

1

MANEJO DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

F. Thomas Ledig

Introducción

Los valores económicos de los recursos genéticos

Conservación de recursos genéticos

Manejo y conservación forestal

CONSERVACIÓN Y MANEJO DE RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES

F. Thomas Ledig

Institute of Forest Genetics, Pacific Southwest Research Station,
U.S.D.A Forest Service, Placerville, California 95667, E.U.A.

Introducción

Para iniciar la introducción a este Seminario-Taller sobre el Manejo de Recursos Genéticos Forestales, voy a describir la historia de un país en desarrollo -- un país del tamaño de México (cerca de 2.01 millones de Km² comparados con los cerca de 1.97 millones de Km² de México). Igual que México, este país fue conquistado por europeos. En lugar de decirles de que país se trata, dejaré que ustedes lo adivinen. En el tiempo de la conquista europea, este país estaba casi enteramente cubierto por bosques. En los siguientes 250 años, los bosques se cortaron a una velocidad promedio de cerca de 803 mil hectáreas (8,030 Km²) por año. Esto es más de 2,200 hectáreas (22 Km²) por día. La mayor parte de los bosques se eliminó para la agricultura, por la necesidad de alimentar a una población en expansión. Los árboles se derribaron y quemaron para librarse de ellos. Los residuos de las cenizas se utilizaron como fertilizante. Los bosques que no fueron convertidos a la agricultura, se cortaron una, dos o quizás hasta seis veces. Primero se eliminaron las especies de mayor valor -- las especies de coníferas más altas--, con troncos grandes para postes y madera de construcción y los mejores árboles de especies latifoliadas para la fabricación de muebles de sus hogares. Después de que se terminaron las especies de coníferas y latifoliadas de mayor valor, la siguiente generación de madereros regresó por las especies de menor valor. Cada generación tomó los árboles mejor formados y dejó los enfermos, torcidos y de lento crecimiento. Los bosques se degradaron en forma progresiva. Menos de un centésimo de 1% (únicamente 0.0025%) de los bosques primarios quedó como remanente.

El bosque desapareció y lo mismo ocurrió con la fauna. Las poblaciones de ciervo se redujeron, los pavos se eliminaron en muchas regiones del país, y especies enteras se extinguieron a causa de la pérdida de hábitat y la presión de la cacería. Nunca se consideró la necesidad de conservación. ¿Donde se encuentra este país pródigo primitivo? ¿En África, Asia, en los bosques Atlánticos de Brasil? No, se trata de los Estados Unidos de América originales.

Conforme los Estados Unidos se expandieron hacia el oeste, alguna gente comenzó a preocuparse por la pérdida de los bosques nativos. No obstante, los bosques se cortaron hasta las costas del Pacífico, sin ninguna preocupación por la necesidad de regeneración. Muchas áreas en el oeste del país se cortaron en el período de hace 100 a 50 años y nunca se ha restablecido el bosque (Shoup y Baker 1981).

A principios de 1900, el movimiento de conservación ya había ganado una fortaleza considerable. Presionó al gobierno para establecer áreas de reserva para conservar los recursos maderables y otros tesoros nacionales escénicos. Estos primeros conservacionistas en ningún momento pensaron sobre la diversidad genética, aunque la diversidad genética sea el elemento básico de todos los recursos renovables. Sólo en fechas recientes hemos comenzado a considerar la necesidad de conservación de los recursos genéticos, y es todavía una idea novedosa para la mayoría de los conservacionistas y políticos. El punto central de todo esto es que nuestras ideas sobre la conservación han cambiado y aún están en proceso de evolución. No debemos repetir los errores pasados -por lo menos, no a causa de la ignorancia.

América del Norte es un continente rico en diversidad climática y topográfica, y por lo tanto, rico en recursos biológicos. Los recursos genéticos en nuestros bosques son la base de la silvicultura en plantaciones en la mayor parte del mundo. *Picea sitchensis* (Bong.) Carr., *Pinus tadea* L., *Pinus radiata* D. Don, y *Pinus oocarpa* Schiede se plantan en cientos de miles de hectáreas en África, Asia, Australia, Europa, y Sudamérica; y de los tres países que coexisten en América del Norte, México es el más rico. Los Estados Unidos y Canadá tienen cerca de 650 especies leñosas (Little. 1979) mientras que México tiene entre 2,000 y 3,000 (J. Rzedowski. 1989, comunicación personal). De un total de 22,000 especies vegetales en México, 4,000 son endémicas, y seguramente más se descubrirán. Muchos de los taxa de México representan una riqueza de diversidad genética. Uno de los regalos de México al mundo es el maíz, por supuesto, pero otro son los pinos. México es un centro de diversificación de los pinos, ya que es el hábitat de más de la mitad de las especies de este género en el mundo.

La parte triste es que se estima que 17% de las especies vegetales mexicanas, este rico patrimonio, se considera en peligro de extinción. Pero el peligro más grave puede ser la pérdida de poblaciones y recursos genéticos dentro de especies -- lo que yo llamo las "extinciones ocultas" (Ledig. 1993). La pérdida de los recursos genéticos forestales ocurre principalmente como resultado de la conversión de terrenos forestales a otros usos, fundamentalmente pastoreo y agricultura. La deforestación en México está avanzando a una gran velocidad, cerca de 5% de la superficie forestal se modificó durante el período quinquenal 1981-1984 (Office of Technology Assessment 1984).

La diversidad genética de nuestros países es motivo de orgullo, pero las pérdidas de recursos genéticos son tragedias nacionales. Estas pérdidas nos disminuyen a cada uno de nosotros. José Ortega y Gasset (1914) escribía sobre bosques figurativos y reales cuando señaló: "Yo soy yo y mi circunstancia, y si no la salvo a ella no me salvo yo". Ortega y Gasset escribió en un español algo arcaico, pero lo que él quería decir es que lo que nosotros somos es en gran medida un producto tanto de nuestro medio como de nuestro cuerpo, y si nosotros no salvamos nuestro ambiente, también perdemos parte de nosotros mismos.

Con frecuencia he señalado que los recursos genéticos tienen valores múltiples: valores económicos, ecológicos, estéticos y éticos. La diversidad genética ciertamente tiene un valor estético, como lo sugirió Ortega y Gasset, pero en este Seminario voy a hablar de los usos materiales, el valor económico, de los recursos genéticos y posteriormente me referiré a las técnicas para la conservación. Espero que esto prepare el camino para los aspectos y comentarios más detallados que se presentarán en los siguientes documentos.

Los valores económicos de los recursos genéticos

Es obvio que nuestros bosques comerciales en América del Norte son un recurso económico. Sin embargo, es menos obvio que la diversidad genética dentro de estos bosques es el fundamento de su valor económico.

Las especies como *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. o *P. cooperi* Blanco, no son una población homogénea. Las especies con una amplia distribución natural son comúnmente una colección de poblaciones. Las poblaciones locales están comúnmente adaptadas a su ambiente. Si esas poblaciones se eliminaran, la productividad forestal se reduciría. Por ejemplo, si los sitios de *Pinus ponderosa* a 825 m de elevación en la Sierra Nevada de California se replantaran con la semilla de una elevación de 600 m menor la reducción en el volumen a la edad de 50 años sería de alrededor de 5% (Figura 1). Si se replantara con la semilla de una elevación 600 m mayor, la reducción sería de alrededor de 20%. Podemos dibujar curvas similares para sitios de plantación en otras elevaciones, y el pico de la curva coincidiría en forma bastante precisa con la elevación local. Por lo tanto, los recursos genéticos locales contribuyen a la productividad del bosque que, por supuesto, es un valor económico básico, y si esos recursos se pierden podría ser difícil o imposible reemplazarlos.

Nuevos ambientes

El cambio climático global es una razón urgente para conservar una gama de recursos genéticos en las especies comerciales. Los modelos climáticos proyectan hasta un aumento de 5°C en la temperatura global en los próximos 50 años como resultado del "efecto de invernadero" (por ejemplo, debido a un aumento en 100% en la concentración atmosférica del bióxido de carbono). En episodios previos de calentamiento, las especies forestales y las poblaciones dentro de las especies se movieron hacia mayores elevaciones. Para mantener la productividad en un clima más cálido tendríamos que mover poblaciones de menores a mayores elevaciones. Con base en la ley de Hopkins, la temperatura disminuye cerca de 1.4°C por cada 305 m de aumento en elevación. Por lo tanto, para el clima proyectado dentro de 50 años, tendríamos que plantar sitios con fuentes de semilla de elevaciones 550 m más bajas (Figura 2; Ledig y Kitzmiller. 1992). ¿Pero, qué pasaría si las fuentes de semilla de esas elevaciones menores se han destruido, y los recursos genéticos se perdieron? Esta ha sido la situación en los Estados Unidos y todavía ocurre en México, en aquellos lugares donde los bosques en la parte baja de las montañas se eliminan para usar los terrenos en la agricultura.

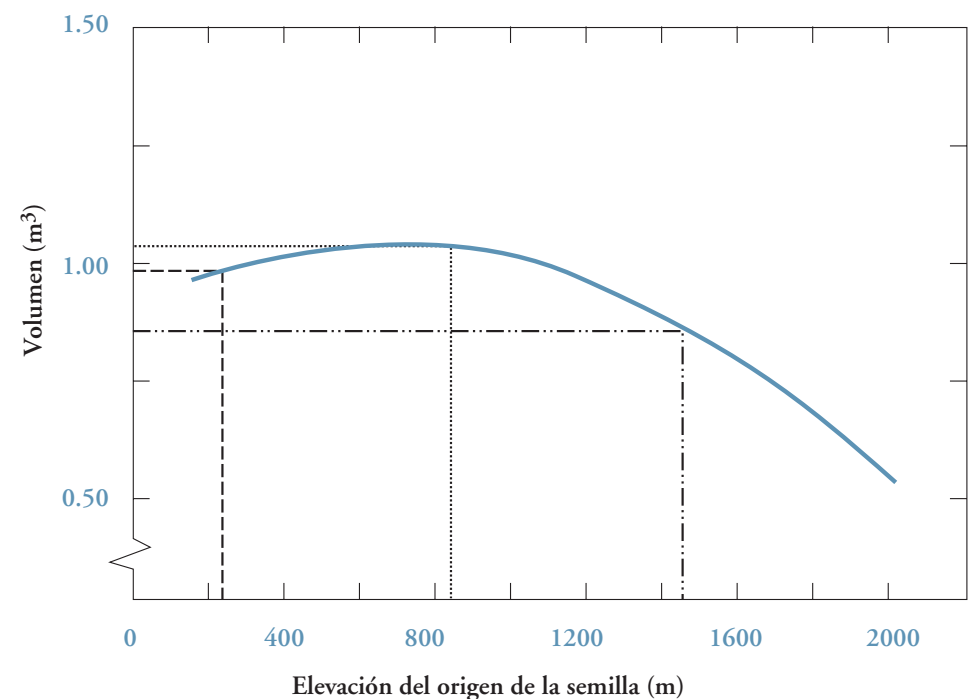


Figura 1. Volumen por árbol de fuentes de semilla de *Pinus ponderosa* en un sitio a 825 m de elevación en la Sierra Nevada de California. Este tipo de datos se puede usar para calcular la pérdida (o ganancia) en el volumen debido a la plantación de fuentes de semilla no locales. Plantar con una fuente de semilla de una elevación 600 m menor en lugar de usar la semilla local resultaría en aproximadamente 5% menos volumen. Plantar con una fuente de semilla de una elevación 600 m mayor resultaría en cerca de 20% menos volumen (M. T. Conkle, datos inéditos).

Nuevos mercados

Los nuevos mercados son otra razón para conservar los recursos genéticos, los cuales son necesarios para generar variedades nuevas. Por medio de cruzamiento podemos producir variedades con mayor velocidad de crecimiento, o cambiar de objetivos para satisfacer nuevas demandas en el mercado. Por ejemplo, los primeros mejoradores de *Pinus taeda* en el sur de los Estados Unidos seleccionaron árboles con una gravedad específica de la madera alta porque esta especie se usó para elaborar bolsas de papel Kraft y cajas de cartón corrugado, y la madera de mayor gravedad específica producía mayores rendimientos de pulpa y bolsas con mayor resistencia al rasgado.

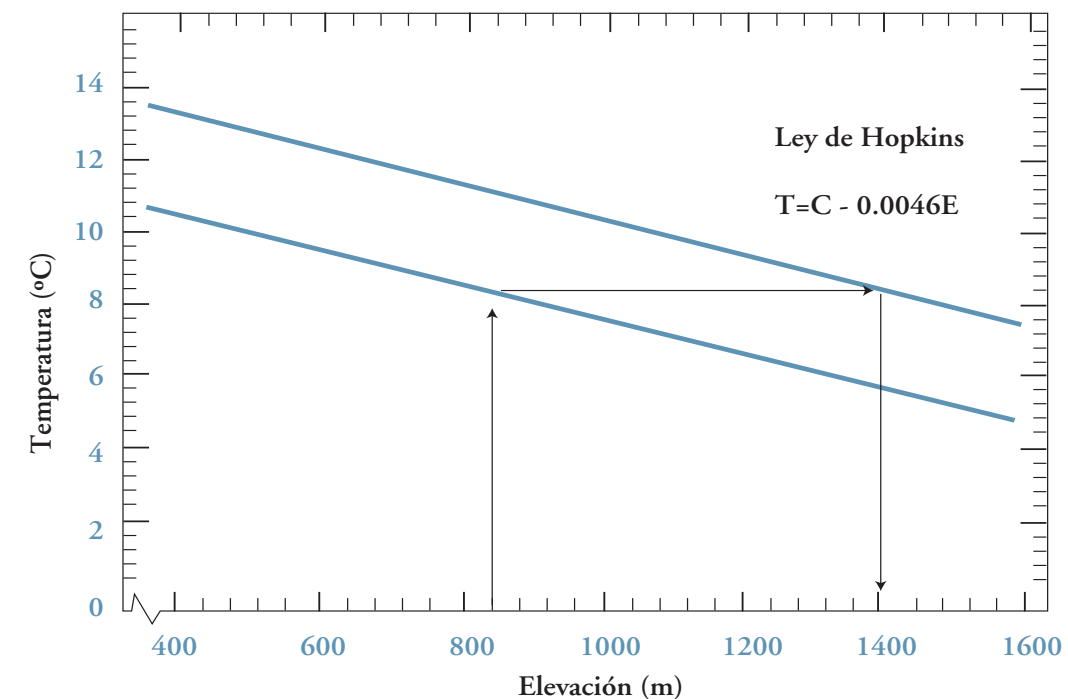


Figura 2. La ley de Hopkins define la regla básica de que la temperatura disminuye cerca de 2.5°F por cada 1,000 pies de elevación (1.4°C por cada 305 m). La temperatura actual se representa por la línea inferior, y la línea superior muestra la tendencia, suponiendo un aumento de 2.5°C en la temperatura global. Una procedencia a 850 m, creciendo en la actualidad en un ambiente que tiene una temperatura anual promedio de cerca de 8°C encontraría esas condiciones cerca de los 1,400 m, o sea, 550 m arriba en la pendiente después del cambio global.

Sin embargo, el mercado cambió y la demanda por papel sanitario, papel periódico y papel de impresión aumentó. Para estos productos se prefiere una madera de menor gravedad específica. Afortunadamente, los recursos genéticos de *Pinus taeda* eran suficientes para permitir a los genetistas seleccionar árboles con madera de gravedad específica más baja. De hecho, las cooperativas de mejoramiento genético forestal en el sureste de los Estados Unidos habían conservado árboles de *Pinus taeda*, de crecimiento rápido con madera de gravedad específica más baja en blancos clonales. Estos clones estaban fácilmente disponibles para producir papel higiénico y de escritura de alto valor cuando el mercado cambió. Sin la variación genética disponible los genetistas pueden hacer muy poco (Figura 3). Un programa de mejoramiento genético en *Pinus resinosa* Ait fracasaría porque la especie carece de variación genética. Nosotros deseamos proteger los recursos genéticos y evitar que una especie genéticamente variable se convierta en un *Pinus resinosa* empobrecido genéticamente.

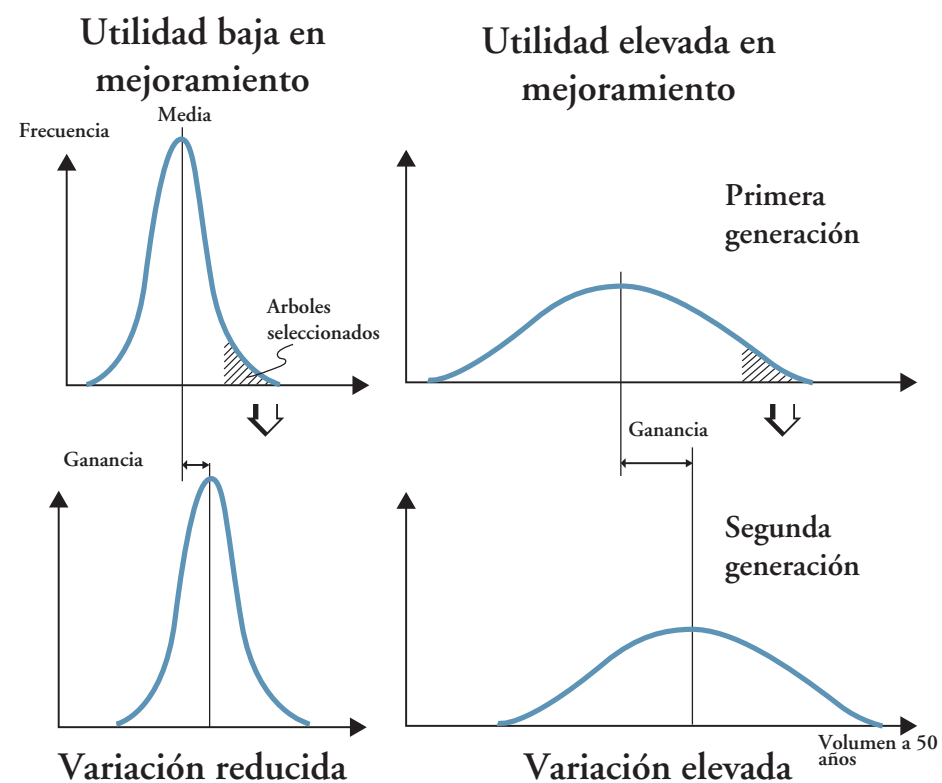


Figura 3. Cuando una especie tiene poca variación genética para una característica (como volumen a los 50 años), la selección resultará en un avance pequeño. Cuando la variación es grande, el mejoramiento (la ganancia obtenida por selección) será mucho mayor.

Nuevas amenazas

Las nuevas plagas de insectos y patógenos son una amenaza constante en la agricultura. Los agrónomos deben generar variedades nuevas de cultivos vegetales cada unas pocas generaciones para mantenerse adelante de las plagas en evolución. Lo mismo es cierto en la silvicultura. La variación genética necesaria podría no encontrarse en todas las poblaciones. Por ejemplo, la frecuencia de una de forma de resistencia genética a la roya de los pinos blancos en *Pinus lambertiana* Dougl es casi cero en las poblaciones del norte, pero se encuentra en mayores frecuencias (8%) en las poblaciones de la Sierra Nevada Central (Kinloch, 1992).

Nuevos productos

Todo lo que se ha mencionado en párrafos anteriores pertenece a especies que tienen un valor comercial actual. Pero nuestro interés en los recursos genéticos en América del Norte debería incluir especies forestales que actualmente se consideran como malezas, porque podríamos descubrir nuevos usos para ellas en el futuro. *Taxus brevifolia* Nutt era una especie sin valor hace diez años, pero se encontró que el taxol de los extractos de corteza era altamente efectivo contra el cáncer en pruebas realizadas por el Instituto Nacional del Cáncer en E.U.A. En cuestión de años, esta especie de *Taxus* llegó a ser tan altamente deseada, que los conservacionistas comenzaron a preocuparse por su posible eliminación de los bosques del noroeste de Estados Unidos.

Nuevos productos vegetales están por descubrirse: productos químicos que pueden ser agentes medicinales efectivos, insecticidas, fungicidas, o herbicidas. La tarea de descubrir estas propiedades es lenta, pero actualmente casi 25% de las medicinas de prescripción (un mercado de varios millones de dólares) en los Estados Unidos proviene de las plantas. Merck & Compañía, Ltd. ha establecido un acuerdo de \$1.1 millones de dólares con el Instituto Nacional de la Diversidad Biológica de Costa Rica, (INBIO) para explorar posibles químicos nuevos en las reservas y parques nacionales de Costa Rica. (Reid, 1993). El INBIO recibirá los derechos de autor sobre cualquier producto nuevo que se desarrolle.

No sólo debemos estar preocupados por las especies leñosas forestales, sino por los bosques mismos, porque son el hábitat de un conjunto tremendo de diversidad biológica. Si no conservamos estos recursos genéticos, estamos eliminando industrias futuras de gran valor. No todas las especies vegetales o animales de los bosques tienen las propiedades únicas deseadas, pero no podemos predecir cuál de ellas las tiene. A pesar de esta incertidumbre, Farnsworth y Soejarto (1985) pudieron calcular que cada especie de planta que se extingue es una pérdida de \$204 millones de dólares.

Nuevo entorno económico

Independientemente del sistema económico, comunista o capitalista, los contadores nunca han considerado todos los costos - los costos ocultos - de hacer negocios. Ellos han descuidado los costos ambientales, dejando que alguien más o alguna generación futura pague la cuenta. Estos costos no registrados incluyen los costos médicos ocasionados por la contaminación del aire debido a industrias que usan la atmósfera como un recurso libre. Estos son los costos desde el punto de vista de oportunidades perdidas de una generación futura que podría haber usado una especie que el desarrollo condujo a la extinción.

La atmósfera que respiramos ahora, los climas que disfrutamos ahora, el desarrollo del suelo y la estabilización de pendientes o taludes, dependen de la cubierta forestal. Mucho se ha escrito sobre el valor de los bosques para captar bióxido de carbono. El aumento proyectado en la temperatura global se basa en la duplicación del bióxido de carbono en la atmósfera. Este es sólo un nivel de referencia conveniente. No hay razón para suponer que las emisiones de bióxido de carbono disminuirán después de alcanzar un nivel de bióxido de carbono del doble de los niveles preindustriales. En el próximo siglo, la sociedad todavía quemará combustibles fósiles que tenían capturado el bióxido de carbono durante millones de años como depósitos de carbón y petróleo. Los servicios de apoyo a la vida proporcionados por los bosques podrían exceder en gran medida su valor como fuente de madera y fibra.

La diversidad genética, los recursos genéticos dentro de especies, podrían ser cruciales para la salud de los ecosistemas. La pérdida de diversidad genética o inclusive los cambios en la estructura genética sin una disminución en la diversidad podrían conducir plausiblemente a cambios en el flujo de energía y nutrientes en el ecosistema (Ledig, 1991). Al nivel de las especies, esto es seguramente cierto. Investigaciones recientes en el ecotrópico del Colegio Imperial (Londres), un banco de 16 cámaras con atmósfera - y clima - controlados, ha demostrado que los ecosistemas ricos en especies asimilan bióxido de carbono a una mayor velocidad que los ecosistemas menos diversos (Naeem *et al.* 1994).

Conservación de recursos genéticos

El manejo de recursos genéticos de las plantas agrícolas cultivadas se divide en ocho componentes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Componentes del manejo de recursos genéticos en la agricultura

1. Recolección
2. Documentación
3. Caracterización
4. Almacenamiento
5. Evaluación
6. Multiplicación
7. Distribución
8. Utilización

En esta introducción al Seminario-Taller, mencionaré brevemente sobre el almacenamiento, evaluación y utilización de los recursos genéticos. Debido a que la silvicultura difiere de la agricultura, la lista en el Cuadro 1 no se ajusta bien a nuestra situación. Es más, la mayor parte de la actividad forestal todavía depende de especies silvestres que crecen en poblaciones que se regeneraron en forma natural. Por lo tanto, el manejo de los rodales naturales es un aspecto de conservación único a la silvicultura. Yo mencionaré ese aspecto de manejo de germoplasma porque podría no ser cubierto en forma detallada en los otros documentos.

La recolección, la documentación y la caracterización generalmente se realizan en forma simultánea en la silvicultura, pero yo no dedicaré mucha atención a esos temas. En otro documento he planteado un enfoque sistemático a la recolección de recursos genéticos representativos para la conservación *ex situ* de las especies forestales en los Estados Unidos (ver Ledig, 1992).

Consideraré la regeneración y utilización como un tema refiriéndome principalmente a otros documentos en esta publicación. En la silvicultura, la distribución (por ejemplo, la infraestructura para mover plantas de la fase de regeneración a la de utilización) es prácticamente una parte integral de los sistemas de viveros y reforestación, por lo que yo la ignoraré. La distribución presenta problemas, pero por ahora no los consideraremos. Además del manejo de rodales naturales, mencionaré el almacenamiento, la evaluación, y la utilización de recursos genéticos forestales. Esto sigue el guión del Seminario-Taller propuesto por Jesús Vargas y Basilio Bermejo. Este es un resumen práctico y excelente para considerar el manejo de recursos genéticos forestales. Yo les agradezco por concebir este programa en el seminario.

Manejo y conservación forestal

Hace cuatro años en el Congreso Mundial de Silvicultura en París, Teobaldo Eguiluz dijo algo tan importante que yo lo anoté: “La conservación no debería ser un árbol aislado en el vasto campo de los bosques”. La conservación de recursos genéticos debería ser una parte integral del mejoramiento forestal, como Judy Loo lo señalará posteriormente en esta mañana. Además, la conservación no debe y no puede considerarse en forma aislada en ningún sentido del manejo o cultivo de los bosques.

Casi por definición, conservación significa reducir la presión sobre los recursos. El crecimiento de la población es el problema primario que conduce a la pérdida de recursos genéticos, el mismo problema que enfrentan todos los aspectos de la sociedad moderna. Si nosotros deseamos conservar los recursos genéticos o preservar aunque sea una parte pequeña de la diversidad biológica de la que depende nuestra subsistencia, debemos estabilizar la población mundial, y de hecho, inclusive reducirla. En el corto plazo el reciclado o la reducción del consumo es un paso positivo. Los países ricos industrializados son los más grandes consumidores; por ejemplo, el consumo *per cápita* de energía es seis veces mayor en los Estados Unidos que en México y el consumo de energía en México es 70 veces mayor que en Etiopía (Anónimo, 1994). Estas tasas tan altas de consumo significan que cada nacimiento en los Estados Unidos es equivalente a seis nacimientos en México. Sin embargo, los forestales tienen poco control sobre las políticas que influyen sobre los patrones de crecimiento o consumo de la población.

Una manera en que los forestales pueden reducir la presión sobre los recursos genéticos es mediante el manejo forestal y la silvicultura. Los programas de reforestación y el manejo activo de plantaciones pueden aumentar la productividad a niveles superiores de aquellos obtenidos en el bosque natural. Si las necesidades de productos forestales se pueden satisfacer con unas pocas hectáreas de plantación, entonces el bosque natural puede destinarse para la conservación *in situ* de recursos genéticos, la protección de la diversidad biológica y el disfrute estético. Consideremos los datos estadísticos de Brasil, que tiene 396'000,000 de ha de bosque natural y sólo 6'500,000 ha de plantaciones industriales (sólo 2% de su área forestal total). No obstante, Brasil obtiene 60% de su abasto industrial de madera de sus plantaciones; esto es, 60% de sólo 2% de los terrenos con vocación forestal (Anónimo, 1993). Rocca Calienes (1985) acreditó la introducción de especies de eucalipto de rápido crecimiento (*Eucalyptus globulus* Labill.) en 1973 con una reducción en la tasa de eliminación del bosque nativo en los Andes. Bill Gladstone y yo (Gladstone y Ledig, 1990) presentamos las diferentes maneras en que la silvicultura intensiva ha beneficiado la conservación mediante el aumento en productividad forestal y en el número de empleos. El manejo forestal debe ser parte de cualquier solución a la conservación de la diversidad biológica en general y de los recursos genéticos en particular.

La conservación de recursos genéticos puede ser efectiva a pesar de que se utilice regeneración artificial, si seguimos una regla sencilla: replantar con la fuente local de semilla. La semilla local puede significar la semilla del rodal que se está cosechando, como lo sugerí cuando propuse la creación de Unidades de Manejo de Recursos Genéticos (UMRG), o podría tener una definición más amplia (Ledig, 1988). M. T. Conkle analiza y discute el problema de cómo definir “zonas locales de semilla” en su documento presentado en este volumen. Además de la posible reducción en productividad que resulta del uso de fuentes de semilla no adaptadas, la contaminación de recursos genéticos locales también puede ser un problema. La migración de polen de plantaciones no adaptadas hacia el bosque natural podría incidir negativamente sobre los recursos genéticos mediante depresión exogámica. Independientemente de los límites que se utilicen para zonificar el movimiento de semilla, las fuentes de abastecimiento de semilla se pueden proteger mediante la creación de áreas de producción de semilla (Figura 4). Las áreas de producción de semilla también aumentan la eficiencia de la recolección y, si se seleccionan cuidadosamente, aseguran que la fuente de semilla contenga árboles superiores al promedio de la población.



Figura 4. Área de producción de semilla cerca de El Salto, Durango. Un rodal de árboles bien conformados de *Pinus cooperi* se aclaró para dejar los árboles mejor conformados, de mayor crecimiento, para estimular la producción de semilla y mejorar el acceso para la recolección de conos. Si se establecen suficientes áreas de producción de semilla se asegurará un abasto de semilla local de árboles superiores al promedio de la población.

Es importante reducir la autofecundación y promover la polinización cruzada en las áreas de producción de semilla; Basilio Bermejo y Glenn Furnier presentan en este volumen algunas de las técnicas utilizadas para cuantificar el sistema de apareamiento y controlar el grado de autofecundación. La genética de poblaciones tiene un papel importante en la selección y manejo de áreas de producción de semilla.

En resumen, el uso de un manejo y una silvicultura apropiados, es la clave para la conservación de recursos genéticos en el manejo forestal. De hecho, parte de lo que yo he discutido en párrafos anteriores se podría categorizar como conservación *in situ*.

Conservación *in situ*

Las medidas de conservación que se discuten en este Seminario pueden clasificarse como *in situ* y *ex situ*. *In situ* significa “en el lugar” o “en la posición natural” y *ex situ* significa “fuera de la posición natural”. Los dos métodos tienen su papel y deberían emplearse como partes integrales de una estrategia de conservación.

Los métodos *in situ* se asocian frecuentemente con reservas estrictas; por ejemplo, reservas que protegen el bosque de cualquier uso extractivo. Si el manejo de los recursos genéticos es el objetivo, la conservación *in situ* tiene la ventaja teórica de permitir el cambio evolutivo -- una conservación dinámica a diferencia de la situación estática en la mayoría de las aplicaciones de métodos de conservación *ex situ*. El diseño de un sistema de reservas (por ejemplo: número, tamaño y distribución de reservas) debe tomar en cuenta las características de la historia biológica de las especies en cuestión, la estructura de sus poblaciones, su biología reproductiva y su ecología. Basilio Bermejo y Glenn Furnier describen estos temas, particularmente los aspectos de genética de poblaciones, en sus documentos.

De hecho, las reservas estrictas, tales como los parques nacionales en los Estados Unidos, pueden tener un valor limitado para la conservación de recursos genéticos a menos de que sean lo suficientemente grandes. Muchas especies son típicas de etapas tempranas en la sucesión, forman rodales coetáneos, y no se reemplazan a sí mismos, excepto como resultado de perturbaciones catastróficas, por ejemplo, el caso de las especies de *Populus*. El término actual para la descripción del proceso migración de especies en espacio y tiempo es “dinámica de manchones”. El manejo puede crear condiciones que reduzcan el elemento de aleatoriedad y fomenten el reemplazo de especies deseadas. Por lo tanto, los bosques manejados pueden ser una mejor alternativa de conservación de recursos genéticos *in situ* que las reservas estrictas, aunque esto no significa que las reservas estrictas no tienen su propio valor.

En California, C. I. Millar y R. W. Westfall trabajan con el grupo de bosques nacionales para establecer Unidades de Manejo de Recursos Genéticos (UMRG). En éstas, se permite la cosecha de madera, siempre y cuando se realice en una forma que garantice la protección y perpetuación de los recursos genéticos. El sistema silvícola de cortas de protección es un método de regeneración que permite la cosecha de madera y tiene efectos colaterales mínimos sobre los recursos genéticos.

Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* puede hacerse de muchas formas, tales como bancos de germoplasma, archivos genéticos en campo y almacenamiento de tejidos en instalaciones especiales. Los bancos de semilla son los conductos más familiares para este tipo de conservación. Especies forestales como los pinos tienen semilla que puede almacenarse por períodos largos, quizás un siglo, si se colecta en la etapa apropiada de maduración, se maneja cuidadosamente, se seca a un contenido de humedad bajo y se almacena a temperaturas bajas. El documento presentado por B. S. P. Wang y T. Beardmore menciona los bancos de semilla en forma detallada.

Sin embargo, otras taxa tienen semilla que es recalcitrante y no se almacena bien en el mejor de los casos. Estas especies pueden conservarse *ex situ* en archivos genéticos en el campo. En este caso, los bancos genéticos son simplemente plantaciones para conservar procedencias, familias, o clones específicos. Los ensayos de procedencias y las pruebas de progenie tradicionales pueden servir como archivos genéticos al mismo tiempo que como pruebas de evaluación. Los archivos o bancos clonales, igual que los huertos semilleros, también funcionan como bancos genéticos de campo. El documento de

Barry Jaquish aborda esencialmente el manejo de estos bancos de germoplasma en campo.

Actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías para permitir el almacenamiento, a largo plazo, de tejidos, como es el caso de cultivos de callos o células en suspensión por períodos largos. Sin embargo, aún no se desarrollan las técnicas para muchas especies y las instalaciones son relativamente complejas y caras comparadas con aquellas que se utilizan en el almacenamiento de semilla.

Evaluación

Encerrar simplemente las semillas en un banco de germoplasma o establecer las reservas no es la meta final en la conservación de recursos genéticos. Eso sería algo similar a abastecer una biblioteca con libros pero sin crear nunca un catálogo de ellos o sin permitir que los libros se tomen de los estantes y se lean. Si la información no se puede almacenar y recuperar, o si nadie sabe que ésta existe, entonces el esfuerzo es prácticamente inútil por más que se proteja.

Los bancos de germoplasma de cultivos agrícolas están repletos de accesiones, algunas de las cuales deben duplicarse entre sí. El Laboratorio Nacional de Semilla de los Estados Unidos de América en Fort Collins, Colorado, tiene más de 46,000 accesiones de trigo únicamente; el Instituto Vavilov en Rusia tiene 63,000, y el Instituto Internacional de Investigaciones en Arroz en las Filipinas tiene 83,000 accesiones de arroz (Chang, 1989). Si existe la necesidad de localizar genes de resistencia para una plaga nueva, la selección (esto es, la evaluación) de estas colecciones gigantescas es un problema importante (Spagnoletti y Qualset, 1993). La silvicultura ha seguido un modelo diferente. En el área forestal generalmente hemos comenzado con la evaluación, tales como los ensayos de procedencias, y es hasta ahora cuando se siente la necesidad de iniciar actividades de conservación más formales.

Las pruebas de procedencias y de progenie son ejemplos de lo que ahora se conoce también como estudios de ambiente uniforme o de ambiente común. En la práctica, nosotros hacemos el ambiente tan uniforme como sea posible por medio de prácticas de cultivo y luego acomodamos las procedencias o progenies de acuerdo con un diseño experimental aleatorizado. En este caso se busca eliminar la posibilidad de que el ambiente ocasione sesgos en la estimación de diferencias entre procedencias. El objetivo consiste en promediar a cero cualquier variación ambiental que no pueda controlarse; entonces, por convención, las diferencias restantes son de origen genético. El diseño de las pruebas de procedencias y progenies demanda tanto experiencia estadística como práctica.

Cuando los ensayos se repiten en varios sitios de plantación, la información se aumenta al máximo. Por ejemplo, Csaba Mátyás y Jay Kitzmiller analizaron una serie de ensayos de *Pinus ponderosa* en California y desarrollaron una imagen completa del desempeño de las procedencias en todo un gradiente altitudinal y latitudinal en la Sierra Nevada (Figura 5). Esto se llama la “norma de reacción”.

El documento de Jesús Vargas describe el diseño y análisis de este tipo de pruebas. Un punto importante a recordar es que estas pruebas, si se mantienen y protegen adecuadamente, son en sí mismas un mecanismo para la conservación *ex situ* de los recursos genéticos. Ellas pueden ser un medio para almacenar germoplasma durante un siglo o más, y en algunos casos estos ensayos son el único método de conservación *ex situ* actualmente disponible.

Además de los ensayos clásicos de procedencias y progenies, las técnicas fisiológicas y moleculares desarrolladas recientemente también contribuyen a nuestra capacidad para evaluar la variación genética. Realmente, los marcadores moleculares, tales como isoenzimas, polimorfismos en la longitud de los fragmentos de restricción (RFLP'S), ADN polimórfico amplificado al azar (RAPDS), o las secuencias de ADN proporcionan medios para caracterizar el germoplasma, más que para evaluarlo.

Yo señalo caracterizarlo más bien que evaluarlo, porque comúnmente no sabemos el valor o el papel de estos marcadores en relación con características tales como velocidad de crecimiento y adaptabilidad de los árboles. No obstante, estos marcadores son valiosos en distinguir procedencias, progenies, e incluso individuos, y en proporcionar conocimiento sobre la historia evolutiva reciente.

Los estudios fisiológicos son valiosos para evaluar germoplasma en relación con factores como resistencia a la contaminación, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a sequía y a bajas temperaturas, tolerancia a la inundación y muchos otros factores. El documento de K. H. Johnsen y J. E. Major en este volumen discute el papel de estudios ecofisiológicos en la evaluación de germoplasma.

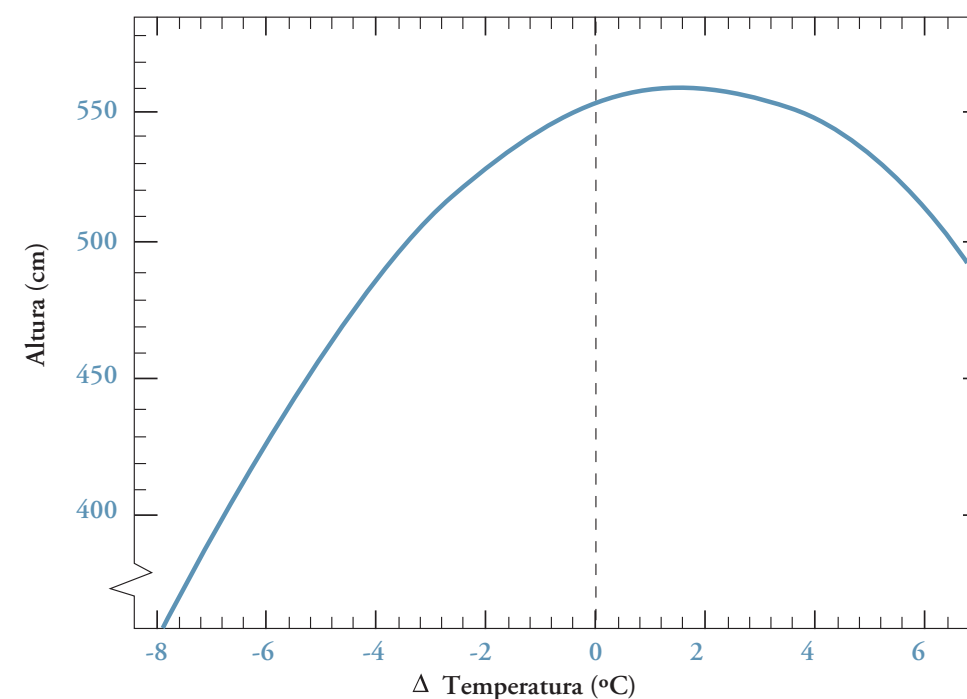


Figura 5. La altura de fuentes de semilla de *Pinus ponderosa* a los 12 años de edad en la Sierra Nevada de California depende de la diferencia entre la temperatura anual promedio en el sitio de plantación y en el sitio de origen de la semilla ($\text{Temp}_{\text{sitio de plantación}} - \text{Temp}_{\text{sitio de origen}}$), ilustrada en esta figura para un índice de sitio de 525 cm. La relación es análoga a una “norma de reacción” para la especie, y se puede aplicar en gradientes latitudinales o altitudinales, o en la escala de variación de micrositos locales para calcular la pérdida en crecimiento asociada con el traslado de semilla (C. Mátyás y J. H. Kitzmiller, análisis inédito).

La evaluación en sí misma crea otro problema, porque genera una gran cantidad de datos rápidamente. Las mediciones de altura, diámetro, fenología, floración, forma del tronco y otras características se deben almacenar en una forma fácilmente recuperable y capaz de análisis o reanálisis conforme aparecen nuevas preguntas o se generan otras técnicas estadísticas disponibles. Pero también deben almacenarse otros datos: los que corresponden al origen y la paternidad de los árboles en la prueba, de la ubicación del germoplasma entre y dentro de sitios de prueba, y de otros factores que Jay Kitzmiller describe en su escrito en este volumen. Obviamente, es necesario analizar cuidadosamente qué tipo de información se debe almacenar y cómo se utilizará dicha información, pero es difícil prever todo. La mejor decisión consiste en almacenar tanta información como sea posible en un formato flexible.

Utilización de recursos genéticos

El valor de los recursos genéticos se mide por el grado en que se usan. La mayoría de la gente piensa en el “uso” desde el punto de vista de cantidades medibles, como volumen de madera y toneladas de pulpa. Yo creo que la diversidad genética tiene valores filosóficos también, y que estos valores se pueden discutir desde el punto de vista de beneficios emocionales e intelectuales. Algunos conservacionistas incluso insistirían en que la diversidad tiene valores que no dependen para nada de un punto de vista antropogénico. Pero nuestro propósito en este Seminario-Taller es hablar de valores económicos básicos; esto es, valores relacionados con el aumento en el nivel de vida en una manera sustentable.

Así, el germoplasma en un banco de semillas o banco clonal tiene valor **potencial**, pero este valor se materializa únicamente cuando estos materiales se ponen en un uso productivo. Para hacer esto, los recursos genéticos algunas veces deben recombinarse en paquetes nuevos, y en todos los casos deben multiplicarse. Los bancos de germoplasma para la conservación de recursos genéticos nunca podrán almacenar el material suficiente para satisfacer todas las necesidades potenciales. Ese no es su propósito. De hecho, esperamos que las colectas del núcleo de conservación nunca se necesiten. Pero cuando es necesario regresar a nuestras colecciones de germoplasma, las semillas deben germinarse y cultivarse en viveros para producir plántulas, o se deben cosechar las semillas de bancos genéticos en el campo, o se deben propagar vegetativamente los clones por medio de enraizado de estacas.

La micropropagación ha extendido nuestra capacidad de multiplicar vegetativamente especies leñosas. La propagación vegetativa ofrece algunas ventajas que la propagación por semilla no tiene (Libby y Rauter. 1984). Un individuo particularmente valioso (un genotipo) puede multiplicarse directamente por propagación vegetativa, mientras que la reproducción sexual produce un conjunto de progenie que se parecerá a los padres pero, en general, retrocederá hacia la media de la población. El documento de María Magallanes aborda las técnicas de propagación clonal que abren posibilidades completamente nuevas para el uso de germoplasma forestal.

Por ahora, sin embargo, muchos de nuestros materiales seleccionados se propagarán por semilla. La calidad genética de esta semilla es importante y de hecho es el tema principal de este Seminario-Taller. Sin embargo, no podemos descuidar la influencia del ambiente al momento de utilizar los recursos genéticos forestales. En el pasado, éstos se han utilizado en una forma incorrecta. Un árbol es el resultado de una **interacción** entre el genotipo y el ambiente, un tema que se discute en el documento de Jim Jenkinson en este volumen. El Dr. Jenkinson recibió el prestigioso Premio Honorífico del U.S.D.A. y el Premio Francis H. Raymond por su trabajo sobre métodos óptimos de siembra, producción y extracción de planta por fuente de semilla y fechas de plantación adecuadas, como componentes clave del éxito en el establecimiento de plantaciones. Su trabajo condujo a ahorros de varios millones de dólares tan sólo en California. Su documento sobre la producción de planta en vivero es la culminación de por lo menos dos décadas de experiencia. Considerados en forma conjunta, todos estos documentos constituyen un libro sobre el manejo de recursos genéticos. Si se aplican correctamente, deben facilitar al lector definir la estrategia más adecuada y útil para conservar y usar la riqueza de recursos genéticos forestales de México para satisfacer sus esfuerzos de reforestación a largo plazo.

Literatura citada

- Anónimo. 1989. Mexico's natural resources reviewed. *ISTF News* (International Society of Tropical Foresters) 10(3): 2.
- Anónimo. 1993. Plantation area reviewed. *ISTF News* (International Society of Tropical Foresters) 14(3): 2.
- Anónimo. 1994. The demographic facts of life. *ZPG Reporter* (Zero Population Growth) 26(3): 3.
- Chang, T.T. 1989. The case for large collections, *In*: A.H.D. Brown, O.H. Frankel, D.R. Marshall, and J.T. Williams (eds.), *The use of plant genetic resources*. Cambridge University Press, Cambridge. pp: 123-135
- Farnsworth, N.R. and D.D. Soejarto. 1985. Potential consequences of plant extinction in the United States on the current and future availability of prescription drugs. *Economic Bot.* 39: 231-240.
- Gladstone, W.T. and F.T. Ledig. 1990. Reducing pressure on natural forests through high-yield forestry. *For. Ecol. Manage.* 35: 69-78.
- Kinloch, B.B. 1992. Distribution and frequency of a gene for resistance to white pine blister rust in natural populations of sugar pine. *Can. J. Bot.* 70: 1319-1323.
- Ledig, F.T. 1988. The conservation of diversity in forest trees. *BioScience* 38: 471-479.
- Ledig, F.T. 1991. The role of genetic diversity in maintaining the global ecosystem, *In*: *Proceedings of the Tenth World Forestry Congress, Paris, 1991*. Vol. 2 *Revue Forestière Française*, Nancy, France. pp: 71-78.
- Ledig, F.T. 1992. A comprehensive strategy for the conservation of forest genetic resources, *In*: *New horizons in agricultural sciences: Proceedings of the First International Symposium on the Development of Natural Resources and Environmental Preservation, October 13-18, 1992*. Institute of Natural Resources, Korea University, Seoul, Korea. pp: 325-344.
- Ledig, F.T. 1993. Secret extinctions: the loss of genetic diversity in forest ecosystems, *In*: M.A. Fenger, E.H. Miller, J.A. Johnson, E.J.R. Williams (eds.), *Our living legacy: Proceedings of a symposium on biological diversity*. Royal British Columbia Museum, Victoria, British Columbia. pp: 127-140.
- Ledig, F.T. and J.H. Kitzmiller. 1992. Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *For. Ecol. Manage.* 50: 153-169.
- Libby, W.J. and R.M. Rauter. 1984. Advantages of clonal forestry. *For. Chron.* 60(3): 145-149.

- Little, E.L., Jr. 1979. Checklist of United States trees (native and naturalized). Agricultural Handbook No. 541, U.S.D.A., Forest Service, Washington, DC. 375 p.
- Naeem, S., L.J. Thompson, S.P. Lawler, J.H. Lawton, and R.M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368: 734-737.
- Office of Technology Assessment. 1984. Technologies to sustain tropical forest resources. OTA-F-214. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Washington, DC. 344 p.
- Ortega y Gasset, J. 1914. *Meditaciones del Quijote*. Publicaciones Residencia de Estudios, series II, Vol. 1, Madrid.
- Reid, W.V. 1993. Bioprospecting: a force for sustainable development. *Environmental Sci. Technol.* 27: 1730-1732.
- Rocca Caliennes, L. 1985. Introducción de *Eucalyptus globulus* en la Sierra Peruana, *In*: R. Salazar (ed.), *Actas de los simposios sobre técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp: 153-160.
- Shoup, L.H. and S. Baker. 1981. Speed power, production, and profit: railroad logging in the Gooseneck District, Klamath National Forest 1900-1956. Prepared in fulfillment of U.S. Forest Service Contract No. 00-91W8-0-1911. Klamath National Forest, Yreka, California. 202 p.
- Spagnoletti Z., P.L. and C.O. Qualset. 1993. Evaluation of five strategies for obtaining a core subset from a large genetic resource collection of durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 87: 295-304.