

Forest Genetic Resources

Basic Knowledge

Módulos relacionados

- [Agroforestería](#)
- [Aprovechamiento maderero](#)
- [Material forestal reproductivo](#)
- [Productos forestales no madereros](#)
- [Restauración de bosques](#)



Este módulo se destina a los gestores de bosques y de las áreas de conservación, silvicultores, restauradores ecológicos y demás actores que participan en la gestión y la conservación de los recursos arbóreos, o que trabajan con materiales de propagación forestal. El módulo proporciona información sobre la gestión y la conservación de los recursos genéticos forestales, además de enlaces a otros materiales de utilidad.



Este módulo se destina a los gestores de bosques y de las áreas de conservación, silvicultores, restauradores ecológicos y demás actores que participan en la gestión y la conservación de los recursos arbóreos, o que trabajan con materiales de propagación forestal. El módulo proporciona información sobre la gestión y la conservación de los recursos genéticos forestales, además de enlaces a otros materiales de utilidad.

¿Qué son los recursos genéticos forestales?

Los recursos genéticos forestales (RGF) son el material hereditario que se encuentra dentro de y entre las especies de plantas leñosas y árboles (FAO, 2014a). Los RGF son la base de la capacidad de adaptación que ha permitido a los árboles, en términos de evolución, figurar entre los tipos de organismos más triunfadores del planeta. La práctica de la conservación genética no se basa en la conservación de todas las variantes genéticas (o "*genotipos*"), lo que sería imposible dado que los individuos de las especies que se reproducen sexualmente son genéticamente únicos. En cambio, su objetivo es conservar el potencial evolutivo de las especies, es decir, garantizar la persistencia y el funcionamiento de aquellos procesos que dan forma y que mantienen la diversidad genética. Los esfuerzos de conservación se pueden enfocar también en la conservación de algunos rasgos particulares (características) de las especies de plantas leñosas y árboles, por ejemplo, la resistencia ante plagas, enfermedades o sequías.

Con frecuencia, en la planificación e implementación de la gestión forestal no se presta suficiente atención a los recursos genéticos; sin embargo, su conservación es fundamental para la sostenibilidad. Es esencial, por tanto, que los gestores forestales comprendan hasta qué punto dejar de lado aspectos genéticos podría dificultar el logro de las metas de la gestión forestal.

¿Qué son los recursos genéticos forestales?

Los recursos genéticos forestales (RGF) son el material hereditario que se encuentra dentro de y entre las especies de plantas leñosas y árboles (FAO, 2014a). Los RGF son la base de la capacidad de adaptación que ha permitido a los árboles, en términos de evolución, figurar entre los tipos de organismos más triunfadores del planeta. La práctica de la conservación genética no se basa en la conservación de todas las variantes genéticas (o "*genotipos*"), lo que sería imposible dado que los individuos de las especies que se reproducen sexualmente son genéticamente únicos. En cambio, su objetivo es conservar el potencial evolutivo de las especies, es decir, garantizar la persistencia y el funcionamiento de aquellos procesos que dan forma y que mantienen la diversidad genética. Los esfuerzos de conservación se pueden enfocar también en la conservación de algunos rasgos particulares (características) de las especies de plantas leñosas y árboles, por ejemplo, la resistencia ante plagas, enfermedades o sequías.

Con frecuencia, en la planificación e implementación de la gestión forestal no se presta suficiente atención a los recursos genéticos; sin embargo, su conservación es fundamental para la sostenibilidad. Es esencial, por tanto, que los gestores forestales comprendan hasta qué punto dejar de lado aspectos genéticos podría dificultar el logro de las metas de la gestión forestal.

¿Por qué son importantes los recursos genéticos forestales?

Los árboles –tanto dentro de una misma especie como entre ellas– son diferentes en cuanto a índices de crecimiento, forma del tronco, producción de semillas, tolerancia a plagas, sequías, calor, salinidad y toxicidad de metales pesados; además de muchas otras características. La capacidad de adaptación que tienen los árboles ante los cambios medioambientales depende del nivel de variabilidad genética presente en sus "*rasgos adaptativos*", es decir, aquellas características que confieren tolerancia o resistencia a nuevos desafíos medioambientales.

La mayoría de los árboles tiene altos niveles de diversidad genética, lo que ofrece un potencial enorme (y en gran parte no explotado) para mejorar los productos arbóreos, entre otros, alimentos, fibras, madera maciza y forraje, además de aumentar el suministro de servicios ambientales (p.ej., regulación del suministro hídrico y secuestro de carbono). Los programas de selección y de mejora de árboles tratan de sacar ventajas de la variabilidad genética a fin de mejorar los rasgos más valiosos. Estos programas tienen potencial de lograr las mismas mejoras espectaculares en la producción forestal que se han logrado en el cultivo de alimentos. Sin embargo, el tiempo necesario para estas mejoras es mayor para los árboles que para la mayoría de cultivos agrícolas, debido al inicio tardío de la reproducción sexual en los árboles y a su longevidad. Es fundamental, entonces, evaluar, conservar, ensayar y utilizar la diversidad genética para garantizar la producción futura de bienes y de servicios ambientales suministrados por los árboles.

Diversidad genética de los árboles forestales

En todas las especies, la diversidad genética se origina como mutaciones en el código genético, (ácido desoxirribonucleico – ADN).

Mientras la mayoría de estos cambios son nocivos y se eliminan rápidamente a través de la selección natural, los cambios benéficos pueden conferir ventajas selectivas a los individuos portadores de los genes mutados. De tal forma, los portadores de genes benéficos tienen mayores niveles de “forma física” (es decir, son capaces de producir una mayor cantidad de descendientes sobrevivientes) y se adaptan mejor a sus condiciones medioambientales, si se les compara con los individuos que no portan esos genes.

El flujo de genes —a través del polen y el movimiento de semillas, dentro y entre las poblaciones de árboles— mantiene la diversidad genética. En general, las poblaciones numerosas mantienen una mayor diversidad genética que las pequeñas, mientras el tamaño reducido y el aislamiento de éstas restringen la diversidad genética. La distancia de otras poblaciones de la misma especie, o las barreras físicas que impiden el movimiento de los polinizadores o la dispersión de las semillas en el paisaje, pueden producir este aislamiento.

La adaptación a las condiciones —mientras éstas varían a lo largo de gradientes ambientales— mantiene la diversidad genética entre poblaciones de árboles distintas y superpuestas. Es importante, en ese sentido, comprender los modelos de variabilidad en los rasgos adaptativos para escoger las fuentes de semillas disponibles para la plantación.

La mayoría de las especies arbóreas es producto de la polinización cruzada, es decir:

- las flores de un árbol generalmente son polinizadas por otro árbol;
- responden ineficazmente a la endogamia (es decir, a reproducirse entre parientes cercanos);
- tienen una alta diversidad genética en relación con muchas otras especies.

En su estado natural, por tanto, la mayoría de las especies arbóreas tiene un potencial enorme tanto para la adaptación a los cambios ambientales como para el mejoramiento genético en sus rasgos productivos, aumentando por tanto su utilidad para la gente.

Los recursos genéticos forestales contribuye a los ODS:





¿Por qué son importantes los recursos genéticos forestales?

Los árboles –tanto dentro de una misma especie como entre ellas– son diferentes en cuanto a índices de crecimiento, forma del tronco, producción de semillas, tolerancia a plagas, sequías, calor, salinidad y toxicidad de metales pesados; además de muchas otras características. La capacidad de adaptación que tienen los árboles ante los cambios medioambientales depende del nivel de variabilidad genética presente en sus “*rasgos adaptativos*”, es decir, aquellas características que confieren tolerancia o resistencia a nuevos desafíos medioambientales.

La mayoría de los árboles tiene altos niveles de diversidad genética, lo que ofrece un potencial enorme (y en gran parte no explotado) para mejorar los productos arbóreos, entre otros, alimentos, fibras, madera maciza y forraje, además de aumentar el suministro de servicios ambientales (p.ej., regulación del suministro hídrico y secuestro de carbono). Los programas de selección y de mejora de árboles tratan de sacar ventajas de la variabilidad genética a fin de mejorar los rasgos más valiosos. Estos programas tienen potencial de lograr las mismas mejoras espectaculares en la producción forestal que se han logrado en el cultivo de alimentos. Sin embargo, el tiempo necesario para estas mejoras es mayor para los árboles que para la mayoría de cultivos agrícolas, debido al inicio tardío de la reproducción sexual en los árboles y a su longevidad. Es fundamental, entonces, evaluar, conservar, ensayar y utilizar la diversidad genética para garantizar la producción futura de bienes y de servicios ambientales suministrados por los árboles.

Diversidad genética de los árboles forestales

En todas las especies, la diversidad genética se origina como mutaciones en el código genético, (ácido desoxirribonucleico – ADN). Mientras la mayoría de estos cambios son nocivos y se eliminan rápidamente a través de la selección natural, los cambios benéficos pueden conferir ventajas selectivas a los individuos portadores de los genes mutados. De tal forma, los portadores de genes benéficos tienen mayores niveles de “forma física” (es decir, son capaces de producir una mayor cantidad de descendientes sobrevivientes) y se adaptan mejor a sus condiciones medioambientales, si se les compara con los individuos que no portan esos genes.

El flujo de genes –a través del polen y el movimiento de semillas, dentro y entre las poblaciones de árboles– mantiene la diversidad genética. En general, las poblaciones numerosas mantienen una mayor diversidad genética que las pequeñas, mientras el tamaño reducido y el aislamiento de éstas restringen la diversidad genética. La distancia de otras poblaciones de la misma especie, o las barreras físicas que impiden el movimiento de los polinizadores o la dispersión de las semillas en el paisaje, pueden producir este aislamiento.

La adaptación a las condiciones –mientras éstas varían a lo largo de gradientes ambientales– mantiene la diversidad genética entre poblaciones de árboles distintas y superpuestas. Es importante, en ese sentido, comprender los modelos de variabilidad en los rasgos adaptativos para escoger las fuentes de semillas disponibles para la plantación.

La mayoría de las especies arbóreas es producto de la polinización cruzada, es decir:

- las flores de un árbol generalmente son polinizadas por otro árbol;
- responden ineficazmente a la endogamia (es decir, a reproducirse entre parientes cercanos);
- tienen una alta diversidad genética en relación con muchas otras especies.

En su estado natural, por tanto, la mayoría de las especies arbóreas tiene un potencial enorme tanto para la adaptación a los cambios ambientales como para el mejoramiento genético en sus rasgos productivos, aumentando por tanto su utilidad para la gente.

Los recursos genéticos forestales contribuye a los ODS:



Módulos relacionados

- [Agroforestería](#)
- [Aprovechamiento maderero](#)

- [Material forestal reproductivo](#)
- [Productos forestales no madereros](#)
- [Restauración de bosques](#)

In more depth

¿Cómo se mide la diversidad genética?

Se puede medir la variación genética en los rasgos de los árboles con la ayuda de ensayos de campo, a fin de permitir la separación de la genética de los efectos ambientales con auxilio de análisis estadísticos adecuados. En este sentido, ya se han realizado ensayos de procedencia y de progenie para muchas especies utilizadas en plantaciones comerciales. En los ensayos de procedencia, se plantan las semillas recopiladas de muchas especies arbóreas individuales en una población, a fin de aumentar la comprensión de la variación en gran escala entre las diferentes ubicaciones en el amplio ámbito geográfico de una especie, e identificar las fuentes de semilla más disponibles para la plantación en sitios específicos. Por su lado, los ensayos de progenie se utilizan para determinar la variación hereditaria en los rasgos útiles y para identificar a las especies arbóreas individuales que sobresalen.

Si bien, en general, se utiliza el término “*diversidad genética*” para indicar la variación genética en los rasgos, este concepto se refiere también a la variabilidad a nivel del ADN que se puede o no asociar a diferencias mensurables en dichos rasgos. Con mayor frecuencia, se mide la diversidad genética utilizando marcadores moleculares que se suponen neutrales respecto de la selección. El poder de las herramientas genéticas moleculares ha tenido grandes avances en los últimos años, a la par de la reducción de sus costos. Sin embargo, hasta la fecha, se desconocen las asociaciones potenciales entre los marcadores moleculares y los rasgos de interés para los fitogenetistas. De tal forma, se siguen necesitando ensayos de campo para calcular la variación genética en los rasgos de interés para la adaptación a las condiciones ambientales en continuo cambio y para mejorar los productos arbóreos.

¿Cómo se mide la diversidad genética?

Se puede medir la variación genética en los rasgos de los árboles con la ayuda de ensayos de campo, a fin de permitir la separación de la genética de los efectos ambientales con auxilio de análisis estadísticos adecuados. En este sentido, ya se han realizado ensayos de procedencia y de progenie para muchas especies utilizadas en plantaciones comerciales. En los ensayos de procedencia, se plantan las semillas recopiladas de muchas especies arbóreas individuales en una población, a fin de aumentar la comprensión de la variación en gran escala entre las diferentes ubicaciones en el amplio ámbito geográfico de una especie, e identificar las fuentes de semilla más disponibles para la plantación en sitios específicos. Por su lado, los ensayos de progenie se utilizan para determinar la variación hereditaria en los rasgos útiles y para identificar a las especies arbóreas individuales que sobresalen.

Si bien, en general, se utiliza el término “*diversidad genética*” para indicar la variación genética en los rasgos, este concepto se refiere también a la variabilidad a nivel del ADN que se puede o no asociar a diferencias mensurables en dichos rasgos. Con mayor frecuencia, se mide la diversidad genética utilizando marcadores moleculares que se suponen neutrales respecto de la selección. El poder de las herramientas genéticas moleculares ha tenido grandes avances en los últimos años, a la par de la reducción de sus costos. Sin embargo, hasta la fecha, se desconocen las asociaciones potenciales entre los marcadores moleculares y los rasgos de interés para los fitogenetistas. De tal forma, se siguen necesitando ensayos de campo para calcular la variación genética en los rasgos de interés para la adaptación a las condiciones ambientales en continuo cambio y para mejorar los productos arbóreos.

La conservación de los recursos genéticos forestales

Los RGF se pueden conservar internamente (*in situ*) o fuera del hábitat natural de una especie (*ex situ*), en bancos de genes. De ambos métodos, la opción más preferida es la conservación *in situ*, ya que permite la continuidad de los procesos evolutivos naturales por medio de la adaptación a las condiciones en continuo cambio. Sin embargo, se requiere la conservación *ex situ* en presencia de amenazas a las poblaciones de especies en estado silvestre. Muchos países y algunas organizaciones internacionales mantienen bancos de semillas de árboles forestales; sin embargo, las adhesiones se limitan, en general, a especies con semillas “ortodoxas”. Muchas especies arbóreas de las zonas tropicales húmedas en particular, por ejemplo los bosques de dipterocarpaceas del sudeste asiático, son “recalcitrantes” (lo opuesto de ortodoxo, en este sentido), es decir, que sus semillas no se pueden almacenar en bancos, bajo las condiciones convencionales, sin que pierdan rápidamente la viabilidad. Se han establecido bancos de genes vivos (parcelas de árboles plantados a fin de conservar la diversidad genética) para algunas especies; sin embargo, se requiere enormes espacios y se deben cuidar durante períodos de tiempo enormes.

La conservación de los RGF *in situ* es compatible con el uso sostenible, siempre que se tomen en cuenta, explícitamente, consideraciones genéticas para la gestión forestal. Las áreas protegidas que se han establecido para otros fines podrían no conservar eficazmente los recursos genéticos de especies arbóreas prioritarias. Por tanto, a veces los RGF se pueden conservar con mayor eficacia en los bosques manejados que en las áreas protegidas. Las reservas genéticas establecidas específicamente para conservar los RGF, por ejemplo las de los países europeos monitoreados por el [Programa europeo de recursos genéticos forestales](#) (EUFORGEN), son ideales. Sin embargo, pocos países cuentan con este tipo de reservas.

Entre las consideraciones clave para la conservación de la diversidad genética forestal se incluyen:

- mantener poblaciones de tamaño suficiente, a fin de promover el cruce entre diferentes individuos sin vínculos de parentesco y mantener la variación genética en las poblaciones;
- asegurar el funcionamiento de los procesos genéticos que influyen en la diversidad, por ejemplo, el flujo genético y la selección natural, y reducir al mínimo la deriva genética que produce la pérdida de alelos (formas alternativas de genes) por medio de errores de muestreo de generación en generación.

El tamaño efectivo de la población es un concepto importante para la gestión y la conservación de la diversidad genética, ya que es un indicador de los problemas genéticos potenciales mucho más preciso que el censo sobre el tamaño de la población (el número actual de individuos) y es casi siempre menor. El tamaño efectivo de la población corresponde al tamaño del censo si:

- la población tiene un número igual de machos y hembras, todos ellos reproduciéndose a un ritmo que varía no más que por casualidad;
- el apareamiento tiene igual probabilidad para cada dos individuos y se realiza al azar;
- el número de individuos que se reproducen se mantiene constante de generación en generación y sólo una generación tiene edad reproductiva en cualquier momento.

El tamaño efectivo de una población de especies arbóreas, con toda probabilidad, será siempre considerablemente menor que el tamaño del censo de población ya que, incluso en presencia de cualesquiera otras condiciones, los largos ciclos de vida de los árboles producen generaciones que se superponen entre sí. La probabilidad de endogamia y la pérdida aleatoria de alelos aumenta con la disminución del tamaño efectivo de la población. La endogamia, en particular la autopolinización (su forma más extrema), es nociva para la mayoría de especies arbóreas, ya que en general es portadora de altas cargas genéticas de alelos recesivos deletéreos. La primera expresión de la endogamia es en general la fertilidad reducida; con toda probabilidad, los plantones y plántulas endogámicos probablemente mostrarán bajos índices de crecimiento y menor resistencia ante ataques bióticos y abióticos.

El tamaño efectivo de la población se reduce, en relación con el tamaño del censo, al aumentar el nivel de parentesco en una población. Por tanto, cuanto menor es el tamaño efectivo de la población (comparado con el tamaño del censo), mayor será el área requerida para la conservación.

El análisis de las amenazas a los recursos genéticos y la priorización de especies y poblaciones son pasos importantes para elaborar las estrategias de conservación para los RGF. Algunas de las amenazas más graves, a nivel mundial, son la sobreexplotación, el pastoreo del ganado, la expansión agrícola y el cambio climático.

La mayoría de las actividades de conservación de los RGF hasta la fecha se ha realizado *in situ*, mientras la conservación de los recursos genéticos de los cultivos agrícolas se realiza en general *ex situ*. Con pocas excepciones, las especies arbóreas son todavía silvestres y, por lo tanto, para capturar la variabilidad de un conjunto de procedencias de una especie arbórea se requieren muestras de población mucho más amplias de las que serían necesarias para capturar la diversidad de un número similar de variedades de cultivos. Lo ideal sería que las estrategias de conservación de los RGF combinaran reservas genéticas (concebidas específicamente para conservar los recursos genéticos de especies objetivo) con prácticas de gestión forestal bien definidas, a fin de garantizar que se mantenga el potencial evolutivo de las especies arbóreas valiosas y a riesgo. La implementación de estas estrategias implicaría un cambio en los paradigmas de conservación y requeriría la consolidación de la capacidad entre una gran variedad de actores.

Consideraciones genéticas clave para la gestión de los recursos forestales en los bosques naturales

Es factible conservar los recursos genéticos mientras se cosechan productos madereros y no madereros, pero hay que planificar la gestión con cuidado para evitar repercusiones negativas. La mayoría de las prácticas y orientaciones para la gestión sostenible no toma en cuenta explícitamente el papel de los recursos genéticos en la sostenibilidad a largo plazo.

El tipo de producto cosechado, y la forma en que se recolecta, son aspectos cruciales. La extracción de los productos madereros mata a los árboles, pero en general se realiza una vez que éstos han alcanzado su madurez reproductiva y han esparcido sus semillas. La extracción de frutas, cortezas y hojas afecta a los árboles de diferentes formas, con un grado de impacto sobre los recursos genéticos estrechamente relacionado a la intensidad de la cosecha. Durante la recolección de frutas es inusual que se dañen los árboles, a menos que se corten ramas o árboles en plantaciones de una sola cosecha. Sin embargo, si toda la producción de frutas se extrae año tras año, habrá poca o nula regeneración. A su vez, la extracción de cortezas, si es demasiado intensiva, puede ser tan destructiva como la tala.

Aunque se empleen prácticas de aprovechamiento forestal de bajo impacto, la tala puede generar una grave reducción de la diversidad genética, con impactos asociados sobre la adaptabilidad y la persistencia a largo plazo de una especie. La tala selectiva reduce la

densidad de la población y, por tanto, la distancia entre los árboles de grandes dimensiones –que probablemente contribuyen más que los árboles pequeños a la reproducción en la población–. En dependencia de la especie, los polinizadores podrían tener menos probabilidades de desplazarse entre árboles que tienen grandes distancias entre sí, lo que podría producir altos niveles de autopolinización. Aún es incompleto el conocimiento sobre la reproducción, los polinizadores y la genética de muchas especies arbóreas y, por tanto, podría ser difícil prescribir regímenes de cosecha que no reduzcan la capacidad de reproducción de una población arbórea.

Otro aspecto importante podrían ser los estadios sucesivos de las especies cosechadas. Incluso cuando se establecen límites de diámetros para asegurar que los árboles talados hayan superado abundantemente la edad de reproducción inicial, la regeneración no está garantizada dado que depende de las exigencias de luz de los plantones y plántulas y de sus correspondientes condiciones en la masa boscosa. Las especies que necesitan luz no se regeneran bajo la sombra. El banco de semillas en el suelo es eficaz sólo para las semillas que se mantienen viables durante períodos extensos, y esto no sucede con muchas especies arbóreas: incluso si se desbroza el dosel forestal durante la tala para permitir el acceso a suficiente luz, podría no haber semillas disponibles para establecer la regeneración. Estas consideraciones demuestran que la conservación eficaz de los RGF entraña la comprensión de la biología y la ecología reproductivas de la especie. Las especies pueden tener diferentes exigencias para una regeneración adecuada, y estas diferencias se deben tomar en cuenta para asegurar la adaptabilidad y la persistencia a largo plazo de las especies afectadas y la conservación eficaz de los RGF.

La selección disgénica –en la cual la cosecha produce (involuntariamente) un cambio direccional no deseado en la calidad genética en una o más generaciones– ha estado preocupando por mucho tiempo a los gestores forestales. La idea dominante es que la remoción de los árboles de mejor calidad (por ejemplo, en términos de su forma o índice de crecimiento), dejando el resto de árboles, produciría cambios genéticos en rasgos importantes, aumentando las contribuciones reproductivas relativas de los árboles de menor calidad. Esto ocurriría con mayor probabilidad en los árboles intolerantes a la sombra porque tienden a producir una menor regeneración al tiempo de la cosecha. Sin embargo, el grado hasta el cual esto sea un problema está abierto al debate y es necesario mayor conocimiento al respecto.

Consideraciones genéticas para el establecimiento de bosques plantados

La plantación de árboles se realiza por muchas razones que van desde la producción maderera en pequeña escala e industrial, a la restauración del paisaje, hasta la conservación y la agrosilvicultura. Independientemente del propósito, se necesita un suministro suficiente de semillas (o de alguna otra forma de propágulo) con alta calidad fisiológica y genética. La mayoría de las plantaciones industriales utiliza material genéticamente mejorado y cuenta con una cadena de suministro de semillas bien establecida; para muchas otras plantaciones, sin embargo, el material de propagación se obtiene del entorno silvestre.

Hay tres consideraciones fundamentales relacionadas con la calidad genética al abastecerse de semillas del medio silvestre, y su importancia cambia en dependencia del propósito de la plantación:

1. La fuente de semillas debe estar bien adaptada al sitio de la plantación – esto no significa utilizar, necesariamente, semillas geográficamente cercanas al sitio establecido, ya que otros factores podrían reducir la conveniencia de dicho material.
2. Las semillas deben provenir de un número suficiente de árboles para garantizar su diversidad genética.
3. Los árboles que suministran las semillas no deben estar estrechamente relacionados para evitar la recolección de semillas endógenas.

En varias regiones del mundo, algunas iniciativas ambiciosas de restauración están en una etapa temprana de implementación; sin embargo, en muchos casos, la planificación del suministro de semillas deja mucho que desear. Si bien la restauración tiene muchos objetivos y métodos posibles, los bosques restaurados deberían ser autosostenibles, es decir, que la restauración de las funciones ecosistémicas debería ser lo suficiente para asegurar la reproducción y la regeneración continuas de las especies arbóreas deseadas. Para esto es necesario poner atención a las características genéticas de las fuentes de semillas para asegurar que el material de propagación esté bien adaptado a las condiciones del sitio y sea lo suficientemente diversificado para permitir la adaptación a las condiciones en continuo cambio, por medio de la selección natural.

La mejor forma de asegurar que las fuentes de semillas se adaptan bien a los sitios de la plantación es realizar ensayos de procedencia en los ensayos de campo que cubran la amplia gama de condiciones ambientales encontradas en las áreas de restauración seleccionadas. Si se carece de datos sobre los ensayos de procedencia y el tiempo no permite ensayos en los sitios que serán establecidos, otra buena opción es abastecerse de semillas de las localidades que tienen condiciones ambientales similares a las de las áreas de restauración seleccionadas (véase también [Material forestal reproductivo](#)).

Problemas asociados con la recolección de semillas de poblaciones pequeñas

Si una población de árboles está aislada y ha consistido de un pequeño número de árboles reproductivos durante varias generaciones, el tamaño efectivo de la población probablemente es mucho menor que el del censo de población. Por tanto, dicha población puede haber

estado sujeta a desviación genética y los árboles se han ido cruzando cada vez más en cada generación, produciendo endogamia.

Cualquier individuo obtenido con la reproducción sexual recibe mitad de su ADN de cada uno de sus dos progenitores. El grado hasta el cual los alelos recibidos de cada uno de los progenitores son los mismos, es una medida de la “homocigosidad” de un individuo –cuanto más estrechamente estén relacionados los progenitores, mayor será la homocigosidad de la descendencia–. De tal forma, un resultado de la endogamia es una homocigosidad mayor de la prevista, que puede ser nociva debido a la acumulación de alelos deletéreos que no fueron eliminados por medio de la selección natural. Por otro lado, una alta heterocigosidad (es decir, el grado hasta el cual difieren los alelos de un gene determinado, recibidos de dos progenitores) parece estar asociada positivamente con la supervivencia, crecimiento y capacidad reproductiva en algunas especies arbóreas. De ser posible, por lo tanto, las semillas para fines de plantación no se deberían recolectar en poblaciones con menos de 500 individuos reproductivamente maduros.

Si se recolecta semillas de un número reducido de árboles en un sitio, incluso si la población es grande, estas semillas representarán una pequeña muestra de la diversidad genética disponible y el bosque plantado final, si no se utilizan fuentes adicionales de semillas, presentará menor diversidad genética que la población original. En este caso, estaríamos en presencia de un cuello de botella genético que podría llevar a la endogamia y a la pérdida del potencial de adaptación en las generaciones sucesivas. El efecto cuello de botella estaría exacerbado por la variabilidad de la producción de semilla entre los árboles fuente, lo que reduciría ulteriormente el tamaño efectivo de la población original. El problema se agravaría ulteriormente si los árboles plantados se utilizan después como fuentes de germoplasma para futuras plantaciones.

Frente a una hipotética recolección de semillas que utiliza diferentes fuentes, se debería diseñar e implementar muy bien un sistema apropiado de distribución de la diversidad genética a los sitios de plantación (que podrían ser pequeños y estar esparcidos en todo el paisaje). No es una cuestión trivial asegurar que el material de propagación es variado y está bien adaptado a los sitios de plantación: rangos de medidas desde el monitoreo molecular de las poblaciones, material de vivero y árboles establecidos para garantizar que el sistema está funcionando bien en cada etapa, hasta encuestas sencillas y de fácil aplicación sobre la variabilidad de la producción de semillas, los índices de germinación y la supervivencia y vigor de los árboles después de la plantación.

Consideraciones genéticas clave para la gestión de los árboles fuera del bosque

A la par de la reducción de las áreas de bosques intactos y de la expansión del terreno agrícola, aumenta también la exigencia de manejar la diversidad genética de los árboles en los paisajes agrícolas. La conservación genética in situ, en las áreas protegidas y en los bosques manejados, no incluye las poblaciones confinadas a paisajes principalmente agrícolas –árboles plantados por productores o mantenidos en sistemas agroforestales y manchones naturales–. Asimismo, la conservación ex situ en las zonas tropicales excluye muchas especies arbóreas valiosas debido a la dificultad y a los costos incurridos para el almacenamiento de semillas de árboles tropicales. La conservación de los RGF por medio de su utilización en las explotaciones agrícolas, donde los árboles pueden crecer fuera de sus hábitats naturales pero dentro de sus rangos naturales, tiene potencialmente una importante función complementaria. La supervivencia a largo plazo de algunas especies (p.ej., las especies agroforestales de la sabana de África subsahariana) podría depender de la adecuada gestión de sus recursos genéticos en los paisajes agrícolas.

En la conservación de los RGF en los paisajes agrícolas, un aspecto importante es la fragmentación de las poblaciones arbóreas y los efectos de esta fragmentación en el flujo de genes y en la viabilidad de la población. Si la regeneración se ve amenazada por un flujo inadecuado de genes dentro y entre las poblaciones arbóreas, esas poblaciones podrían desaparecer al morir los árboles maduros. Por otro lado, algunas especies arbóreas están adaptadas a bajas densidades de población y, en algunos casos, el flujo de genes podría estar incluso impulsado por un aumento del espacio abierto entre árboles. La clave para la conservación de los RGF en los paisajes agrícolas, por tanto, es comprender la biología y ecología reproductiva de las especies, incluyendo sus sistemas de apareamiento y sus modelos de polinización, que constituyen barreras para el flujo de genes, y las consecuencias potenciales de los cambios en la matriz del paisaje.

Las generalizaciones están abiertas al debate: una opinión extrema es que los árboles aislados en los paisajes agrícolas son “*muertos en pie*”, sin perspectivas aparentes de reproducción. Sin embargo, en muchas especies arbóreas se han observado la polinización a distancia y eventos de dispersión de semillas; en algunos casos, también la regeneración se da de forma natural en leguminosas cuando las condiciones son favorables (en vez de continuativamente). De tal forma, los árboles relativamente aislados podrían ser importantes como depósitos de genes y como trampolines para mantener el flujo de genes, al menos para algunas especies.

Cuando la fragmentación del paisaje obstaculiza el flujo de genes, se puede llegar a la endogamia que, a su vez, puede reducir el rendimiento de las semillas y el vigor de las plántulas. Por ejemplo, las especies de árboles frutales dioicos (es decir, árboles que producen sólo flores de sexo femenino o masculino, pero no de ambos sexos) que darán pésimos resultados en los sistemas agroforestales, porque no son productivas (es decir, no producen frutos porque carecen de órganos reproductivos femeninos), se deberían reducir enormemente por medio de la reducción del tamaño efectivo de la población, llevando al aumento de la endogamia en las generaciones sucesivas. Por otro lado, cuando se sabe que es necesaria la polinización cruzada para la producción de frutas, los productores estarán probablemente

más dispuestos a mantener la conectividad, aumentando de esta forma las perspectivas para una conservación genética eficaz. En general, la importancia de la conservación de la diversidad genética podría ser más obvia en los paisajes agrícolas que en los bosques intactos, simplemente porque los productores reconocen la utilidad de los árboles.

Si bien los árboles productivos se pueden mantener en los paisajes agroforestales, la regeneración podría estar limitada por la producción de cultivos o por el pastoreo entre los árboles maduros. Esto significa que, para conservar la viabilidad de las poblaciones de especies arbóreas valiosas en los paisajes agrícolas, los gestores deberían percibir estrategias que permitan a las especies prioritarias reproducirse y regenerarse para garantizar su perpetuación.

La conservación de los recursos genéticos forestales

Los RGF se pueden conservar internamente (in situ) o fuera del hábitat natural de una especie (ex situ), en bancos de genes. De ambos métodos, la opción más preferida es la conservación in situ, ya que permite la continuidad de los procesos evolutivos naturales por medio de la adaptación a las condiciones en continuo cambio. Sin embargo, se requiere la conservación ex situ en presencia de amenazas a las poblaciones de especies en estado silvestre. Muchos países y algunas organizaciones internacionales mantienen bancos de semillas de árboles forestales; sin embargo, las adhesiones se limitan, en general, a especies con semillas "ortodoxas". Muchas especies arbóreas de las zonas tropicales húmedas en particular, por ejemplo los bosques de dipterocarpaceas del sudeste asiático, son "recalcitrantes" (lo opuesto de ortodoxo, en este sentido), es decir, que sus semillas no se pueden almacenar en bancos, bajo las condiciones convencionales, sin que pierdan rápidamente la viabilidad. Se han establecido bancos de genes vivos (parcelas de árboles plantados a fin de conservar la diversidad genética) para algunas especies; sin embargo, se requiere enormes espacios y se deben cuidar durante períodos de tiempo enormes.

La conservación de los RGF *in situ* es compatible con el uso sostenible, siempre que se tomen en cuenta, explícitamente, consideraciones genéticas para la gestión forestal. Las áreas protegidas que se han establecido para otros fines podrían no conservar eficazmente los recursos genéticos de especies arbóreas prioritarias. Por tanto, a veces los RGF se pueden conservar con mayor eficacia en los bosques manejados que en las áreas protegidas. Las reservas genéticas establecidas específicamente para conservar los RGF, por ejemplo las de los países europeos monitoreados por el [Programa europeo de recursos genéticos forestales](#) (EUFORGEN), son ideales. Sin embargo, pocos países cuentan con este tipo de reservas.

Entre las consideraciones clave para la conservación de la diversidad genética forestal se incluyen:

- mantener poblaciones de tamaño suficiente, a fin de promover el cruce entre diferentes individuos sin vínculos de parentesco y mantener la variación genética en las poblaciones;
- asegurar el funcionamiento de los procesos genéticos que influyen en la diversidad, por ejemplo, el flujo genético y la selección natural, y reducir al mínimo la deriva genética que produce la pérdida de alelos (formas alternativas de genes) por medio de errores de muestreo de generación en generación.

El tamaño efectivo de la población es un concepto importante para la gestión y la conservación de la diversidad genética, ya que es un indicador de los problemas genéticos potenciales mucho más preciso que el censo sobre el tamaño de la población (el número actual de individuos) y es casi siempre menor. El tamaño efectivo de la población corresponde al tamaño del censo si:

- la población tiene un número igual de machos y hembras, todos ellos reproduciéndose a un ritmo que varía no más que por casualidad;
- el apareamiento tiene igual probabilidad para cada dos individuos y se realiza al azar;
- el número de individuos que se reproducen se mantiene constante de generación en generación y sólo una generación tiene edad reproductiva en cualquier momento.

El tamaño efectivo de una población de especies arbóreas, con toda probabilidad, será siempre considerablemente menor que el tamaño del censo de población ya que, incluso en presencia de cualesquiera otras condiciones, los largos ciclos de vida de los árboles producen generaciones que se superponen entre sí. La probabilidad de endogamia y la pérdida aleatoria de alelos aumenta con la disminución del tamaño efectivo de la población. La endogamia, en particular la autopolinización (su forma más extrema), es nociva para la mayoría de especies arbóreas, ya que en general es portadora de altas cargas genéticas de alelos recesivos deletéreos. La primera expresión de la endogamia es en general la fertilidad reducida; con toda probabilidad, los plantones y plántulas endogámicos probablemente mostrarán bajos índices de crecimiento y menor resistencia ante ataques bióticos y abióticos.

El tamaño efectivo de la población se reduce, en relación con el tamaño del censo, al aumentar el nivel de parentesco en una población. Por tanto, cuanto menor es el tamaño efectivo de la población (comparado con el tamaño del censo), mayor será el área requerida para la conservación.

El análisis de las amenazas a los recursos genéticos y la priorización de especies y poblaciones son pasos importantes para elaborar las estrategias de conservación para los RGF. Algunas de las amenazas más graves, a nivel mundial, son la sobreexplotación, el pastoreo del ganado, la expansión agrícola y el cambio climático.

La mayoría de las actividades de conservación de los RGF hasta la fecha se ha realizado *in situ*, mientras la conservación de los recursos genéticos de los cultivos agrícolas se realiza en general *ex situ*. Con pocas excepciones, las especies arbóreas son todavía silvestres y, por lo tanto, para capturar la variabilidad de un conjunto de procedencias de una especie arbórea se requieren muestras de población mucho más amplias de las que serían necesarias para capturar la diversidad de un número similar de variedades de cultivos. Lo ideal sería que las estrategias de conservación de los RGF combinaran reservas genéticas (concebidas específicamente para conservar los recursos genéticos de especies objetivo) con prácticas de gestión forestal bien definidas, a fin de garantizar que se mantenga el potencial evolutivo de las especies arbóreas valiosas y a riesgo. La implementación de estas estrategias implicaría un cambio en los paradigmas de conservación y requeriría la consolidación de la capacidad entre una gran variedad de actores.

Consideraciones genéticas clave para la gestión de los recursos forestales en los bosques naturales

Es factible conservar los recursos genéticos mientras se cosechan productos madereros y no madereros, pero hay que planificar la gestión con cuidado para evitar repercusiones negativas. La mayoría de las prácticas y orientaciones para la gestión sostenible no toma en cuenta explícitamente el papel de los recursos genéticos en la sostenibilidad a largo plazo.

El tipo de producto cosechado, y la forma en que se recolecta, son aspectos cruciales. La extracción de los productos madereros mata a los árboles, pero en general se realiza una vez que éstos han alcanzado su madurez reproductiva y han esparcido sus semillas. La extracción de frutas, cortezas y hojas afecta a los árboles de diferentes formas, con un grado de impacto sobre los recursos genéticos estrechamente relacionado a la intensidad de la cosecha. Durante la recolección de frutas es inusual que se dañen los árboles, a menos que se corten ramas o árboles en plantaciones de una sola cosecha. Sin embargo, si toda la producción de frutas se extrae año tras año, habrá poca o nula regeneración. A su vez, la extracción de cortezas, si es demasiado intensiva, puede ser tan destructiva como la tala.

Aunque se empleen prácticas de aprovechamiento forestal de bajo impacto, la tala puede generar una grave reducción de la diversidad genética, con impactos asociados sobre la adaptabilidad y la persistencia a largo plazo de una especie. La tala selectiva reduce la densidad de la población y, por tanto, la distancia entre los árboles de grandes dimensiones —que probablemente contribuyen más que los árboles pequeños a la reproducción en la población—. En dependencia de la especie, los polinizadores podrían tener menos probabilidades de desplazarse entre árboles que tienen grandes distancias entre sí, lo que podría producir altos niveles de autopolinización. Aún es incompleto el conocimiento sobre la reproducción, los polinizadores y la genética de muchas especies arbóreas y, por tanto, podría ser difícil prescribir regímenes de cosecha que no reduzcan la capacidad de reproducción de una población arbórea.

Otro aspecto importante podrían ser los estadios sucesivos de las especies cosechadas. Incluso cuando se establecen límites de diámetros para asegurar que los árboles talados hayan superado abundantemente la edad de reproducción inicial, la regeneración no está garantizada dado que depende de las exigencias de luz de los plantones y plántulas y de sus correspondientes condiciones en la masa boscosa. Las especies que necesitan luz no se regeneran bajo la sombra. El banco de semillas en el suelo es eficaz sólo para las semillas que se mantienen viables durante períodos extensos, y esto no sucede con muchas especies arbóreas: incluso si se desbroza el dosel forestal durante la tala para permitir el acceso a suficiente luz, podría no haber semillas disponibles para establecer la regeneración. Estas consideraciones demuestran que la conservación eficaz de los RGF entraña la comprensión de la biología y la ecología reproductivas de la especie. Las especies pueden tener diferentes exigencias para una regeneración adecuada, y estas diferencias se deben tomar en cuenta para asegurar la adaptabilidad y la persistencia a largo plazo de las especies afectadas y la conservación eficaz de los RGF.

La selección disgénica —en la cual la cosecha produce (involuntariamente) un cambio direccional no deseado en la calidad genética en una o más generaciones— ha estado preocupando por mucho tiempo a los gestores forestales. La idea dominante es que la remoción de los árboles de mejor calidad (por ejemplo, en términos de su forma o índice de crecimiento), dejando el resto de árboles, produciría cambios genéticos en rasgos importantes, aumentando las contribuciones reproductivas relativas de los árboles de menor calidad. Esto ocurriría con mayor probabilidad en los árboles intolerantes a la sombra porque tienden a producir una menor regeneración al tiempo de la cosecha. Sin embargo, el grado hasta el cual esto sea un problema está abierto al debate y es necesario mayor conocimiento al respecto.

Consideraciones genéticas para el establecimiento de bosques plantados

La plantación de árboles se realiza por muchas razones que van desde la producción maderera en pequeña escala e industrial, a la restauración del paisaje, hasta la conservación y la agrosilvicultura. Independientemente del propósito, se necesita un suministro suficiente de semillas (o de alguna otra forma de propágulo) con alta calidad fisiológica y genética. La mayoría de las plantaciones industriales utiliza material genéticamente mejorado y cuenta con una cadena de suministro de semillas bien establecida; para muchas otras plantaciones, sin embargo, el material de propagación se obtiene del entorno silvestre.

Hay tres consideraciones fundamentales relacionadas con la calidad genética al abastecerse de semillas del medio silvestre, y su importancia cambia en dependencia del propósito de la plantación:

1. La fuente de semillas debe estar bien adaptada al sitio de la plantación – esto no significa utilizar, necesariamente, semillas geográficamente cercanas al sitio establecido, ya que otros factores podrían reducir la conveniencia de dicho material.
2. Las semillas deben provenir de un número suficiente de árboles para garantizar su diversidad genética.
3. Los árboles que suministran las semillas no deben estar estrechamente relacionados para evitar la recolección de semillas endógenas.

En varias regiones del mundo, algunas iniciativas ambiciosas de restauración están en una etapa temprana de implementación; sin embargo, en muchos casos, la planificación del suministro de semillas deja mucho que desear. Si bien la restauración tiene muchos objetivos y métodos posibles, los bosques restaurados deberían ser autosostenibles, es decir, que la restauración de las funciones ecosistémicas debería ser lo suficiente para asegurar la reproducción y la regeneración continuas de las especies arbóreas deseadas. Para esto es necesario poner atención a las características genéticas de las fuentes de semillas para asegurar que el material de propagación esté bien adaptado a las condiciones del sitio y sea lo suficientemente diversificado para permitir la adaptación a las condiciones en continuo cambio, por medio de la selección natural.

La mejor forma de asegurar que las fuentes de semillas se adaptan bien a los sitios de la plantación es realizar ensayos de procedencia en los ensayos de campo que cubran la amplia gama de condiciones ambientales encontradas en las áreas de restauración seleccionadas. Si se carece de datos sobre los ensayos de procedencia y el tiempo no permite ensayos en los sitios que serán establecidos, otra buena opción es abastecerse de semillas de las localidades que tienen condiciones ambientales similares a las de las áreas de restauración seleccionadas (véase también [Material forestal reproductivo](#)).

Problemas asociados con la recolección de semillas de poblaciones pequeñas

Si una población de árboles está aislada y ha consistido de un pequeño número de árboles reproductivos durante varias generaciones, el tamaño efectivo de la población probablemente es mucho menor que el del censo de población. Por tanto, dicha población puede haber estado sujeta a desviación genética y los árboles se han ido cruzando cada vez más en cada generación, produciendo endogamia.

Cualquier individuo obtenido con la reproducción sexual recibe mitad de su ADN de cada uno de sus dos progenitores. El grado hasta el cual los alelos recibidos de cada uno de los progenitores son los mismos, es una medida de la “*homocigosidad*” de un individuo –cuanto más estrechamente estén relacionados los progenitores, mayor será la homocigosidad de la descendencia–. De tal forma, un resultado de la endogamia es una homocigosidad mayor de la prevista, que puede ser nociva debido a la acumulación de alelos deletéreos que no fueron eliminados por medio de la selección natural. Por otro lado, una alta heterocigosidad (es decir, el grado hasta el cual difieren los alelos de un gene determinado, recibidos de dos progenitores) parece estar asociada positivamente con la supervivencia, crecimiento y capacidad reproductiva en algunas especies arbóreas. De ser posible, por lo tanto, las semillas para fines de plantación no se deberían recolectar en poblaciones con menos de 500 individuos reproductivamente maduros.

Si se recolecta semillas de un número reducido de árboles en un sitio, incluso si la población es grande, estas semillas representarán una pequeña muestra de la diversidad genética disponible y el bosque plantado final, si no se utilizan fuentes adicionales de semillas, presentará menor diversidad genética que la población original. En este caso, estaríamos en presencia de un cuello de botella genético que podría llevar a la endogamia y a la pérdida del potencial de adaptación en las generaciones sucesivas. El efecto cuello de botella estaría exacerbado por la variabilidad de la producción de semilla entre los árboles fuente, lo que reduciría ulteriormente el tamaño efectivo de la población original. El problema se agravaría ulteriormente si los árboles plantados se utilizan después como fuentes de germoplasma para futuras plantaciones.

Frente a una hipotética recolección de semillas que utiliza diferentes fuentes, se debería diseñar e implementar muy bien un sistema apropiado de distribución de la diversidad genética a los sitios de plantación (que podrían ser pequeños y estar esparcidos en todo el paisaje). No es una cuestión trivial asegurar que el material de propagación es variado y está bien adaptado a los sitios de plantación: rangos de medidas desde el monitoreo molecular de las poblaciones, material de vivero y árboles establecidos para garantizar que el sistema está funcionando bien en cada etapa, hasta encuestas sencillas y de fácil aplicación sobre la variabilidad de la producción de semillas, los índices de germinación y la supervivencia y vigor de los árboles después de la plantación.

Consideraciones genéticas clave para la gestión de los árboles fuera del bosque

A la par de la reducción de las áreas de bosques intactos y de la expansión del terreno agrícola, aumenta también la exigencia de manejar la diversidad genética de los árboles en los paisajes agrícolas. La conservación genética in situ, en las áreas protegidas y en los bosques manejados, no incluye las poblaciones confinadas a paisajes principalmente agrícolas –árboles plantados por productores o mantenidos en

sistemas agroforestales y manchones naturales—. Asimismo, la conservación ex situ en las zonas tropicales excluye muchas especies arbóreas valiosas debido a la dificultad y a los costos incurridos para el almacenamiento de semillas de árboles tropicales. La conservación de los RGF por medio de su utilización en las explotaciones agrícolas, donde los árboles pueden crecer fuera de sus hábitats naturales pero dentro de sus rangos naturales, tiene potencialmente una importante función complementaria. La supervivencia a largo plazo de algunas especies (p.ej., las especies agroforestales de la sabana de África subsahariana) podría depender de la adecuada gestión de sus recursos genéticos en los paisajes agrícolas.

En la conservación de los RGF en los paisajes agrícolas, un aspecto importante es la fragmentación de las poblaciones arbóreas y los efectos de esta fragmentación en el flujo de genes y en la viabilidad de la población. Si la regeneración se ve amenazada por un flujo inadecuado de genes dentro y entre las poblaciones arbóreas, esas poblaciones podrían desaparecer al morir los árboles maduros. Por otro lado, algunas especies arbóreas están adaptadas a bajas densidades de población y, en algunos casos, el flujo de genes podría estar incluso impulsado por un aumento del espacio abierto entre árboles. La clave para la conservación de los RGF en los paisajes agrícolas, por tanto, es comprender la biología y ecología reproductiva de las especies, incluyendo sus sistemas de apareamiento y sus modelos de polinización, que constituyen barreras para el flujo de genes, y las consecuencias potenciales de los cambios en la matriz del paisaje.

Las generalizaciones están abiertas al debate: una opinión extrema es que los árboles aislados en los paisajes agrícolas son “*muertos en pie*”, sin perspectivas aparentes de reproducción. Sin embargo, en muchas especies arbóreas se han observado la polinización a distancia y eventos de dispersión de semillas; en algunos casos, también la regeneración se da de forma natural en leguminosas cuando las condiciones son favorables (en vez de continuativamente). De tal forma, los árboles relativamente aislados podrían ser importantes como depósitos de genes y como trampolines para mantener el flujo de genes, al menos para algunas especies.

Cuando la fragmentación del paisaje obstaculiza el flujo de genes, se puede llegar a la endogamia que, a su vez, puede reducir el rendimiento de las semillas y el vigor de las plántulas. Por ejemplo, las especies de árboles frutales dioicos (es decir, árboles que producen sólo flores de sexo femenino o masculino, pero no de ambos sexos) que darán pésimos resultados en los sistemas agroforestales, porque no son productivas (es decir, no producen frutos porque carecen de órganos reproductivos femeninos), se deberían reducir enormemente por medio de la reducción del tamaño efectivo de la población, llevando al aumento de la endogamia en las generaciones sucesivas. Por otro lado, cuando se sabe que es necesaria la polinización cruzada para la producción de frutas, los productores estarán probablemente más dispuestos a mantener la conectividad, aumentando de esta forma las perspectivas para una conservación genética eficaz. En general, la importancia de la conservación de la diversidad genética podría ser más obvia en los paisajes agrícolas que en los bosques intactos, simplemente porque los productores reconocen la utilidad de los árboles.

Si bien los árboles productivos se pueden mantener en los paisajes agroforestales, la regeneración podría estar limitada por la producción de cultivos o por el pastoreo entre los árboles maduros. Esto significa que, para conservar la viabilidad de las poblaciones de especies arbóreas valiosas en los paisajes agrícolas, los gestores deberían percibir estrategias que permitan a las especies prioritarias reproducirse y regenerarse para garantizar su perpetuación.

Further Learning

Boffa, J. 2000. West African agroforestry parklands: keys to conservation and sustainable management. *Unasylva*, 51: 11–17.

Boshier, D.H., Gordon, J.E. & Barrance, A.J. 2004. Prospects for *in situ* tree conservation in Mesoamerican dry forest agro-ecosystems. In: G.W. Frankie, A. Mata & S.B. Vinson, eds. *Biodiversity conservation in Costa Rica: learning the lessons in the seasonal dry forest*, pp. 210–226. Berkeley, USA, University of California Press.

Boshier, D.H. 2004. Agroforestry systems: important components in conserving the genetic viability of native tropical tree species? In: G. Schroth, G. Fonseca, C.A. Harvey, C. Gascon, H.L. Vasconcelos & A.M.N. Izac, eds. *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*, pp. 290–314. USA, Island Press.

Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P. & Loo, J. 2014. [Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species](#). Thematic Study 10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and Bioversity International.

Dawson, I.K., Lengkeek, A., Weber, J.C. & Jamnadass, R. 2009. Managing genetic variation in tropical trees: linking knowledge with action in agroforestry ecosystems for improved conservation and enhanced livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 18: 969–986.

Dawson, I.K., Vinceti, B., Weber, J.C., Neufeldt, H., Russell, J.R., Lengkeek, A.G. et al. 2011. Climate change and tree genetic resource management: maintaining and enhancing the productivity and value of smallholder tropical agroforestry landscapes. *Agroforestry Systems*, 81: 67–78.

Dawson, I.K., Guariguata, M.R., Loo, J., Weber, J.C., Lengkeek, A., Bush, D., Cornelius, J., Guarino, L., Kindt, R., Orwa, C., Russell, J. & Jamnadass, R. 2013. What is the relevance of smallholders' agroforestry systems for conserving tropical tree species and genetic diversity in *in situ*, *in situ* and *ex situ* settings? A review. *Biodiversity and Conservation*, 22: 301–324.

FAO, DFSC & IPGRI. 2001. *Forest genetic resources conservation and management. Vol. 2: In managed natural forests and protected areas (in situ)*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), DANIDA Forest Seed Center (DFSC) and International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

FAO, FLD & IPGRI. 2004. *Forest genetic resources conservation and management. Vol. 1: Overview, concepts and some systematic approaches*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Forest and Landscape Denmark (FLD) and International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

FAO, FLD & IPGRI. 2004. *Forest genetic resources conservation and management. Vol. 3: In plantations and genebanks (ex situ)*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Forest and Landscape Denmark (FLD) and International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

FAO. 2014a. [State of the World's Forest Genetic Resources](#). Rome.

FAO. 2014b. [Global Plan of Action for Conservation, Management and Development of Forest Genetic Resources](#). Rome.

Finkeldey, R. 2005. *An introduction to tropical forest genetics*. Göttingen, Germany, Georg-August-University Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding.

Geburek, T. & Turok, J., eds. 2005. *Conservation and management of forest genetic resources in Europe*. Zvolen, Slovakia, Arbora Publishers.

Hubert, J. & Cottrell, J. 2007. [The role of forest genetic resources in helping British forests respond to climate change](#). Forestry Commission Information Note FCIN086.

IUCN Species Survival Commission. 2008. *Strategic planning for species conservation: an overview*. Version 1.0. Gland, Switzerland, International Union for Conservation of Nature (IUCN).

Jalonen, R., Hong, L.T., Lee, S.L., Loo, J. & Snook, L. 2014. [Integrating genetic factors into management of tropical Asian production forests: a review of current knowledge](#). *Forest Ecology and Management*, 315: 191–201.

Jennings, S.B., Brown, N.D., Boshier, D.H., Whitmore, T.C. & Lopes, J.d.C.A. 2001. Ecology provides a pragmatic solution to the maintenance of genetic diversity in sustainably managed tropical rain forests. *Forest Ecology and Management*, 154: 1–10.

Koskela, J., Lefèvre, F., Schueler, S., Kraigher, H., Olrik, D.C., Hubert, J. et al. 2013. Translating conservation genetics into management: pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. *Biological Conservation*, 157: 39–49.

Koskela, J. & Lefèvre, F. 2013. Genetic diversity of forest trees. In: D. Kraus & F. Krumm, eds. [*Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*](#), pp. 232–241. Freiburg, Germany, European Forest Institute.

Ledig, F.T. 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems. *Oikos*, 63: 87–108.

Loo, J., Souvannavong, O. & Dawson, I., eds. 2014. [Global forest genetic resources: taking stock](#). Special issue. *Forest Ecology and Management*, 333: 1–98.

McNeely, J.A. & Schroth, G. 2006. Agroforestry and biodiversity conservation: traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity and Conservation*, 15: 549–554.

Credits

This module was developed with the kind collaboration of the following people and/or institutions:

Initiator(s): Judy Loo - Bioversity

Reviewer(s): David Boshier - Oxford University; Jarkko Koskela - FAO; Carlos Navarro

