis ha cambiado de un uso de plántulas y brinzales hacia un crecimiento avanzado con una aplicación más selectiva de veneno, y el uso de tratamientos silvícolas más conservadores que favorecen la conservación de los recursos genéticos forestales. Este sistema se ha aplicado con éxito en los bosques de dipterocarpáceas de las tierras bajas, pero no es apropiado para los bosques de dipterocarpáceas en los cerros debido a las dificultades del terreno, la disparidad de los árboles existentes, la falta de regeneración natural, el riesgo de erosión en las laderas pendientes, y la incidencia de vegetación secundaria favorecida por los drásticos claros en el dosel. El SMS se introdujo en los bosques de dipterocarpáceas de ladera en Malasia peninsular, realizando la extracción selectiva de árboles maduros en una sola operación, con base en datos de inventario. Esto permite establecer regímenes de aprovechamiento más flexibles, con énfasis en el crecimiento avanzado de árboles de 15 a 45 cm dap que formarían el siguiente ciclo. Este sistema desincentiva el uso de veneno en las especies no comerciales, ayudando así a conservar los recursos genéticos forestales. La tala es selectiva: el hecho de establecer una diferencia de 5 cm dap en los límites de corte permitidos entre dipterocarpáceas y las especies que no lo son, busca conservar un mayor porcentaje de dipterocarpáceas para el siguiente ciclo de corta.

Para complementar el manejo forestal y los planes de aprovechamiento, se han adoptado directrices con énfasis en medidas ambientales. El Sistema de Monitoreo Continuo de los Recursos Forestales de Malasia peninsular ha estado operando desde 1993, con un sistema integrado de teledetección, SIG y datos de campo. También se han introducido prácticas para reducir el daño causado por la tala en los rodales de bosque. En años recientes, se ha intensificado la investigación sobre tecnologías de aprovechamiento de impacto reducido (RIL) y aprovechamiento de bajo impacto (LIL), y Sabah ha establecido sus estándares y directrices para las operaciones de RIL.

Criterios e indicadores Malayos para el manejo forestal sostenible (MFS) y la certificación de madera

En su calidad de miembro de la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT), Malasia adoptó las directrices y criterios de esta organización para evaluar el manejo forestal sostenible de sus bosques. En 1994 se estableció un comité nacional encargado de asegurar la plena implementación

de los criterios e indicadores de la OIMT para el MFS. Este comité nacional formuló los criterios e indicadores malayos para el MFS a escala nacional y a escala de las unidades de manejo forestal, con numerosos refinamientos para poder incorporar los últimos métodos silviculturales. Un comité técnico de monitoreo supervisa la implementación de todas las actividades emprendidas por cada Departamento Forestal Estatal de Malasia peninsular. Para fortalecer las medidas conducentes al MSF, el Gobierno Federal estableció el Consejo de Certificación de Madera de Malasia (MTCC), una entidad nacional independiente de certificación y acreditación. A finales de 2003, el MTCC había certificado tres unidades de manejo forestal (Pahang, Selangor, Terengganu) y había expedido certificados de Cadena de Custodia a 29 empresas en Malasia. Recientemente, el MTCC ha ingresado en el Consejo Pan Europeo de Certificación Forestal (PEFCC), con vista a establecer un sistema de certificación forestal Pan Asiático.

Manejo y conservación de los recursos genéticos forestales

Aunque se desconoce el número exacto de especies vegetales de los bosques de Malasia, una valoración reciente estimó alrededor de 15 000 especies. La Flora Arbórea de Malasia describe cerca de 2,830 especies leñosas en Malasia peninsular, de las cuales 746 son endémicas y 511 están en peligro (incluyendo *S. lumutensis*) debido a ser especies raras, endémicas, o a que sus hábitats están amenazados. Se han documentado más de 1,300 especies vegetales con propiedades farmacéuticas potenciales, algunas usadas tradicionalmente en medicina herbológica.

Conservación *in situ*

Malasia ha adoptado diversas medidas para conservar la diversidad biológica forestal, incluyendo la creación de una red de áreas totalmente protegidas (parques nacionales, parques estatales, santuarios de aves y vida silvestre, Terrenos Forestales Permanentes - PFEs). Actualmente Malasia tiene 2,15 millones de hectáreas de áreas protegidas oficialmente aprobadas o propuestas, de las cuales 0.32 millones de ha están dentro de los PFE. Añadiendo los 3,81 millones de ha de bosques protegidos, el área total designada para la protección alcanza los 5,96 millones de ha, que representa el 29,5% de la cobertura forestal nacional.

Malasia peninsular cuenta con 40 Áreas de Protección Total (APT) que abarcan un total de 751 413 ha. El Parque Nacional Taman Negara (434 351 ha) abarca tres estados (Pahang, Kelantan, Terengganu) y es el más grande de las APT en Malasia peninsular. Representa la flora de Malasia peninsular central, junto con las Reservas de Vida Silvestre de Krau, Sungkai y Sungai Dusun. El Parque Nacional de Endau-Rompin (Johor) y las Reservas de Vida Silvestre de Endau-Rompin (Pahang) representan la flora meridional, mientras que los Parques Estatales de Perlis y el propuesto Estado de Belum forman un corredor continuo con los bosques monzónicos de Tailandia y Myanmar. Se han establecido 120 Reservas de Selva Virgen (RSV) en una extensión de 111 800 ha con las funciones de 1) reservas naturales permanentes y arboretos naturales, 2) parcelas de control para comparación con los bosques aprovechados o bajo tratamiento silvícola, y 3) bosques naturales no perturbados para estudios ecológicos y botánicos. Las RSV representan ejemplos de muchos tipos de bosque virgen (manglar, de suelo ácido, de turbera, de dipterocarpáceas de tierras bajas, de dipterocarpáceas de ladera, y de dipterocarpáceas de montaña). Malasia ha establecido también dos Áreas de Recursos Genéticos (ARG): la Reserva Forestal de Ulu Sedili en Johor (4806 ha) y la Reserva Forestal de Semengoh en Sarawak. Éstas cuales incluyeron 8 y 14 especies comerciales respectivamente, para su conservación genética y se está realizando más investigación para identificar especies adicionales. Existen rodales de conservación *in situ* para las siguientes especies: *Agathis borneensis*, *Aquilaria malaccensis*, *Calamus manan*, *Dryobalanops aromatica*, *Neobalanocarpus heimii*, *Nepenthes hamulatum*, *Rafflesia* sp., *Shorea curtisii*, *S. glauca*, *S. hemsleyana*, *S. macrophylla*, *S. splendida* y *S. stenoptera*.

Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* puede ser importante para el almacenamiento a largo plazo de germoplasma para programas futuros de mejoramiento o para la reintroducción de especies. En Malasia, la mayor parte de la investigación se ha concentrado en el mejoramiento de cultivos agrícolas; se ha hecho muy poca investigación en la conservación de recursos genéticos de especies forestales. Los grupos más grandes de especies vegetales forestales conservadas *ex situ* son las orquídeas (1639 especies), los árboles frutales (434 especies), los árboles maderables (364 especies) y las plantas medicinales (115 especies). La conservación *Ex situ* de la mayoría de las especies es <10 accesiones (con excepción de *Anisoptera costata*, *Casuarina equisetifolia*, *Dryobalanops aromatica*, *D. oblongifolia*, *Durio* sp., *Dyera costulata*, *Eusideroxylon zwageri*, *Garcinia* sp., *Hopea odorata*, *Intsia palembanica*, *Metroxylon rumphii*, *Neobalanocarpus heimii*, *Nepenthes* sp., *Nephelium* sp., *Rafflesia* sp., *Shorea macrophylla*, *S. pauciflora*, *S. splendida* y *S. stenoptera*). Malasia tiene 26 áreas de conservación *ex situ*, principalmente en arboretos de institutos de investigación, universidades y agencias gubernamentales. El FRIM, la Junta de Aceite de Palma de Malasia, la Junta de Caucho de Malasia y el Instituto de Investigación y Desarrollo Agrícola de Malasia disponen de arboretos con diversos grupos de especies silvestres (por ejemplo, los arboretos del FRIM tienen >500 especies de plantas forestales, incluyendo 150 dipterocarpaceas). El Jardín Botánico de Penang es el área de conservación *ex situ* más antigua de Malasia; sin embargo, sus principales funciones son la educación, el recreo y el turismo, pero ha realizado poca investigación recientemente. El FRIM está desarrollando un jardín botánico nacional (el Jardín Botánico de Kepong) con apoyo del gobierno federal y el sector privado. También se han empezado a planear dos jardines botánicos adicionales en Putrajaya y Sungai Buluh. Los bancos de germoplasma de semilla no son apropiados para muchas de las especies forestales de Malasia pues éstas producen semillas recalcitrantes que no se pueden almacenar a largo plazo. La investigación que se está haciendo actualmente en el uso de técnicas criogénicas e *in vitro* para la conservación *ex situ* a largo plazo; se ha logrado la criopreservación de las siguientes especies: *Bambusa arundinacea*, *Dendrocalamus membranaceus*, *D. brandisii*, *Dipterocarpus alatus*, *D. intricatus*, *Pterocarpus indicu* y *Thyrsostachys siamensis*. Se ha estudiado el cultivo de tejidos de: *Hopea odorata*, *Shorea leprosula*, *S. macrophylla*, *S. ovalis* and *S. parvifolia*.

Identificación de prioridades nacionales

Un total de 105 especies aparecen en la lista de especies prioritarias para Malasia (*S. lumutensis* no está incluida). La mayoría son especies maderables actualmente populares para plantaciones (p. ej. *Azadirachta excelsa*, *Khaya ivorensis*, *Tectona grandis*, *Dyera costulata*); plantas medicinales populares (como *Eurycoma longifolia*, *Labisia pumila*); y especies de maderas valiosas (como *Neobalanocarpus heimii*, *Eusideroxylon zwageri*). Algunas especies maderables populares son exóticas, y fueron introducidas en Malasia para plantaciones forestales (como *K. ivorensis*, *Melaleuca cajuputi* y *T. grandis*). La lista también incluye especies maderables indígenas que actualmente no son populares para el establecimiento de plantaciones (ej. *Shorea glauca*, *S. curtisii* y *S. platyclados*), plantas medicinales con un potencial evidente (ej. *Andrographis paniculata*, *Calophyllum lanigerum* var. *austrocoriaceum* y *Goniothalamus velutinus*), agroforestería (ej. *Calamus* sp.), ornamentales (ej. *Cycas* sp., *Nepenthes* sp.), árboles frutales (ej. *Nephelium* sp., *Durio* sp.), especies de manglar (ej. *Avicennia alba*, *Sonneratia alba*).

Plantaciones forestales

Para aumentar el abastecimiento futuro de madera y aliviar la presión en los bosques naturales, Malasia había establecido para el año 2000 unas 240,000 ha de plantaciones, en Malasia peninsular e incluyen las siguientes especies: *Araucaria* sp. *Acacia mangium*, *Durio zibethinus*, *Gmelina arborea*, *Paraserianthes*

falcataria, *Pinus caribaea*, *P. merkusii*, *Tectona grandis* y *Shorea macrophylla*. Las plantaciones van a aumentar, especialmente en Sarawak y Sabah, mientras que las que ya ha establecido el Departamento Forestal de Malasia peninsular se van a privatizar. Para fomentar la inversión del sector privado en plantaciones forestales, se ha concedido una exención de impuestos durante 10 años.

Productos forestales no maderables (PFNM)

Además de la producción de madera, las políticas actuales están enfocadas al desarrollo de PFNM, servicios forestales y agroforestería, para maximizar los retornos a los inversores y diversificar el sector forestal. Se ha fomentado la agroforestería para atender a la creciente escasez de tierras y materias primas y permitir la siembra de un rango más amplio de cultivos agrícolas intercalados con especies de árboles forestales, optimizando el uso de la tierra y los ingresos. También se ha fomentado el desarrollo de productos biotecnológicos, la extracción de productos químicos naturales de recursos biológicos forestales, la utilización de la biomasa del bosque para la producción de combustibles limpios y el desarrollo de productos de ingeniería genética a partir de la flora. La diversificación de productos forestales generará mayores ingresos, parte de los cuales se pueden reinvertir en el sector, haciendo que la gestión forestal sostenible sea una opción más viable.

Fuentes de información

Este estudio de caso está basado en el trabajo del Dr S.L. Lee (Instituto de Investigación Forestal de Malaysia) y colaboradores.

Lee SL, Ng KKS, Saw LG, Lee CT, Norwati M, Tani N, Tsumura Y, Koskela J. 2006. Linking the gaps between conservation research and conservation management of rare dipterocarps: a case study on *Shorea lumutensis*. *Biological Conservation* 131: 72-92

Lee SL, Krishnapillay B. 2004. Lee, SL., B. Krishnapillay. 2004. Country reports on the status of forest genetic resources conservation and management in Malaysia. En: Luoma-aho T, Hong LT, Ramanatha Rao V, Sim HC, editores. *Actas del Taller Inicial APFORGEN, Julio 2003, Kuala Lumpur*. International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia. pp. 206-228.

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