

CAPÍTULO 2

COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

Al pensar en un ‘bosque tropical’, seguramente se te vendrán a la mente imágenes de la selva ecuatorial — un bosque siempreverde, con abundante vida silvestre y empapado de lluvia — pero hay muchos otros tipos de bosques que crecen en los trópicos. En climas con temporadas secas, los tipos de bosque siempreverde en áreas más húmedas, alternan abruptamente con tipos de bosque caducifolio en áreas más secas, gradualmente convirtiéndose en sabanas cubiertas de hierba en los sitios más áridos. De la misma manera, en las montañas, las estructuras de los bosques cambian dramáticamente con la elevación. En medio ambientes más limitados, hay bosques pantanosos de turba, manglares salados y bosques de brezales ácidos. Los diferentes tipos de bosques funcionan de manera diferente, y cada uno tiene sus propias características que enfrentan a los proyectos de restauración con sus particulares desafíos. En los bosques siempreverdes, el mayor desafío es asegurar la rápida recuperación de los altos niveles de biodiversidad que caracteriza tales ecosistemas; mientras que en bosques más secos, simplemente plantar árboles para la supervivencia de la primera sequía, es ya un logro mayor. Es el tipo de bosque climático el que define la meta de la restauración (es decir, el ‘objetivo’, ver Sección 1.2), de manera que es importante saber con qué tipo de bosque se está tratando.

2.1 Tipos de bosques tropicales

Se han propuesto diferentes tipos de esquemas para clasificar los bosques tropicales. Éstos están basados en varios criterios; incluyendo clima, suelo, composición de especies, estructura, función y estados de sucesión (Montagnini & Jordan, 2005). Los esquemas más comunes que se usan, incluyen el sistema de Whitmore (1998) **Cuadro 2.1**, que está basado en el clima y la altitud, y la clasificación de categorías de bosques UNEP–WCMC (UNEP–WCMC, 2000), que también incluye bosques perturbados y plantaciones (ver **Cuadro 2.2**).

Bosques tropicales siempreverdes (incluyendo bosques húmedos)

Los bosques tropicales húmedos son los más desarrollados de los bosques tropicales siempreverdes. Crecen principalmente dentro de 7° de latitud desde el ecuador, donde el promedio de las temperaturas anuales supera los 23°C y el promedio de las temperaturas mensuales supera los 18°C (es decir, no hay heladas). Las precipitaciones anuales exceden los 4,000 mm, con precipitaciones mensuales de un promedio superior a los 100 mm a lo largo de todo el año (es decir, no hay una estación seca significativa). Otros tipos de bosques tropicales siempreverdes crecen siempre donde las precipitaciones pluviales excedan la evapo-transpiración (normalmente donde la precipitación en promedio es superior a 2,000 mm) y la temporada seca no dura más de 2 meses. Se extienden hasta 10° de latitud desde el ecuador. Las mayores extensiones de bosques tropicales se encuentran en las tierras bajas de la Cuenca Amazónica, la Cuenca del Congo, la Península de Malasia y en las islas sudorientales de Asia, Indonesia y Nueva Guinea.

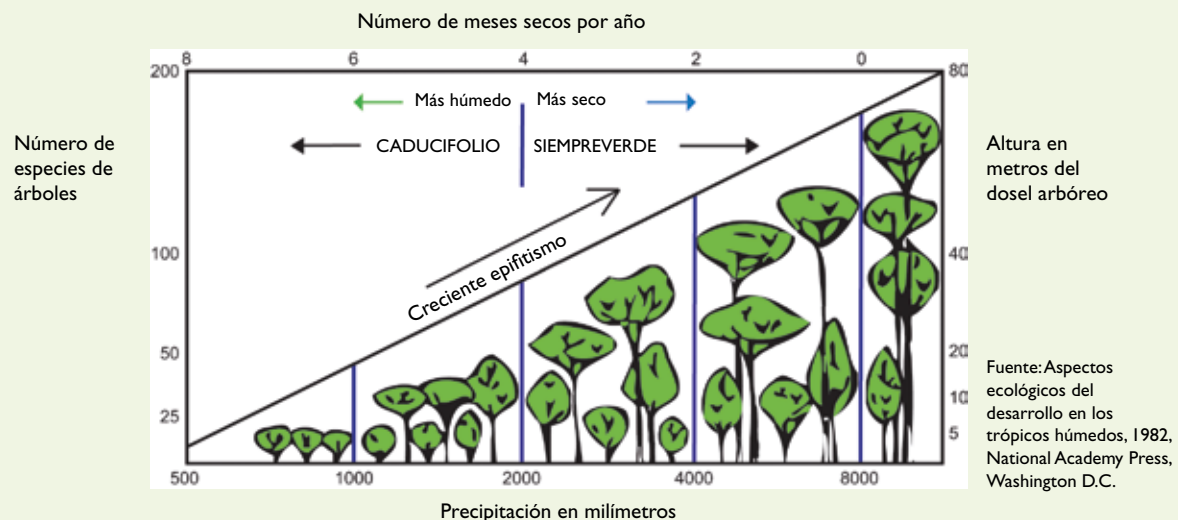
Bosque tropical húmedo en el Área de Conservación de la Cuenca de Maliau, Sabah, Malasia



Cuadro 2.1. La clasificación simple de tipos de bosques tropicales de Whitmore

La clasificación simple de tipos de bosques tropicales de Whitmore (1998) propone que al alejarse del ecuador, los bosques tropicales climáticos, pueden agruparse ampliamente en 2 categorías principales: estacionalmente secos y siempre húmedos. Superimpuestos a los efectos de la latitud y el clima prevaleciente, están los efectos de la elevación (es decir, bosques montanos o de tierras bajas) y el substrato (por ejemplo, bosques que crecen en piedra caliza o turba, etc.).

Clima	Elevación	Tipos de bosques tropicales
Estacionalmente secos		Bosques de Monzón (caducifolios) de varios tipos Bosque húmedo semi-siempreverde
Siempre húmedo	Tierras bajas Montano 1,200–1,500 m Montano 1,500–3,000 m	Bosque siempreverde de tierras bajas Bosque húmedo montano bajo Bosque húmedo montano alto o bosque nuboso
	Montano > 3,000 m Normalmente tierras bajas	Bosque subalpino hasta el límite de los árboles Bosque de brezal Bosque de piedra caliza Bosque ultrabásico Manglar Bosque pantanoso de turba Bosque pantanoso de agua fresca Bosque pantanoso de agua fresca periódico



La relación entre la humedad y la vida de las plantas en un bosque tropical de tierras bajas. La línea diagonal de izquierda a derecha representa el gradiente de precipitación anual media, demostrando que, al aumentar la humedad, los bosques se vuelven más complejos, con mayor diversidad biológica y estratificación ecológica. (Fuente: *Assembly of Life Sciences* (U.S.A.), 1982)

Cuadro 2.2. Clasificación de categorías de bosque de UNEP–WCMC.

La clasificación de categorías de bosque de UNEP–WCMC, desarrollada en 1990, divide los bosques del mundo en 26 tipos principales (en base a la zona climática y a las especies de árboles característicos) de los cuales, los 15 listados abajo son tropicales (UNEP–WCMC, 2000). Para cada tipo de bosque tropical, la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) propone otra capa de clasificación, basada en estados sucesionales, es decir, primario, primario manejado, natural modificado, secundario o plantado.

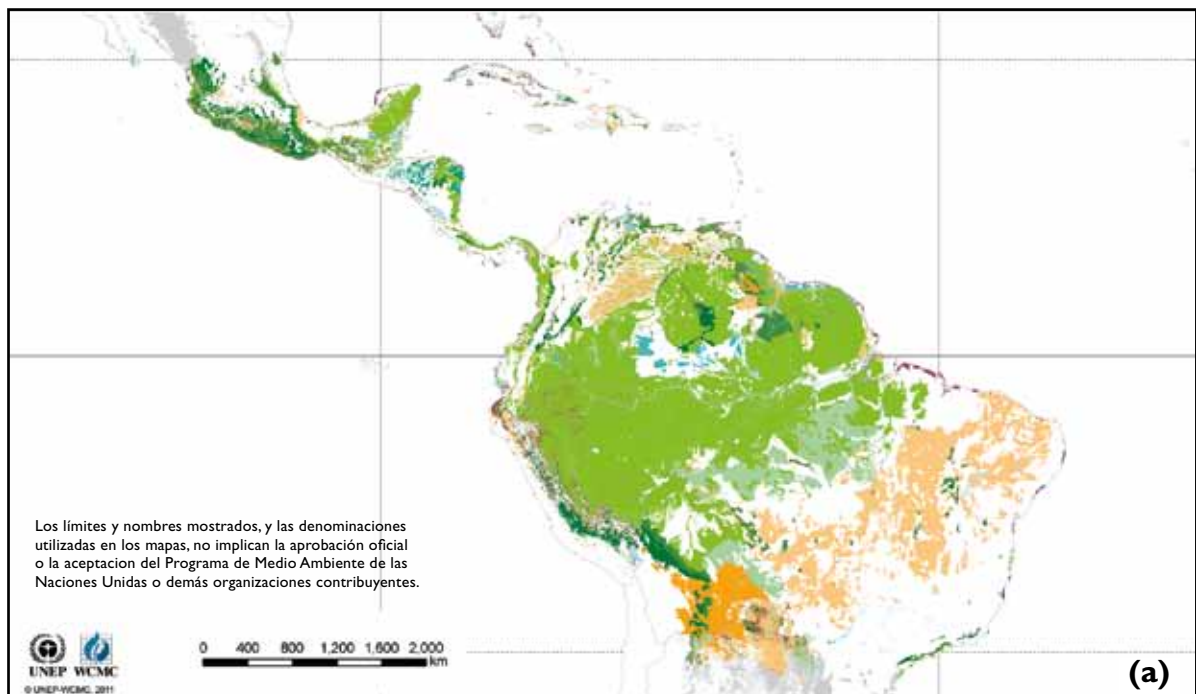
TIPOS DE BOSQUES TROPICALES

- Manglares
- Bosque pantanoso de agua dulce
- Bosques altos de montaña
- Bosque lluvioso de hojas anchas siempreverde y de tierras bajas
- Bosques bajos de montaña
- Bosque húmedo de hoja ancha medio siempreverde
- Plantaciones de especies exóticas
- Plantaciones con especies nativas
- Bosque mixto de hoja ancha/aciculada

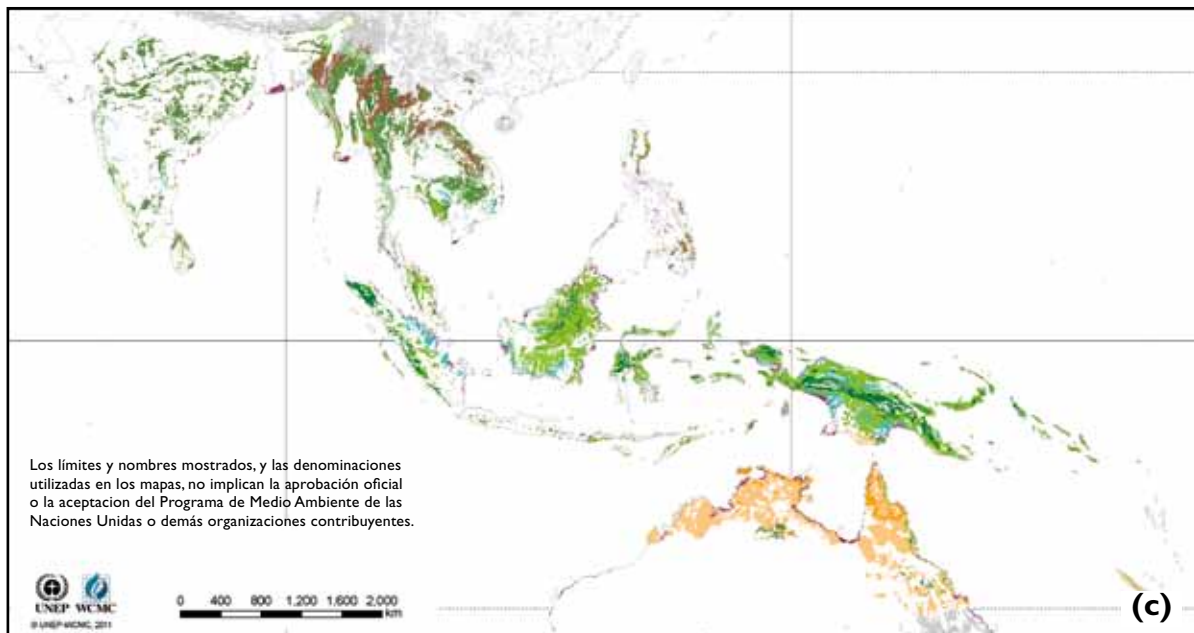
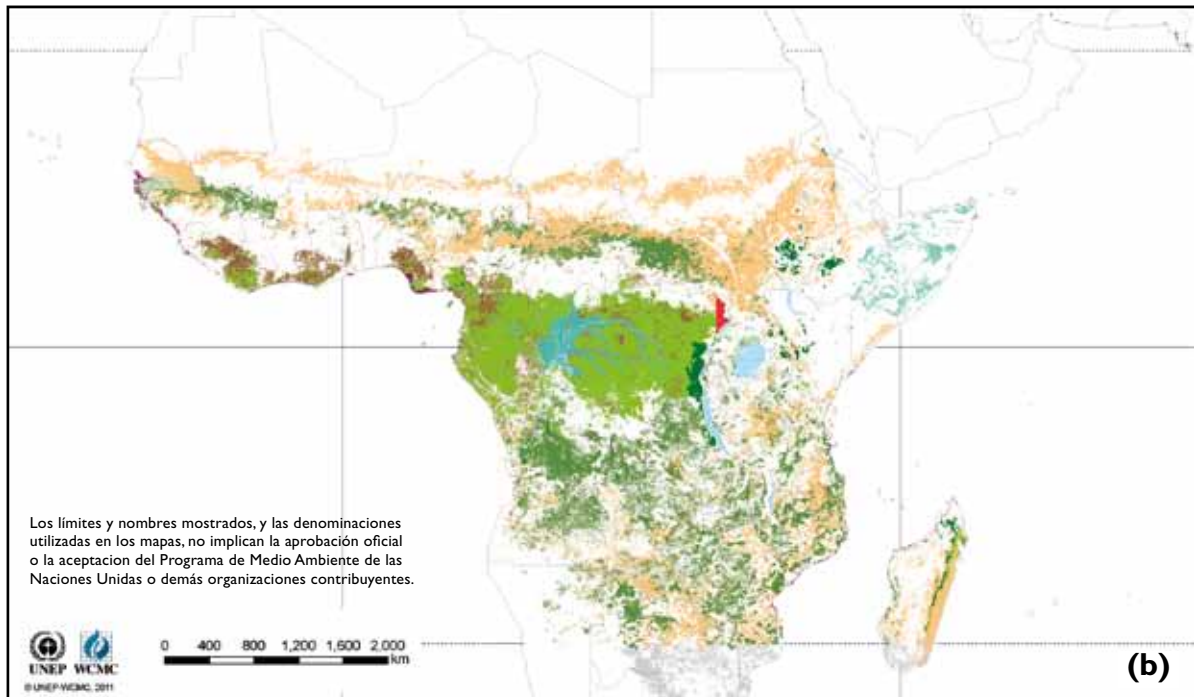
- Bosque de hoja aciculada
- Bosque seco esclerófilo
- Bosque de hoja ancha caduca/semi-caduca
- Bosque espinoso
- Árboles dispersos y parques
- Bosque natural alterado

OTROS TIPOS

- Bosques templados y boreales
- Cuerpos de agua
- No hay datos



2.1 TIPOS DE BOSQUES TROPICALES



Extensión de los principales tipos de bosques tropicales de a) América Central/Sur b) África y c) Asia, basada en la clasificación UNEP-WCMC de 1990, derivada de un número de diferentes fuentes nacionales e internacionales. Las escalas y fechas varían entre las fuentes, y esta síntesis puede ser considerada para mostrar la cobertura global aproximada en 1995. La clasificación de bosques fue diseñada para reflejar las características de bosques que son relevantes para la conservación y facilitar la armonía entre varios sistemas de clasificación nacionales e internacionales. © UNEP-WCMC, 2011.

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

Los bosques tropicales siempreverdes son los más exuberantes de todos los bosques tropicales, con una complejidad estructural y biodiversidad, que normalmente exceden a los de otros tipos de bosques tropicales, aunque hay una inmensa variabilidad. En parcelas de muestreo en Ecuador, por ejemplo, Whitmore (1998) cita extremos de 370 especies de árboles por hectárea, comparado con solamente 23 especies de árboles por hectárea en un lugar en Nigeria. Se pueden distinguir por lo menos cinco estratos de canopia (es decir, flora de suelo, arbustos (incluyendo brinzales de árboles), árboles de sotobosque, árboles principales de canopia y árboles emergentes), con la canopia principal de hasta 45 m por encima del suelo y algunos árboles emergentes elevándose hasta 60 m. La mayor parte de la luz es captada por la canopia principal, de modo que las capas

Las raíces de contrafuerte son una característica de muchas especies de árboles del bosque siempreverde. Los indios Waorani hacen uso de ellos para comunicarse. El sonido de baja frecuencia que se produce al golpearlos, es transportado a largas distancias.



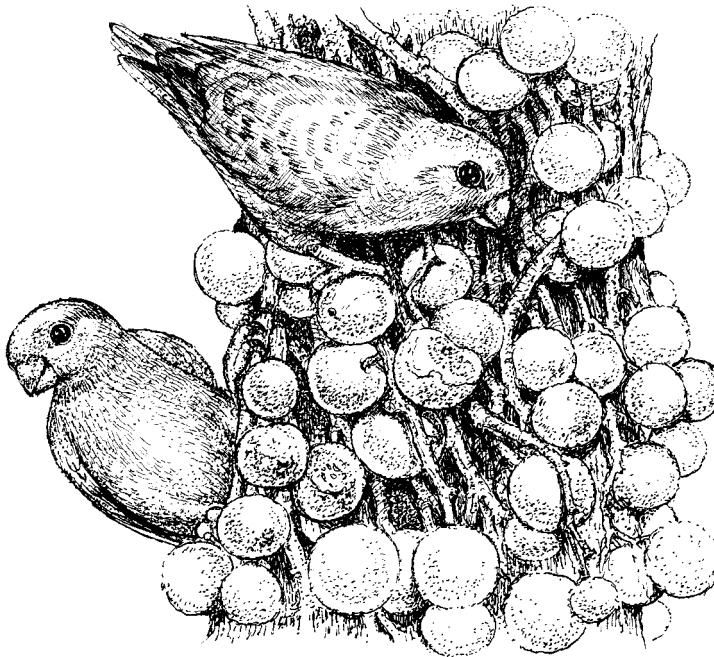
del suelo y arbustos tolerantes a la sombra, tienden a ser menos densos que las de los bosques tropicales más secos. Los árboles con raíces de contrafuerte son comunes, particularmente en suelos poco profundos. La cauliflora (es decir, el crecimiento de flores y frutas en troncos de árboles) es también característico, particularmente en árboles de sotobosque, cuyas hojas suelen tener 'puntas de goteo' (es decir, puntas alargadas) que les permiten desprenderse rápidamente del agua. Algunos árboles de canopia pueden quedarse pasajeraamente sin hojas, pero la canopia como totalidad, permanece siempreverde. Trepadoras leñosas (incluyendo ratanes en Asia y África), higueras (*Ficus* spp.) y densas comunidades de helechos epífitos y orquídeas (junto con bromelias en América del Sur y especies de Apocynaceae y Rubiaceae en Asia) también son características de los bosques tropicales.

2.1 TIPOS DE BOSQUES TROPICALES



Las vainas de *Theobroma cacao* son ejemplo de una fruta caulífiora.

La mayor parte de los recursos alimenticios que proveen los bosques siempreverdes (como hojas, frutos, insectos etc.) se encuentran en la canopia, por lo que la mayoría de los animales viven allí y proveen a los árboles de los servicios vitales para la reproducción. Los polinizadores más importantes son las abejas y las avispas, pero las aves y los murciélagos que se alimentan del néctar, también polinizan a muchas especies de árboles. La dispersión de semillas es realizada principalmente por aves que se alimentan de frutos, junto con murciélagos frugívoros y primates, y cuando los frutos caen al suelo, por ungulados y roedores. La dispersión de semillas por el viento es muy rara, excepto para los árboles más altos (un ejemplo obvio: los Dipterocarpios de Asia tropical). La fuerte dependencia de los bosques tropicales siempreverdes de los animales para su reproducción, es crucial en el momento de considerar la restauración forestal.



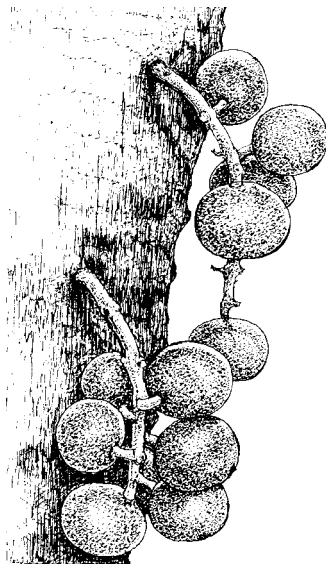
El lorito de cuatro ojos (*Cyclopsitta diophthalma*) se deleita con los higos y dispersa sus semillas. Este crucial servicio ecológico es vital para la supervivencia, y su alentamiento es esencial para que una restauración de bosque sea exitosa.

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

Árbol con
contrafuertes en un
bosque siempreverde
de tierras bajas,
Camerún.
(Foto:A. McRobb).



Muchas especies
de árboles en
bosques tropicales
siempreverdes
(como esta *Baccaurea
ramiflora* del sudeste
asiático) producen
flores y frutos
directamente del
tronco o de las
ramas. Las flores
son más visibles a
los polinizadores,
y los frutos a los
dispersadores de
semillas que si
estuvieran ocultos
por el follaje.



En bosques
tropicales
siempreverdes,
las hojas de
muchas especies
de árboles tienen
puntas alargadas o
'puntas de goteo'
que les ayudan
a desprenderse
del agua más
eficientemente, a la
vez que previenen
el crecimiento
asfixiante de
musgo y líquenes
en la superficie de
las hojas.

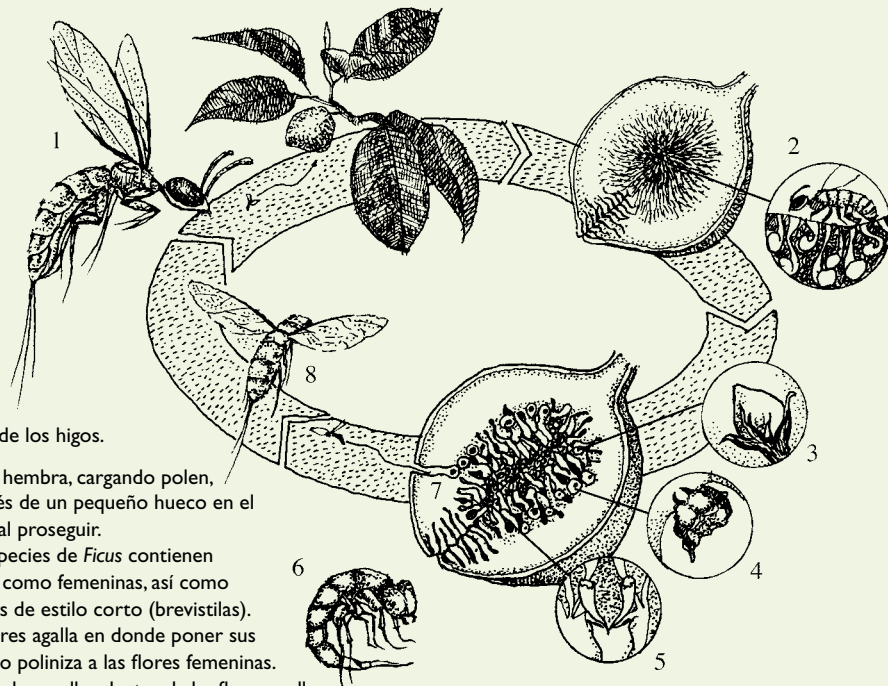


Cuadro 2.3. La naturaleza esencial de las higueras (*Ficus* spp.).

Las higueras son especies tan importantes en los ecosistemas de los bosques tropicales, que los proyectos de restauración deberían incluirlos siempre. El género pantropical *Ficus* abarca más de 1,000 especies de enredaderas, trepadoras leñosas, arbustos y grandes árboles, y es su singular mecanismo reproductivo lo que los convierte en especie clave. A veces confundido por el fruto, las partes de la higuera que se comen (llamados 'sícono' en el lenguaje botánico) frecuentemente crecen en tallos en el tronco o en ramas grandes y son alimento vital para los animales del bosque. Los síconos son, en realidad, los tallos hinchados de inflorescencias (receptáculos), que se han invertido para contener a muchas flores o frutos menudos en su interior.

Las flores de cada especie de *Ficus* son polinizadas por una (o algunas pocas) especies de avispas de los higos. Los higos proveen el único medio para que las avispas puedan reproducirse, y las avispas son el único medio para que las flores de higo puedan polinizarse. Las avispas de los higos completan su ciclo vital en unas pocas semanas, de modo que, en algún lugar del bosque, tiene que haber disponible higos de todas las especies durante todo el año, para que las avispas no se extingan, dejando a las higueras incapaces de reproducirse. La pérdida de especies de *Ficus* de un bosque tropical es desastroso porque hace que aves y mamíferos arbóreos, que dependen de los higos en tiempos de escasez de comida, se extingan gradualmente.

Plantar higueras restaura el equilibrio ecológico al atraer animales dispersadores de semillas a las parcelas de restauración. Adicionalmente, las higueras desarrollan sistemas de raíces muy densos, que les permite crecer bien bajo las condiciones más duras y volver a crecer después de la quema o el desbroce. Las especies de *Ficus* son, por ello, excelentes para prevenir la erosión del suelo y estabilizar los bancos de ríos.



El ciclo de vida de la avispa de los higos.

1. Una avispa de los higos hembra, cargando polen, entra en un higo a través de un pequeño hueco en el ápice, y pierde sus alas al proseguir.
2. Los higos de algunas especies de *Ficus* contienen tanto flores masculinas como femeninas, así como las flores agalla infértiles de estilo corto (brevistilas). La avispa busca a las flores agalla en donde poner sus huevos, al mismo tiempo poliniza a las flores femeninas.
3. Las larvas de la avispa se desarrollan dentro de las flores agalla. Las flores femeninas polinizadas se desarrollan en frutos.
4. Las avispas machos sin alas son las primeras en emerger de sus 'guarderías' de agalla. Se aparean con las avispas hembras poco antes de salir de sus agallas.
5. Cuando las hembras salen, las flores masculinas están produciendo polen.
6. Los machos 'comen' un hueco a través de la pared de un higo.
7. Las hembras se escapan por el hueco, recolectando polen mientras salen.
8. Las avispas hembras, cargadas con polen, vuelan entonces a otra higuera y el ciclo continúa.

Desafíos de la restauración de los bosques tropicales siempreverdes

Lograr una alta biodiversidad y complejidad estructural, es el mayor desafío cuando se trata de restaurar bosques tropicales siempreverdes. Recuperar la biodiversidad total es difícil de lograr cuando hay tantas especies involucradas en relaciones ecológicas tan complejas, especialmente porque la ecología, la biología reproductiva y la propagación de la mayoría de las especies de árboles tropicales son poco entendidos.

Bosques que han sido talados selectivamente o aún en los sitios donde han sido talados completamente, pero que no siguieron siendo perturbados pueden responder bien a una regeneración natural acelerada (RNA; ver **Sección 5.2**); mientras que la plantación de árboles, es normalmente necesaria en sitios degradados que están dominados por pastos y hierbas. La gran riqueza de especies de árboles en bosques tropicales siempreverdes presenta una enorme gama donde elegir árboles de alto rendimiento para plantar. Enfocarse primero en la pequeña minoría de especies de árboles de hoja caduca que crecen en bosques siempreverdes, puede llevar a rápidos logros, porque esas especies resisten la desecación a la que están expuestas en sitios secos y degradados, ya que pierden sus hojas durante los meses más secos del año.

Una consecuencia de la riqueza de especies de árboles, es que los árboles de la misma especie están normalmente apartados los unos de los otros. Esto hace difícil localizar suficientes árboles semilleros, para asegurar una alta diversidad genética entre los árboles que crecen en almácigos. Además, la producción de frutos puede ser irregular y muchas especies de árboles tienen semillas recalcitrantes que no se pueden almacenar. Muchas especies de árboles en los bosques siempreverdes tienen semillas grandes que solamente pueden ser dispersadas por animales grandes, muchos de los cuales (rinocerontes, elefantes, tapires etc.) han sido extinguidos de extensas partes de sus áreas originales de distribución. Por ello, incluir especies de árboles de semillas grandes entre aquellos elegidos para plantar, puede ayudar a conservarlos (Vanthomme *et al.*, 2010). Las especies de árboles de semillas pequeñas son mayormente dispersados por aves, murciélagos y pequeños mamíferos, de modo que prevenir la caza de estos animales es vital para permitir la colocación de especies de árboles no plantadas en el sitio plantado.

En los trópicos húmedos, abundante agua, calor y luz durante todo el año significa que se pueden plantar árboles en cualquier momento del año, y hacer que sobrevivan y crezcan bien no es tan problemático como en las regiones más secas. Sin embargo, estas condiciones son también óptimas para el crecimiento de malezas, de modo que es necesario eliminarlas y su costo puede ser bastante alto. Los incendios no suelen ser un problema tan grande como en áreas más secas, pero son más probables en bosques degradados, y el cambio climático está solo exacerbando el problema. De ahí que podrían ser necesarias medidas de prevención de incendios.

Bosques tropicales estacionales

Los bosques tropicales estacionalmente secos, o bosques de 'monzón', son más predominantes en la latitud 5–15° desde el ecuador, donde la precipitación pluvial y duración del día varían anualmente. Bosques como éstos crecen donde el promedio de lluvia es de 1,000–2,000 mm y la estación fría es corta. Durante la estación seca, que es más larga (3–6 meses), muchos árboles pierden todas sus hojas, causando fluctuaciones en la densidad de la canopia. Esto permite que más luz diurna alcance el suelo del bosque y por consiguiente se desarrollen densas capas de arbustos y plantas a nivel del suelo, características que distinguen estos bosques de los bosques tropicales siempreverdes. Las fluctuaciones diarias y mensuales de las temperaturas, son mucho mayores que en los bosques siempreverdes. Las temperaturas mensuales medias mínimas pueden descender hasta 15°C y las medias mensuales máximas pueden exceder los 35°C. Las extensiones más grandes de bosques tropicales estacionales crecen en Brasil (cerrado), India (monzón), en la cuenca de Zaire y en África Oriental.

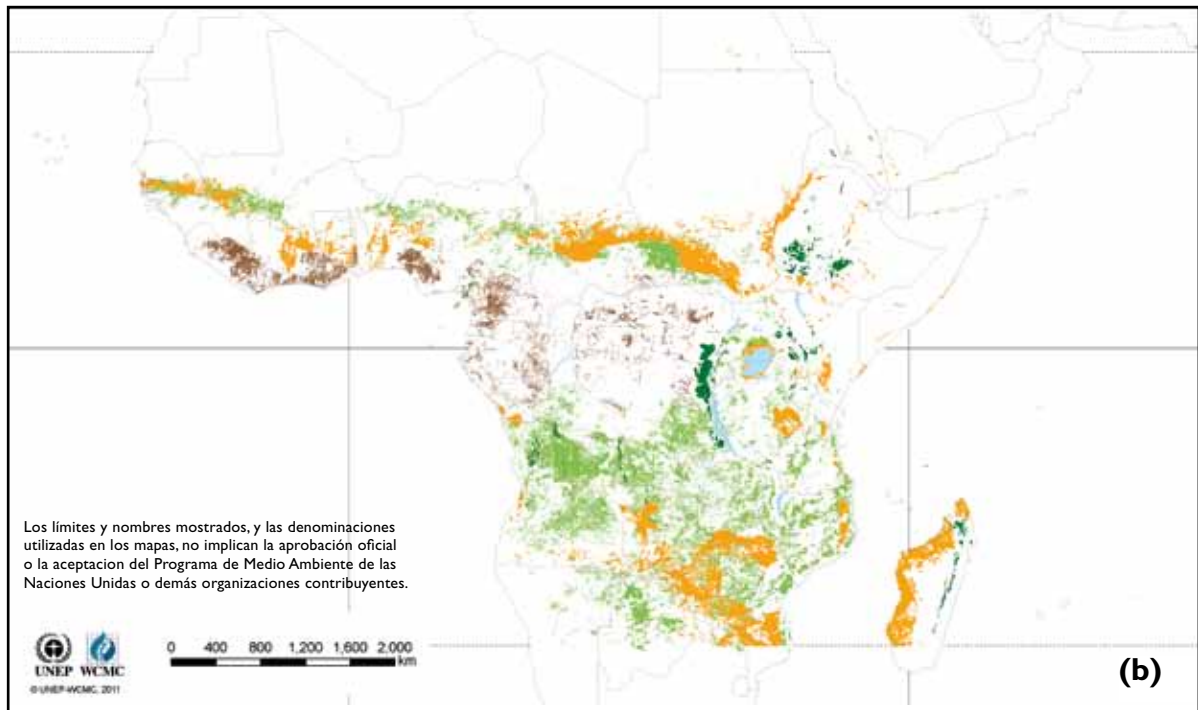
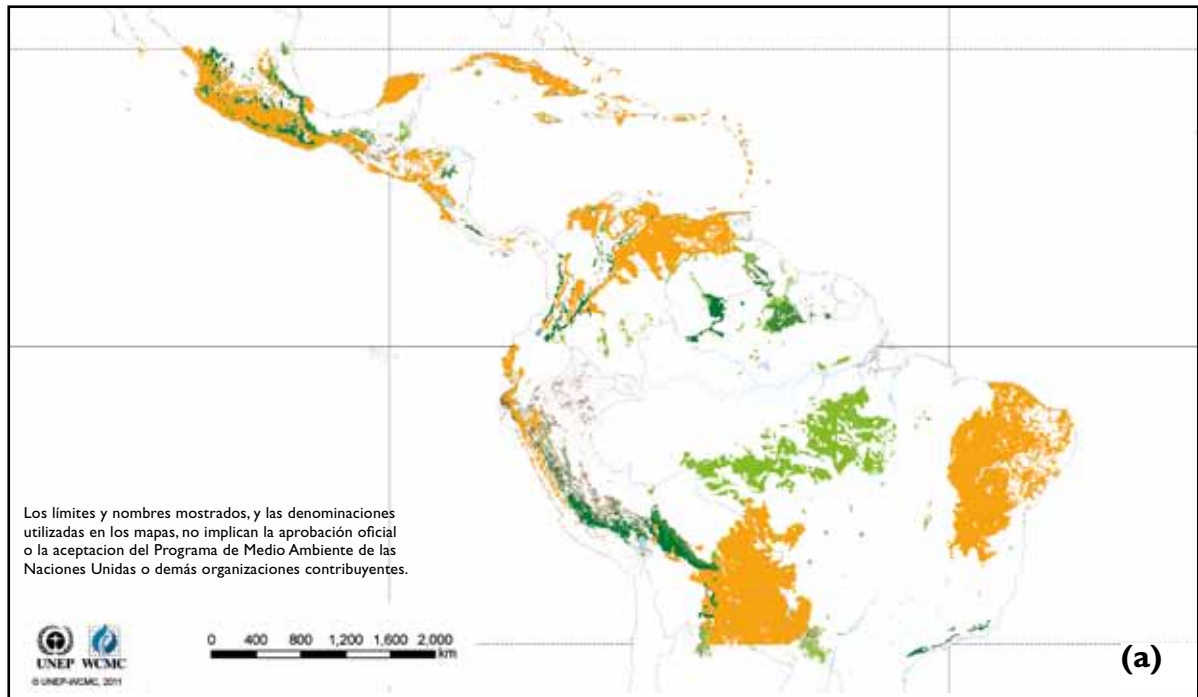
2.1 TIPOS DE BOSQUES TROPICALES



Bosques tropicales estacionales secos en el norte de Tailandia. Alrededor de la mitad de las especies son de hoja caduca y la otra mitad siempreverdes. El riachuelo se seca en la temporada de calor.

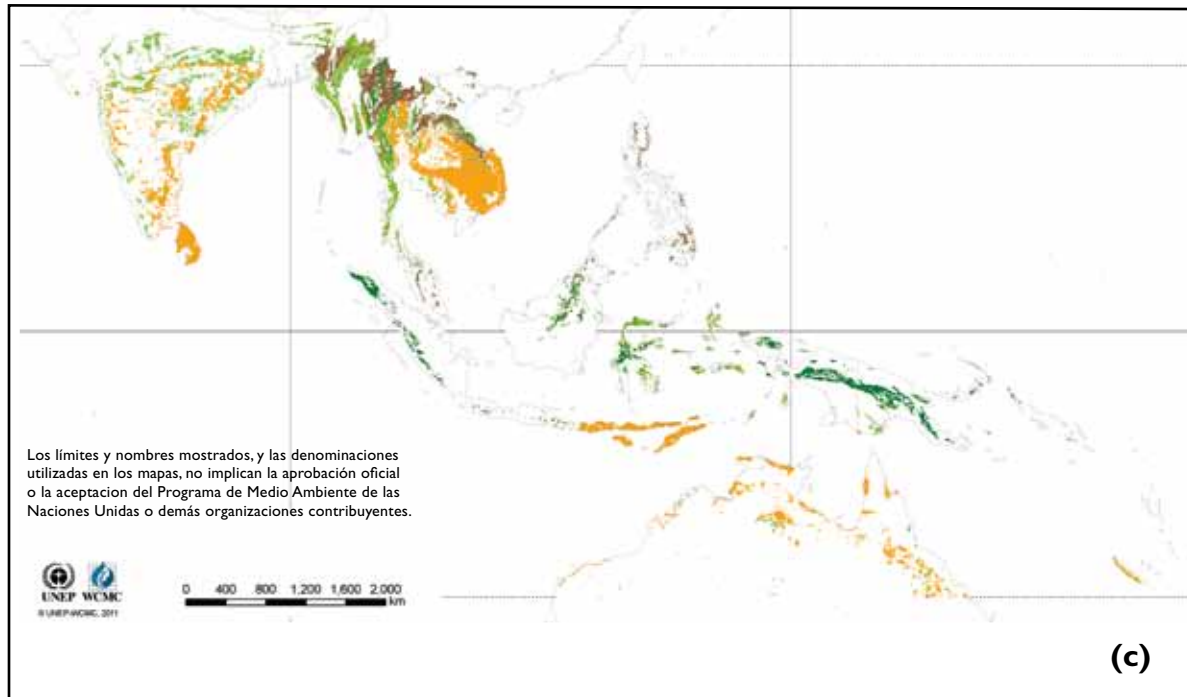
Tanto las especies siempreverdes como las caducifolias crecen estrechamente juntas, formando una canopia principal continua de hasta 35 m de altura. Las características estructurales compartidas por los bosques tropicales estacionales y siempreverdes incluyen árboles emergentes, árboles con contrafuertes, enredaderas leñosas y epífitas, aunque fueran menos prevaletientes en los bosques estacionales que en los siempreverdes. La presencia de bambúes es lo que distingue los bosques estacionales, de los bosques siempreverdes. Los bosques tropicales estacionales retienen un alto grado de complejidad estructural, aunque normalmente la estratificación de la canopia, no está tan desarrollada como la de los bosques siempreverdes. Suelen ser menos diversos que los bosques siempreverdes, aunque su riqueza en especies de árboles puede igualarse en algunos lugares a los de los bosques siempreverdes (Elliott *et al.*, 1989). Aunque en los bosques tropicales estacionales los animales sigan siendo los principales polinizadores y dispersadores de semillas, la polinización y dispersión de semillas por el viento es más común que en los bosques siempreverdes. Los bosques tropicales estacionales pueden ser más resistentes al calentamiento global que los bosques siempreverdes, ya que su flora y fauna ha evolucionado para afrontar la sequía estacional.

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES



- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Bosque tropical seco |  Bosque estacional (bosque de hoja caduca/semi-siempreverde latifolio) |
|  Bosque montano alto |  Bosque natural perturbado |
|  Bosque montano bajo |  Masas de agua |
|  Bosque estacional (bosque semi-siempreverde húmedo latifolio) | |

Extensión de bosques tropicales secos de a) América Central/del Sur b) África y c) Asia, basado en la clasificación del UNEP-WCMC de 1990, derivado de una cantidad de diferentes fuentes nacionales e internacionales. Las escalas y fechas varían según las fuentes, y esta síntesis puede ser considerada como muestra de la cobertura global en aproximadamente 1995. © UNEP-WCMC, 2011.



Desafíos de la restauración de bosques tropicales estacionales

Muy poco se sabe sobre la fenología, propagación y silvicultura de la vasta mayoría de las especies de árboles en estos bosques: lo cual es claramente un problema, cuando se planifica una plantación de árboles. En climas estacionalmente secos, se pueden plantar árboles solo al comienzo de la estación de lluvia, pues se les debe dar el tiempo necesario para que sus raíces penetren la profundidad suficiente para sobrevivir la primera estación seca. De modo que el cronograma debe ser diseñado con el fin de hacer crecer los árboles a un tamaño apto para el trasplante a comienzos de la estación de lluvia, sin importar cuándo se produzcan las semillas o la rapidez a la que crezcan las plántulas. Esto requiere mucha investigación de la fenología de los árboles, la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas.

Los bambúes presentan uno de los mayores desafíos para la restauración de bosques tropicales estacionales, ya que suprimen el crecimiento de los árboles que son plantados en su cercanía. Sus densos sistemas de raíces explotan todo el suelo, arrojan una sombra espesa y en la estación seca, ahogan las plántulas cercanas con una gruesa capa de hojarasca. Por ello, controlar (pero no eliminar) los bambúes es esencial para una restauración exitosa de bosques tropicales estacionales. Por suerte, las cañas y los brotes de bambú son productos útiles, por lo que a la población local normalmente no le hace falta que se les anime a cosecharlos.

En algunos bosques tropicales estacionales degradados, los suelos ricos pueden haber sido agotados severamente y por consiguiente, están bajos en materia orgánica y minerales, como el fósforo. Estos suelos pueden requerir que se les añada materia orgánica y/o un fertilizante inorgánico para que las plántulas puedan establecerse y prosperar.

Las plantas invasivas y el deambular del ganado buscando comida, presentan grandes problemas para los bosques tropicales estacionales, que deben ser abordados en un trabajo conjunto con la población local. Los bosques tropicales estacionales son más vulnerables a incendios que los bosques siempreverdes, de modo que eliminar la maleza, construir cortafuegos y establecer un programa efectivo de prevención contra incendios, son todas cuestiones particularmente importantes cuando se trata de reforestar estos tipos de bosques.

Cuadro 2.4. Bambúes.



Como hierba gigante, los bambúes pueden suprimir el establecimiento de árboles, pero también son un componente natural de los bosques tropicales estacionalmente secos y una fuente de varios productos forestales. Muchas especies exhiben una floración masiva a intervalos que duran años o décadas, tras la cual las plantas mueren.

Los bambúes son enormes hierbas 'leñosas' de la familia Poaceae (Gramineae), con más de 1,400 especies creciendo principalmente en los trópicos y sub trópicos. Son pan-tropicales, con la mayoría de especies en la región Asia-Pacífico (1,012, con 626 en China solamente) y África con los menos. Los bambúes más grandes crecen hasta 15 m de altura, y sus troncos pueden alcanzar los 30 cm de diámetro. Son las plantas leñosas de crecimiento más rápido del mundo y están entre las más útiles. Las cañas de bambú son utilizadas para todo tipo de construcciones temporales y para la fabricación de muebles, las chancadas se utilizan para tejer esteras y canastas, mientras que los brotes son una verdura popular en la cocina oriental.

Los bambúes son clasificados en dos tipos: bambú aglutinación y ejecución de bambú. Los bambúes ejecución producen rizomas muy largos, que pueden extenderse subterráneamente a distancias considerables. Cada nodo del rizoma puede producir un nuevo brote, del cual puede desarrollarse un nuevo sistema de rizomas. Esta característica es a veces beneficiosa, por ejemplo controla la erosión del suelo — pero también permite que esta planta se vuelva invasiva y suprima el crecimiento y establecimiento de árboles. Si la restauración de bosque es amenazada por bambú invasivo, se tiene que controlar. Cortar los brotes puede ser efectivo, pero si no es vigilado de cerca, se obtendrá el efecto contrario, al estimular la expansión subterránea de los rizomas. Por ello, se puede aplicar un herbicida sistémico como glifosato (Roundup) a los tocones de los culmos cortados para matar a los rizomas. Los bambúes son rasgos característicos de algunos bosques tropicales estacionales, de modo que, aunque pueda ser necesario suprimirlos al comienzo del establecimiento de árboles, se les debe permitir a volver a crecer después.



Bosques tropicales secos

Los bosques tropicales secos son muy comunes a 12–20° de latitud del ecuador, donde la precipitación pluvial anual es de 300–1,500 mm y la estación seca dura de 5 a 8 meses. Estos bosques crecen a menudo estrechamente entremezclados con bosques estacionales. Las transiciones abruptas entre los dos, suelen ser el resultado de una historia de incendios o de variaciones en la humedad del suelo. Los bosques tropicales secos más extensos, son los tipos más secos de miombo y los bosques sudaneses en África, la caatinga y el chaco en América del Sur y los bosques caducifolios de Dipterocarpaceae en Asia. Estructuralmente, los bosques tropicales secos son más simples que los bosques tropicales húmedos. Son predominantemente caducifolios, con una canopia irregular y a veces discontinua, de hasta 25 m de altura, que permite el desarrollo de una rica y variada capa del suelo, que es a veces, dominada por hierbas. No hay grandes árboles emergentes, contrafuertes o bambúes. Las trepadoras leñosas y epífitas son infrecuentes, pero las enredaderas son más comunes. Los bosques tropicales comparten varias familias y géneros de especies de plantas encontradas, en regiones tropicales más húmedas, pero la mayoría de las especies son diferentes. Son menos ricos en especies que los bosques tropicales más húmedos, pero son el hogar de muchas especies que no viven en ningún otro tipo de bosque (endémicos de hábitat); esto sucede especialmente en los bosques secos de la costa.

Los bosques tropicales secos tienen una preferencia por árboles que florecen de manera llamativa (frecuentemente cuando el árbol está sin hojas) que son polinizados por abejas especialistas, polillas y aves (los colibríes en los neotrópicos y, en menor medida, pájaros de sol y diceidos en los trópicos del Viejo Mundo). Las semillas de hasta un tercio de los árboles y del 80% de las trepadoras leñosas son dispersadas por el viento (Gentry, 1995).

Desafíos de la restauración de bosques tropicales secos

Los bosques tropicales secos son quizás, los tipos de bosques tropicales más amenazados (Janzen, 1988; Vieira & Scariot, 2006) con sólo el 1–2% de sus áreas originales permaneciendo intactas (Aronson *et al.*, 2005). Son mucho más fáciles de despejar que los bosques siempreverdes, de modo que han sido sujetos a una degradación más larga e intensa, incluyendo la tala para madera y leña, la quema y el sobrepastoreo.

La plantación de árboles solo es posible durante un breve lapso, al comienzo de la estación de lluvia, y el período de crecimiento para el desarrollo de las raíces es corto (normalmente menos de 6 meses, antes de la llegada de la estación seca). Es por ello importante, que se planten solamente especies de árboles de alto rendimiento, y éstos pueden ser más difíciles de encontrar que en otros tipos de bosques tropicales, ya que hay menos especies de árboles para escoger. La producción de frutos es más estacional que en tipos de bosques más húmedos, la latencia de las semillas es

Hay pocas epífitas que crecen en los bosques secos y éstas son altamente tolerantes a la sequía; los ejemplos incluyen *Dischidia major* (arriba) y *D. nummularia* (abajo) (Apocynaceae), las imágenes aquí, son de las que crecen en *Shorea roxburghii* (Dipterocarpaceae) en el norte de Tailandia. La *Dischidia major* cosecha nutrientes que son liberados por las actividades de hormigas que albergan sus hojas huecas.



CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

Bosque seco
dominado por
Acacia, Kenya.
(Foto:A. McRobb)



más común, y las plántulas crecen más lentamente en el vivero. Todos estos factores presentan desafíos a la hora de producir árboles de almácigo en los trópicos secos, y requieren de una investigación considerable.

Sin embargo, los mayores impedimentos para la restauración de bosques tropicales secos son: el clima caliente y seco, los suelos pobres y los incendios. Los sitios disponibles para la restauración, suelen ser aquellos que son demasiado infértiles para la agricultura (Aronson *et al.*, 2005). Los suelos son muchas veces lateríticos y duros, de modo que cavar huecos para plantar árboles, es trabajo duro y costoso. En la estación seca, las capas superficiales del suelo se desecan rápidamente. En la estación de lluvia, se anegan a causa del pobre drenaje, ahogando y matando los árboles plantados. Problemas como éstos se pueden superar, por ejemplo, mejorando el suelo antes de plantar árboles, usando abono verde; añadiendo gel de polímero, que absorbe agua, a los huecos de plantación; regando los árboles inmediatamente después de plantados y aplicando 'mulch' orgánico. Todas estas medidas pueden reducir la mortandad post-plantación, pero también aumentan los costos. La maleza crece relativamente despacio en sitios secos, de modo que no es tan problemático como en sitios más húmedos, pero aplicaciones frecuentes y liberales de fertilizantes son esenciales durante las primeras 2–3 estaciones de crecimiento.

Las hierbas secas y la hojarasca proveen un combustible ideal para incendios. Por ello, tomar medidas de prevención de incendios es particularmente importante cuando se restaura bosques tropicales secos. Otras presiones humanas intensas, incluyen la introducción de especies de plantas invasivas y el pastoreo de ganado. Es esencial divulgar programas entre la población local para enfrentar estos problemas. No obstante, en algunos sitios la resistencia de los bosques secos perturbados puede ser lo suficientemente alta, como para iniciar la recuperación del bosque, simplemente previniendo incendios y removiendo al ganado (ver **Sección 5.1**).

Bosques tropicales en las montañas

Con mayor altitud, aumenta también la precipitación pluvial, mientras que las temperaturas medias bajan (en promedio 0.6°C por cada 100 m ascendidos), lo cual resulta en tasas de evaporación más bajas y tasas de descomposición más lentas. Por ello, la materia orgánica se acumula en los suelos a elevaciones más altas, mejorando su capacidad para retener el agua. Por consiguiente, los bosques en las montañas son más frescos y húmedos que los de las tierras bajas adyacentes, y su estructura, estatura, composición de especies y fenología foliar pueden cambiar abruptamente y a cortas distancias. En las partes más secas de los trópicos, los bosques caducifolios al pie de las montañas dan lugar a bosques mixtos caducifolios más arriba, con bosques siempreverdes confinados a las laderas y a las cumbres más altas. Florísticamente, ascender una montaña en los trópicos es análogo a viajar en dirección opuesta al ecuador: los géneros de árboles típicos de las tierras bajas tropicales son gradualmente reemplazados, por aquellos que se asocian más con los bosques de zonas templadas.

Los bosques en las montañas han sido tradicionalmente divididos en bosques montanos ‘bajos’ y ‘altos’, aunque la transición entre los dos es frecuentemente indistinta y la elevación en la que se encuentran es altamente variable, dependiendo de la latitud, la topografía y el clima prevaleciente. Los ecosistemas más extensos de los bosques tropicales montanos se encuentran en los trópicos asiáticos y en los Andes de América del Sur. Los bosques montanos menos extensos están en África, especialmente en Camerún y a lo largo del margen oriental de la cuenca de Zaire.

Bosque montano bajo, norte de Tailandia.

Bosques tropicales montanos bajos

La transición de un bosque de tierras bajas a montano bajo es gradual y puede darse en cualquier nivel entre los 800 y 1,300 m de altura. El bosque montano bajo es mayormente siempreverde en los trópicos más húmedos o siempreverde mixto con bosque caducifolio en las latitudes más estacionales. Los árboles tienden a ser más bajos que en los bosques de tierras más bajas (15–33 m de altura), con pocos o ningún emergente. Los contrafuertes, caulifloros y bejucos son menos evidentes, mientras que las epífitas son más comunes. La diversidad de especies es generalmente alta, debido a la variación de altitud, aspecto y ladera que resultan en cambios drásticos en la precipitación pluvial, dirección del viento y temperatura.

Bosques tropicales montanos altos y bosques nubosos o nublados

El cambio más dramático en los bosques montanos ocurre donde las montañas se encuentran con las nubes; por encima de 1,000 m en las montañas costeras o insulares, o por encima de los 2,000–3,500 m en el interior. Empapados de la persistente o frecuente neblina, ‘los bosques nubosos’ (también llamados bosques ‘nublados’ o ‘musgosos’) se caracterizan por sus árboles atrofiados, con troncos y ramas retorcidas (normalmente sofocados por epífitas) y copas compactas, compuestas de hojas pequeñas y gruesas. Aunque la diversidad de especies suele ser más baja en los bosques



CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES



Bosque nuboso, Irian Jaya. (Foto:A. McRobb)

montanos bajos, los niveles de endemismo son altos, porque las poblaciones de plantas y animales específicas del hábitat evolucionan genéticamente aislados.

La materia orgánica se acumula en los suelos (porque la descomposición es lenta en el frío clima montano) haciéndolos altamente ácidos. La precipitación pluvial es alta, pero hasta el 60% del agua que llega al suelo viene de gotas de rocío que son capturadas por las copas de los árboles (denominado 'goteo de neblina'). Además, los suelos ricos en materia orgánica de los bosques montanos altos tienen una gran capacidad para almacenar agua, convirtiendo estos bosques, en las zonas de cuencas hidrográficas más importantes para el suministro de agua de muchos países. A pesar de esto, los bosques nubosos están hoy entre los ecosistemas terrestres más amenazados del mundo (Scatena *et al.*, 2010). A través de Centro América y los Andes de América del Sur, los bosques nubosos están siendo despejados para establecer horticultura y agricultura de subsistencia, a pesar de sus suelos pobres y terrenos accidentados. En las Américas y en África, los bosques nubosos siguen siendo talados para la cría de ganado. Otras amenazas incluyen la tala para obtener madera y combustible, incendios, minería, construcción de carreteras y caza.

Tabla 2.1. Características generales de los bosques en montañas en los trópicos húmedos (adaptado de Whitmore (1998)).

Característica	Tierras bajas	Montano bajo	Montano alto
Altura de canopia	25–45 m	15–33 m	1.5–18 m
Árboles emergentes	Característico (hasta 60 m de alto)	Frec. ausente (hasta 37 m de alto)	Normalmente ausente (hasta 26 m de alto)
Hojas pinnadas	Frecuente	Raras	Muy raras
Tamaño de hojas (plantas leñosas)	Mesófilos	Mesófilos	Micrófilos
Contrafuertes	Frecuente, grandes	Raros, pequeños	Usualmente ausentes
Cauliflora	Frecuente	Rara	Ausente
Trepadoras grandes leñosas	Abundante	Menos abundante	Raras o ausentes
Epífitas vasculares	Frecuente	Abundante	Frecuente
Epífitas briófitas	Ocasional	Común	Abundante

Desafíos de la restauración de bosques tropicales montanos

El trabajo en montañas escarpadas y húmedas está plagado de problemas logísticos. El acceso es frecuentemente un gran obstáculo. Malas carreteras y la necesidad de vehículos 4x4 pueden incrementar bastante los costos de la restauración. Deslizamientos periódicos bloquean los caminos y entierran los sitios de restauración, y la erosión del suelo es un problema constante. Sólo las obras de ingeniería mayor pueden prevenir los deslizamientos de tierra, pero la erosión del suelo se puede reducir (a pequeña escala), aplicando 'mulch'.

Las bajas temperaturas ralentizan el crecimiento de los árboles plantados, y en depresiones y barrancos la helada puede matarlos en el invierno. Cuanto más cerca del suelo están las copas de los árboles, más grande es el riesgo de daño por helada. Cortando la maleza alrededor de los árboles plantados, reduce la altura a la que se junta el aire helado. Sacar el mulch de los troncos de los arbolitos muy jóvenes y envolverlos con papel periódico también puede ayudar a reducir el riesgo de daño por helada.

La exposición de los árboles plantados a fuertes vientos es otro problema particular en las montañas. Una solución a largo plazo puede ser la plantación de los primeros árboles en lugares estratégicos, en forma de cortavientos. Los cortavientos entonces protegerán a los árboles plantados posteriormente y pueden funcionar como corredores para la dispersión de semillas (especialmente si están conectados con el bosque restante), mejorando a la vez el reclutamiento de especies de árboles (Harvey, 2000).

La extinción de animales dispersores de semillas de bosques montanos altamente fragmentados, puede reducir seriamente la tasa de reclutamiento de las plántulas de nuevas especies de árboles (no plantadas) a las parcelas restauradas y así retardar la recuperación de la biodiversidad. Atraer aves dispersoras de semillas plantando árboles de frutos pulposos que maduran rápidamente (el método de especies 'framework' (ver **Sección 5.3**)), o erigiendo perchas artificiales para aves a través de los sitios de restauración también puede ayudar a aliviar el problema (Kappelle & Wilms, 1998; Scott *et al.*, 2000).

Se ha previsto que grandes áreas de tierra agrícola, que alguna vez fueron bosques nubosos, están ahora siendo abandonadas en América Latina porque la gente migra a áreas urbanas, creando de esta manera, considerables oportunidades de restauración (Aide *et al.*, 2011). Sin embargo, estas áreas pueden convertirse en pastizales propensos a incendios, lo cual previene la sucesión natural. Por consiguiente, podría ser necesario despejar el terreno de la hierba antes de plantar las plántulas de árboles o de la siembra directa. La plantación de árboles nativos de los bosques nubosos ha estado limitada por falta de conocimiento básico de la biología reproductiva, el tratamiento de las semillas, la propagación y la silvicultura de la mayoría de las especies (Álvarez-Aquino *et al.*, 2004).

Efectos del sustrato

El tipo de suelo y la roca subyacente puede afectar enormemente la estructura y la composición de los bosques tropicales. Por ejemplo, podzoles altamente ácidos (pH <4) y pobres en nutrientes en América del Sur y el sudeste de Asia soportan **bosques de brezales**. Aquí, pequeños y tupidos árboles siempreverdes, frecuentemente de unas pocas especies dominantes, forman una canopia baja, sin capas, principalmente de especies micrófilos, por encima de un denso sotobosque leñoso. Restaurar bosques como estos puede ser impedido por los suelos altamente ácidos y propensos a la erosión, que causan una alta mortandad entre los árboles plantados y corroen las etiquetas metálicas atadas a ellos para su monitoreo.



Bosque de brezal,
Irian Jaya.
(Foto:A. McRobb)

La **pedra caliza** también soporta una vegetación única y frecuentemente rica en especies, muchas de ellas endémicas, principalmente en los trópicos estacionales del sudeste de Asia y el Caribe. La naturaleza porosa de la piedra caliza ocasiona escasez de agua durante todo el año, dando lugar a bosques y matorrales atrofiados, xeromórficos y semi-caducifolios, con baja densidad de árboles. Los terrenos precipitados, suelos de poca profundidad y altos niveles de endemismo, presentan desafíos a la restauración. El aniego del sustrato o la inundación con agua fresca, tanto estacional- como permanente, también genera tipos de bosques únicos. Confinados al sudeste de Asia, los **bosques pantanosos de turba** crecen en áreas bajas y planas, donde la descomposición de la materia orgánica muerta se ralentiza por el encharcamiento del agua. Esto produce la acumulación de turba ácida, que finalmente forma 'domos' de hasta 20 km de ancho y 13 m de profundidad (Whitmore, 1998). Se pueden distinguir hasta seis comunidades forestales, creciendo en bandas más o menos concéntricas desde el centro del domo hacia sus márgenes (Anderson, 1961). Cada comunidad tiene pocas especies de árboles, pero varias son específicas del hábitat y sensitivas al nivel del agua dentro de la turba. Esta circunstancia, junto con la naturaleza semi-fluida del sustrato, complica la restauración. Cuando seca, la turba es altamente inflamable, y los incendios de turba son notoriamente difíciles de extinguir. Por ello, la recuperación hidrológica (es decir, 'remojamiento' de la turba represando los canales de drenaje) es con frecuencia, el primer paso a dar en la restauración de los bosques pantanosos de turba (Page *et al.*, 2009). Con ello se previenen incendios, se preserva el abastecimiento de carbono y se crean mejores condiciones para el establecimiento de los árboles.

Bosque aferrándose
a peñascos de
piedra caliza,
Tailandia del sur. La
escasez de agua es
un desafío para las
plantas que crecen
en este hábitat.





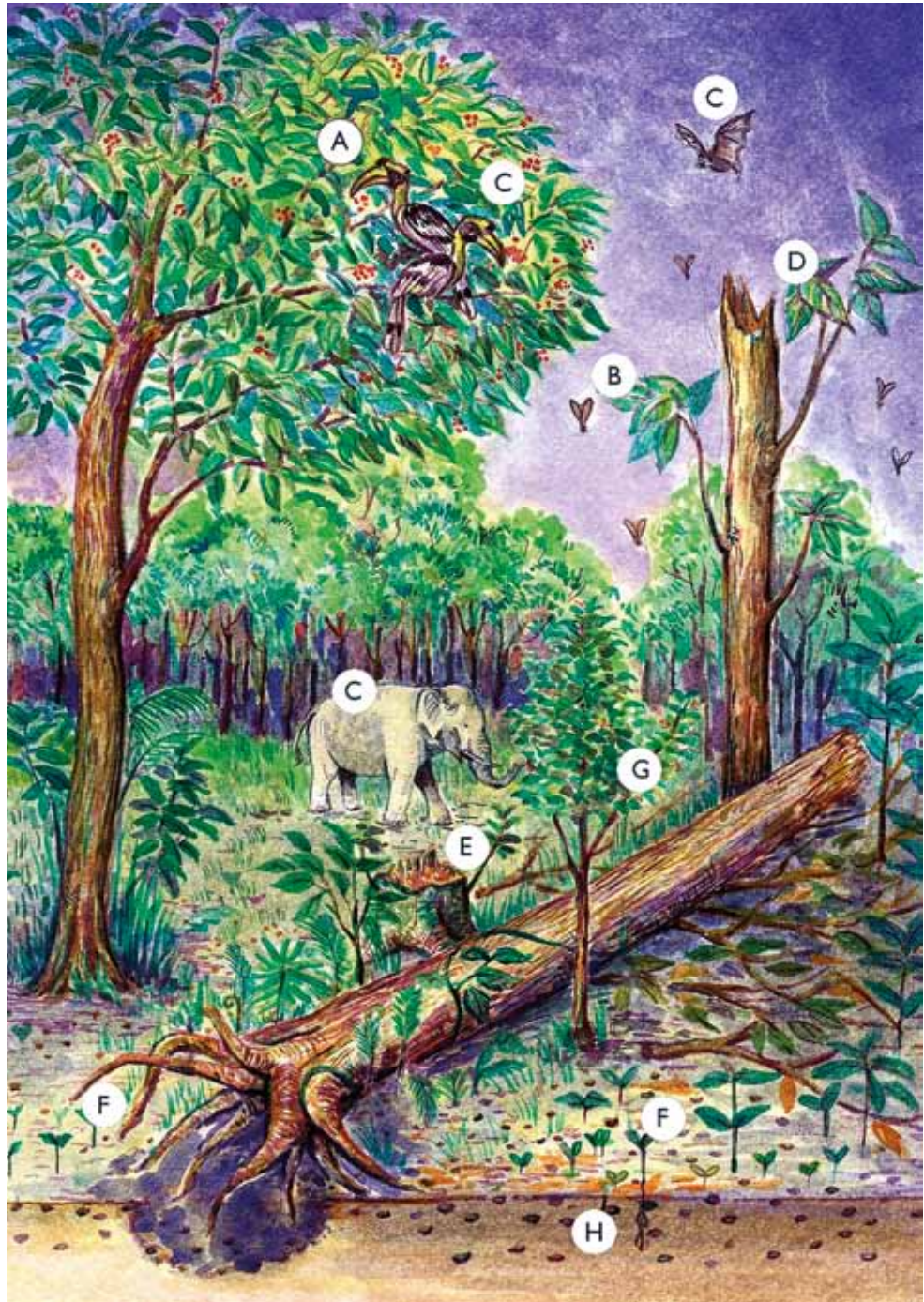
Los bosques de pantano de agua fresca, comprenden una gama de diversos tipos de bosques que son periódicamente inundados, en algunos lugares hasta 9 meses cada año, y que crecen extensivamente a lo largo de los ríos tropicales más caudalosos del mundo (el Amazonas, el Congo y el Mekong). En estos bosques, las palmeras y los árboles de Dicotiledóneos crecen hasta 30 m de altura, formando frecuentemente capas de canopia. Cuanto más tiempo permanezcan inundados estos bosques cada año, más baja será su riqueza en especies de árboles. Los bosques de pantano, dependen de la acumulación de vegetación herbácea muerta antes de que puedan echar raíces. Los arbustos se establecen primero, muchas veces seguidos por las palmeras y luego por árboles más grandes. Esto se convierte en una gradiente de diferentes tipos de bosque, en la medida que se van extendiendo en dirección opuesta al agua abierta. Tomar en cuenta tal zonificación, manipulando la sucesión natural y/o plantando árboles en sitios inundados, es altamente problemático, pero gracias a los suelos ricos en nutrientes, la restauración puede progresar rápidamente una vez que se haya logrado el establecimiento de los árboles.

Bosque de pantano,
Sago, Irian Jaya.
(Foto:A. McRobb)

En los estuarios tropicales y a lo largo de las líneas costeras, los bosques de pantano de agua fresca ceden a los **manglares** en la zona inter-mareal. Los manglares son dominados por algunas especies de árboles tolerantes a la sal, frecuentemente con las características de raíces aéreas (raíces expuestas para el intercambio gaseoso) que permiten a las plantas, superar las condiciones anaeróbicas en el sedimento en el que crecen. Como otros bosques de pantano, los manglares están zonificados en diferentes tipos de bosques a lo largo de la gradiente húmeda-a-seca. La mayoría produce anualmente, semillas en grandes cantidades dispersadas por el agua y algunas son vivíparas (es decir, las semillas germinan en el árbol antes de su dispersión). Los proyectos de restauración en las llanuras de marea son tan difíciles como peligrosos. Plantar propágulos o pequeños plantones tiene una tasa de éxito muy baja. Plantar árboles jóvenes más grandes es más costoso pero también más exitoso. La desecación, alta salinidad y ataques por insectos herbívoros son los problemas más comunes (Elster, 2000).

Manglar, Irian Jaya.
(Foto:A. McRobb)





La sucesión procede rápidamente en las brechas que dejan los árboles caídos dentro del bosque intacto. (A) Los árboles cercanos que producen frutos proveen (B) una densa lluvia de semillas. El bosque circundante provee hábitat para (C) animales dispersores de semillas. (D) Árboles dañados y (E) tocón de árbol que rebrota. (F) Plántulas y (G) árboles jóvenes, que antes habían sido suprimidos por la densa canopia del bosque, ahora crecen velozmente. (H) Semillas germinando en el banco de semillas del suelo. En grandes áreas deforestadas, muchos de estos mecanismos naturales de regeneración de bosque, están reducidos o bloqueados completamente debido a las actividades humanas.

Variaciones regionales

El informe anterior apenas describe los tipos de bosques más amplios. Dentro de cada uno de ellos, los esquemas de clasificaciones de bosques de los países individuales distinguen muchos sub-tipos, frecuentemente con una terminología inconsistente.

2.2 Comprender la regeneración de los bosques

La restauración de bosques trata ante todo de acelerar la sucesión natural, de modo que su éxito depende de la comprensión y del mejoramiento de los mecanismos naturales de una sucesión de bosques.

¿Qué es una sucesión?

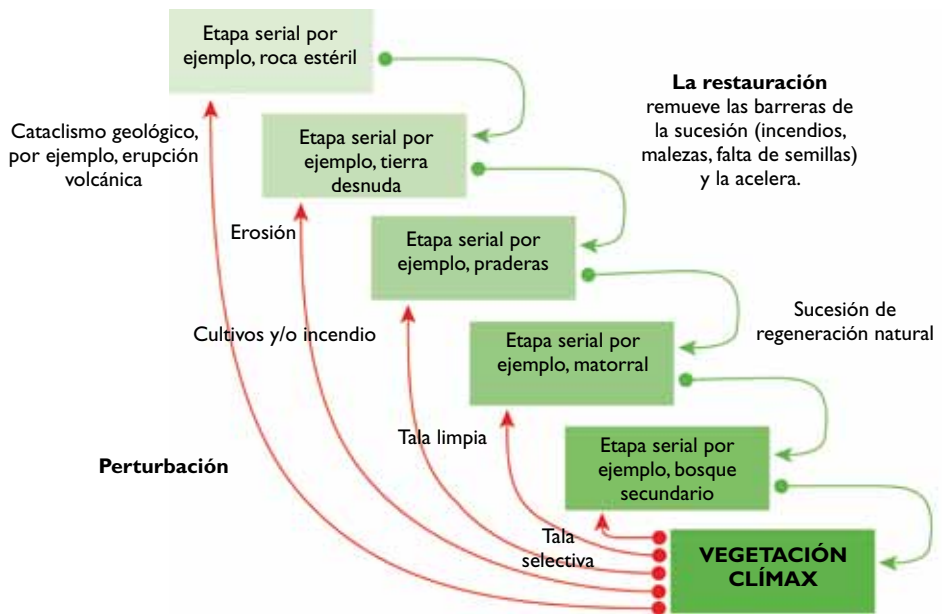
Una sucesión es una serie de cambios predecibles en la estructura y la composición del ecosistema, que ocurren después de una perturbación. Si se le permite seguir su curso, la sucesión resultará finalmente en un ecosistema clímax, con la máxima biomasa, complejidad estructural y biodiversidad dentro de las limitaciones impuestas por el suelo local y las condiciones climáticas.

Un bosque tropical clímax no es un sistema estable inmutable, sino más bien un equilibrio dinámico que sufre constantes perturbaciones y renovaciones. Al morir los grandes árboles, se forman brechas que se llenan rápidamente, al tiempo que crecen las plántulas y árboles jóvenes en su carrera por explotar la luz. De modo que un bosque clímax, es un mosaico siempre cambiante de brechas de árboles caídos de diferentes tamaños, parches en regeneración y bosque primario, con una composición de especies que varía de acuerdo al micro-hábitat, la historia de las perturbaciones, las limitaciones de la dispersión de semillas y los eventos casuales. Todos estos factores contribuyen a la alta diversidad de especies característica en la mayoría de bosques tropicales clímax.

Las perturbaciones más extensas, hacen que el bosque clímax retroceda a un ecosistema temporal más temprano o a una 'etapa serial' en la secuencia sucesional. La naturaleza de la etapa serial depende de la severidad de la perturbación. Una perturbación mayor, como una erupción volcánica, destruye completamente la comunidad de las plantas y el suelo, haciendo que la tierra se revierta a al etapa serial más temprano: la roca desnuda. Perturbaciones menos severas, tales como la tala, la agricultura y los incendios, convierten a los bosques en tierras cubiertas de hierbas y arbustos. Una vez que la perturbación cesa, ocurren cambios secuenciales en la composición de especies, debido a las interacciones entre las plantas, los animales y su medio ambiente. La roca desnuda es colonizada por líquenes y musgos, un proceso conocido como 'sucesión primaria', en la que en lo sucesivo, los arbustos eclipsan a las hierbas, y mucho tiempo después, los mismos árboles pioneros son eclipsados por los árboles clímax que son tolerantes a la sombra. De modo que el bosque se vuelve progresivamente más denso, estructuralmente más complejo y más rico en especies, mientras la sucesión lo va propulsando hacia la condición clímax.

Aún en las mejores condiciones, este proceso puede llevar de 80 a 150 años para completarse, y más frecuentemente la continua perturbación humana, previene totalmente el logro del bosque clímax. Por ello, es necesaria la reforestación activa, donde se desea que el regreso de los bosques clímax sea más rápido que lo que sería posible por vía natural.

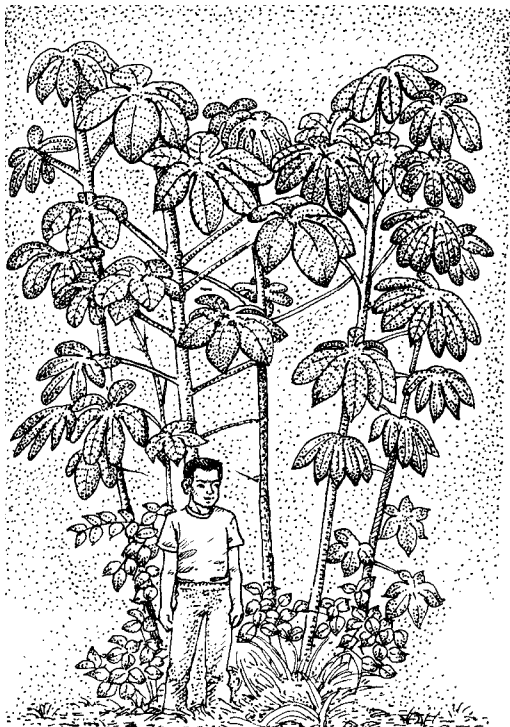
Comprender la sucesión de bosques es esencial para diseñar métodos efectivos de restauración de bosques. La restauración de bosques busca eliminar aquellos factores que previenen el progreso de la sucesión natural de bosques.



Especies de árboles pioneros y clímax

Las especies de árboles pueden ser divididas en dos grupos extensos, dependiendo de cuándo aparecen en la secuencia de la sucesión. Las especies de árboles pioneros son las primeras en colonizar los lugares desforestados, mientras que las especies de árboles clímax se establecen después, una vez que los pioneros hayan creado condiciones más umbrosas, frescas y húmedas. Las principales distinciones entre los dos grupos, son que las semillas de los pioneros sólo pueden germinar expuestas a la luz del sol y sus plántulas no pueden crecer en la sombra, mientras que las semillas de las especies de árboles clímax pueden germinar en la sombra y sus plántulas son tolerantes a ella.

Cecropia, el género más grande de los árboles pioneros en los neotrópicos



Las semillas de los árboles pioneros pueden permanecer en estado latente en el suelo, y germinar cuando se forma una brecha y la intensidad de la luz aumenta. Sin embargo, una vez que el dosel del bosque se cierra, ninguna plántula de las especies pioneras puede crecer hasta la madurez. Por ello, los árboles pioneros crecen velozmente y normalmente producen una gran cantidad de frutos pequeños y semillas desde una edad joven. Éstas son dispersadas por el viento o por pequeñas aves a largas distancias, y así van encontrando nuevas áreas perturbadas que colonizar. Las especies pioneras pueden ser divididas en dos grupos: pioneros tempranos (por ejemplo, *Cecropia*, *Macaranga*, *Trema*, *Ochroma*, *Musanga*, *Acronychia* y *Melochia*) y pioneros tardíos y persistentes (por ejemplo, *Acacia*, *Alstonia*, *Octomeles*, *Neolamarckia*, *Terminalia* y *Ceiba*). Los tempranos son los primeros en colonizar las áreas abiertas, pero raras veces viven más de 20 años, mientras que los tardíos crecen 60–80 años y pueden sobrevivir aún cuando las especies de árboles clímax han empezado a alcanzar el dosel arbóreo (y aunque sus plántulas estén ausentes en la capa del suelo).

2.2 COMPRENDER LA REGENERACIÓN DE LOS BOSQUES

Las especies de árboles clímax crecen lentamente a lo largo de muchos años y van gradualmente consolidando su posición en el bosque, antes de florecer y dar fruto. Tienden a producir grandes semillas que son dispersadas por animales, con baja (o sin) capacidad de período inactivo y grandes reservas de alimento que pueden sustentar las plántulas en las condiciones umbrosas. De allí que las especies de árboles clímax puedan regenerar debajo de su propia sombra, dando lugar a la composición relativamente estable de especies del bosque clímax. Pueden vivir durante cientos de años.

En realidad, la división entre las especies de árboles pioneras y de especies clímax podría ser demasiado simplista. Muchas especies de árboles clímax crecen muy bien cuando son plantadas en sitios deforestados. Su ausencia en áreas como éstas, no se debe a menudo a las condiciones calientes y secas de los sitios deforestados, sino a que sus grandes semillas fracasan al ser dispersadas naturalmente hacia estas áreas. La mayoría de las especies de árboles clímax son tolerantes a la sombra, pero no dependientes de ella. Esto significa que los programas de siembra de árboles no tienen que limitarse a especies pioneras. Plantar especies clímax cuidadosamente seleccionadas junto a pioneras significa un atajo para la sucesión y ayuda a conseguir un bosque clímax más rápido, que si hubiera ocurrido de manera natural.

Ashton *et al.* (2001) plantea una visión más refinada de los estados sucesionales de las especies de árboles, al diferenciar seis agrupaciones de árboles. Los 'pioneros de iniciación' efímeros (es decir, pioneros tempranos) son los primeros árboles que forman una canopia y dejan en la sombra a las hierbas. Los 'pioneros de exclusión de los tallos' (es decir, los pioneros tardíos o persistentes) emergen con el fin de dominar el dosel arbóreo. Éstos siguen viviendo, mientras a su lado crecen las especies de árboles de canopia de la sucesión tardía (es decir, clímax), la biomasa del bosque aumenta, y la composición de especies de árboles y la estructura del bosque se vuelven más diversos. Las plántulas de los pioneros desaparecen con el desarrollo del sotobosque, marcando un hito crucial en el progreso de la sucesión. Ashton *et al.* (2001) subdividió a las especies de árboles de las sucesiones tardías en cuatro grupos, dependiendo de la posición de sus copas: dominantes (abundantes en la canopia general o como árboles emergentes), no-dominantes (menos abundantes en la canopia general), sub-canopia y sotobosque. Las seis agrupaciones pueden estar ya presentes como plántulas tempranas en la sucesión (si la dispersión de semillas no está limitada). Si fuera practicable, la restauración de bosque debería intentar imitar esto, incluyendo especies representativas de todas las agrupaciones entre aquellas especies plantadas o alentadas a regenerarse.

Fases del desarrollo de crecimiento (modificado a partir de Ashton *et al.* (2001))



Limitaciones de la reforestación natural

Las perturbaciones que van más allá de un cierto 'umbral', pueden interrumpir los normalmente eficientes mecanismos ecológicos de recuperación del bosque, causando que la vegetación entre en un 'estado alternativo'. Una buena analogía es la banda elástica. Después de estirla moderadamente, la banda vuelve fácilmente a su forma original de un aro. Sin embargo, si se estira demasiado, la banda se rompe y se convierte en una corta tira de goma elástica, es decir, en un estado alternado. Las propiedades que le permitían volver a ser un aro, han sido destruidas. Nunca recuperará su forma circular original sin intervención humana, para que vuelvan a enlazarse los dos extremos y se restaure el aro.

Por analogía, la deforestación a gran escala seguida por una continua perturbación, destruye los mecanismos naturales de sucesión que permiten la recuperación del bosque. Grandes áreas deforestadas son frecuentemente ocupadas por un estado serial pre-clímax (denominado 'plagioclimax'), como praderas, o por una comunidad completamente nueva de especies exóticas invasivas. Cuando las acciones humanas bloquean la sucesión, es necesaria la intervención humana para reinstalar los mecanismos de recuperación del bosque y permitir a la sucesión a proceder hacia el estado clímax.

Los modelos de 'dinámica de umbral' tratan de explicar y predecir estos cambios irreversibles. Muestran cómo los mecanismos de 'retroalimentación positiva' restringen al ecosistema en su estado degradado, aún cuando las perturbaciones ya han cesado. Por ejemplo, talar los árboles en un bosque tropical aumenta los niveles de luz, lo cual lleva a una creciente cobertura de hierbas. Una pradera caliente y seca se quema con más facilidad que un bosque fresco y húmedo, dando lugar a más incendios que destruyen las plántulas de árboles establecidos. Este nuevo régimen de incendios previene que el sitio se convierta en un bosque, aún cuando se detienen las actividades de tala.

Entender estos umbrales y los mecanismos de retroalimentación que hacen que los ecosistemas del bosque se queden en un estado de continua degradación, es muy útil para elaborar las estrategias apropiadas de restauración del bosque.

La regeneración en las grandes áreas deforestadas

En grandes áreas deforestadas, el establecimiento de árboles de bosque depende normalmente de la disponibilidad de las fuentes locales de semillas y la dispersión de éstas hacia los sitios deforestados. Las semillas deben aterrizar donde las condiciones son apropiadas para la germinación y deben escaparse de la atención de los animales que las comen, los llamados 'predadores de semillas'. Después de la germinación, las semillas deben ganar una intensa competencia con la maleza por la luz, la humedad y los nutrientes. Los árboles en crecimiento también deben ser protegidos de ser consumidos por incendios y por el ganado.

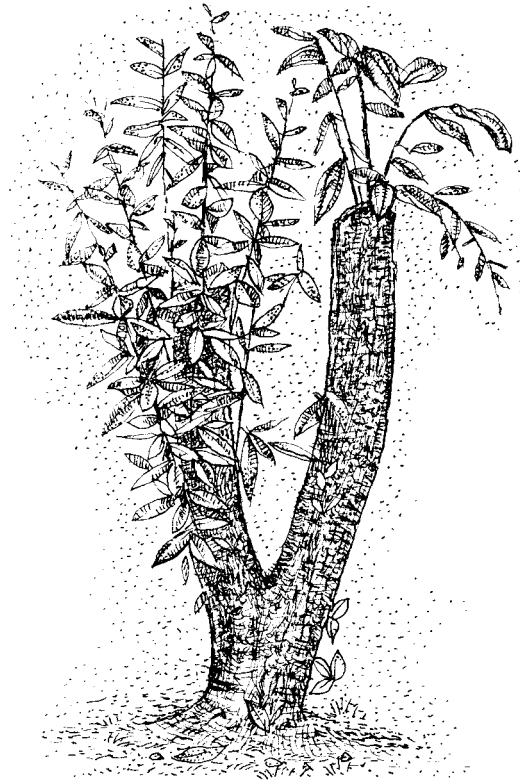
Limitaciones de regeneración desde el banco de semillas

Cuando se tala un bosque, grandes cantidades de semillas permanecen en el suelo (el banco de semillas). No obstante, la gran mayoría de especies de árboles tropicales, produce semillas que son viables solamente por períodos cortos. De modo que, si un bosque es despejado y el sitio es luego quemado y cultivado durante más de un año, la mayoría de las semillas del banco original de semillas del bosque de clímax mueren, porque o no tienen capacidad vegetativa (Baskin & Baskin, 2005) o la tienen solo durante un período muy corto (deben germinar en 12 semanas (Unidad de Investigación de Restauración de Bosques, 2005; Garwood, 1983; Ng, 1980)). Por consiguiente, la regeneración del bosque depende casi enteramente de las semillas que son dispersadas hacia sitios deforestados desde los restos de bosques supervivientes o de los árboles aislados en el paisaje circundante.

'Cópice'

Algunas especies de árboles pueden volver a crecer a partir de viejos tocones o fragmentos de raíces incluso años después de haber sido cortados (Hardwick *et al.*, 2000). Los brotes durmientes alrededor del collar de raíces de un tocón, pueden retoñar espontáneamente, generando a menudo varios tallos. A esto se le llama 'cópice'. Ejemplos de especies de árboles tanto pioneros como clímax, pueden volver a crecer de esta manera. Sacando provecho de las reservas de nutrientes que están almacenadas en las raíces, los brotes de cópice pueden volver a crecer rápidamente por encima de las malezas circundantes y tener más resistencia al fuego y pastoreo que las plántulas. Los tocones más grandes tienden a producir tallos más vigorosos y en cantidades superiores que los tocones más pequeños. Además, los tocones más altos sobreviven mejor a los incendios, al pastoreo y a la competencia con las malezas que los más cortos, porque los tallos están normalmente por encima del nivel de la perturbación. Por ello, al proteger los tocones de los árboles, se le da una ventaja a la regeneración del bosque.

No obstante, las especies que se regeneran a partir de tocones, representan normalmente, solo una pequeña proporción de la comunidad de los árboles del bosque clímax. Aunque estos árboles pueden acelerar la recuperación de la estructura forestal, el ingreso de semillas de otras especies, sigue siendo esencial para restaurar la riqueza total de especies de árboles de un bosque clímax.



Los tocones de árboles son una fuente principal de regeneración natural, particularmente en bosques recientemente talados.

La importancia de árboles semilleros

Todos los árboles empiezan la vida en forma de semilla, de modo que la sucesión de los bosques depende en última instancia de la presencia de árboles frutales cerca. En un paisaje que está en gran medida deforestado, algunas especies pueden estar representadas por unos cuantos individuos dispersos y aislados que se han librado de la sierra eléctrica, o puede haber fragmentos de bosque restante que producen semillas de una amplia gama de especies de árboles. Los árboles frutales no solamente proveen semillas para la regeneración de los bosques, sino que también proveen animales frugívoros y dispersores de semillas. Por ello, en un paisaje deforestado la protección de cualquier árbol maduro que siga en pie mejora enormemente la regeneración.

Lluvia de semillas

La lluvia de semillas consiste en que todas ellas, caigan sobre un sitio en particular, transportadas hasta allí por el viento o depositadas por animales. La densidad y composición de especies de la lluvia de semillas de árboles, en cualquier sitio deforestado depende de la cercanía de árboles frutales y en la eficacia de los mecanismos de dispersión de semillas. La lluvia de semillas es más densa, y contiene la mayoría de especies de árboles si está cerca de un bosque intacto, y es escasa en el centro de grandes áreas deforestadas. El agotamiento de la lluvia de semillas, es una de las causas más importantes del fracaso de la regeneración de bosques, o de la baja diversidad de especies entre las comunidades de árboles que colonizan los sitios deforestados. Alentar la dispersión de semillas es, por lo tanto, un elemento vital de la restauración de bosques.

La dispersión de semillas por el viento

En los trópicos húmedos, relativamente pocas especies de árboles producen semillas dispersadas por el viento. Los que sí lo hacen son normalmente los árboles más altos del bosque, frecuentemente los emergentes (por ejemplo *Dipterocarpus*). La dispersión por el viento es más común en los trópicos estacionales o secos, pero aún allí menos de la mitad de las especies de árboles son dispersados por el viento (aunque estas especies pueden constituir hasta el 60% de árboles individuales (FORRU, 2005)).

Las semillas dispersadas por el viento tienden a ser pequeñas y ligeras, y frecuentemente tienen alas u otras estructuras que ralentizan su caída, permitiéndoles ir a la deriva con las corrientes de aire. La mayoría son depositados dentro de unos escasos cientos de metros del árbol parental, pero algunos son alzados por vendavales y transportados varios kilómetros. Para maximizar la distancia de dispersión, muchas especies tropicales de árboles dispersados por el viento producen frutos al final de la estación seca, cuando la velocidad media de las ráfagas de viento está en su punto más alto. Por consiguiente, las especies de árboles dispersadas por el viento son capaces de colonizar sitios deforestados de hasta 5–10 km desde la fuente de semillas. Si las condiciones del lugar permiten que estas especies se establezcan naturalmente, habrá poca necesidad de incluirlos en el programa de plantación.

Con especies distribuidas en todas las regiones tropicales, las palomas que comen frutos son los 'caballos de batalla' de la regeneración natural del bosque, debido a su capacidad de dispersión de semillas. Aquí, vinagos raboñías (*Treron sphenurus*) se deleitan con los frutos de *Hovenia dulcis*.

Dispersión de semillas por animales

La mayoría de las especies de árboles tropicales, dependen de los animales para la dispersión de sus semillas. Animales que al comer el fruto, o descartan las semillas o las tragan, y posteriormente las regurgitan o las defecan a cierta distancia del árbol parental (denominado 'endozooecoria'). Los frutos que contienen semillas dispersadas por animales, tienden a ser de color intenso con el fin de atraer a animales, y carnosos, proveyendo una recompensa alimenticia para sus dispersores.

La dispersión de semillas de árboles de bosque hacia los sitios deforestados, depende de los animales que regularmente se mueven entre los dos hábitats. Desafortunadamente, son más bien pocos los animales que se aventuran hacia las áreas abiertas, por miedo a exponerse a predadores. Aparte de aves y murciélagos, pocos animales viajan largas distancias entre el lugar donde comen los frutos y donde depositan las semillas. Además, muchas semillas son trituradas por los dientes o destruidas por los jugos gástricos.



El tamaño máximo de las semillas que pueden ser dispersadas por un animal, depende del tamaño de su boca. Especies pequeñas de animales siguen siendo relativamente comunes en los trópicos, pero la mayoría de las especies mayores, capaces de dispersar semillas grandes, son ahora raras o han sido cazadas. En el pasado, los herbívoros grandes eran sin duda, los dispersores de semillas más importantes desde los bosques hacia las áreas deforestadas. Elefantes, rinocerontes, tapires, ganado salvaje y algunos tipos de venados frecuentemente consumen frutos en el bosque, antes de salir a las áreas abiertas en las noches para pastar u hojear. Con sus grandes bocas, los largos tiempos de retención y las largas distancias de itinerancia, estos animales pueden tragar las semillas más grandes y transportarlas largas distancias. Al haber eliminado a la mayoría de estos grandes mamíferos, de gran parte de sus zonas de distribución originales, se está previniendo la dispersión de muchas especies de árboles de semillas grandes (Stoner & Lambert, 2007).

Como las aves y los murciélagos pueden volar, pueden dispersar semillas a largas distancias. Las aves del bosque como aras, loros, cálaos, palomas, tilopos, cotingas, arrendajos, titiras y bulbules

2.2 COMPRENDER LA REGENERACIÓN DE LOS BOSQUES

son particularmente importantes, ya que algunas especies en estos grupos se sienten cómodos tanto en los bosques como en sitios deforestados y pueden dispersar semillas entre los dos. Los murciélagos frugívoros también son importantes dispersores de semillas, porque vuelan a largas distancias y dejan caer semillas al volar. En contraste con la mayoría de las aves, los murciélagos son nocturnos y no pueden ser identificados con binoculares. Por consiguiente, se ha hecho poca investigación sobre su papel en la regeneración de los bosques. La investigación sobre murciélagos es por ello, una prioridad para mejorar las técnicas de reforestación de bosques. Las especies de mamíferos no voladores que siguen siendo relativamente comunes, y muy probablemente dispersen semillas entre bosques y áreas degradadas, incluyen cerdos salvajes, monos, venados, civetas y tejones, aunque nuevamente debido a sus hábitos nocturnos, hay muy poca información disponible sobre las capacidades de dispersión de semillas de estos animales.

¿Hasta dónde se dispersan las semillas?

La mayoría de las semillas caen a pocos metros del árbol parental, y la densidad de la 'sombra de semillas' de un solo árbol disminuye drásticamente según nos distanciamos del árbol. No obstante, de acuerdo a Clark (1998), aproximadamente el 10% de las semillas de los árboles, son dispersadas a distancias mucho más largas, de 1 a 10 km. Se sabe poco sobre la dispersión a larga distancia, porque es muy difícil medirla, pero es vital para la recuperación de la biodiversidad en cualquier lugar de restauración, que esté a más de unos cientos de metros de distancia del bosque intacto. En la ausencia de la dispersión natural de semillas a larga distancia, puede que sea necesario que los humanos tengan que recolectar las semillas de los bosques y luego 'dispersarlas' en los sitios escogidos para la restauración, para lograr restaurar la comunidad de árboles del bosque clímax. La dispersión de semillas asistida por humanos, puede ser la única manera de asegurar que las especies de árboles de semillas grandes estén representadas en los bosques restaurados.

La depredación de semillas

A lo largo de su vida, un solo árbol produce vastas cantidades de semillas, aunque para reemplazarse a sí mismo, necesite producir solo una semilla que eventualmente crecerá y se convertirá en un adulto reproductivo maduro. La necesidad de cosechas tan excesivas de semillas, es debido a que la mayoría de ellas caen donde las condiciones son desfavorables para la germinación o son destruidas por animales. Las ricas reservas de alimento contenidas en las semillas, las convierte en comida nutritiva para los animales. Algunas semillas pueden pasar intactas por los tractos digestivos de los animales, pero muchas otras son trituradas por los dientes y digeridas.

La depredación de semillas es la destrucción de su potencial para germinar, cuando una animal tritura o digiere su embrión. Puede ocurrir cuando las semillas estén todavía adheridas al árbol parental (depredación pre-dispersión), pero tiene su mayor impacto para la regeneración del bosque, cuando las semillas que han sido dispersadas hacia las áreas deforestadas, son consumidas (depredación post-dispersión).

Niveles de depredación de semillas

La depredación de semillas puede limitar seriamente la regeneración natural del bosque. Los niveles de depredación de semillas son altamente impredecibles, variando de 0% a 100%, dependiendo de la especie de árbol, vegetación, localidad, estación etcétera. En sitios deforestados, la depredación de semillas es normalmente lo suficientemente severa como para reducir la supervivencia de la mayoría de especies de árboles (Hau, 1999), pero los niveles disminuyen a medida que se logra cerrar la canopia y la regeneración del bosque progresa. La depredación de semillas afecta tanto a la distribución, como a la abundancia de especies de árboles. Es también una fuerza evolucionaria potente, que obliga a los árboles a evolucionar varios mecanismos morfológicos y químicos para defender a sus semillas contra ataques, por ejemplo, venenos, cubiertas de semillas duras etcétera.

Los animales que comen semillas en los bosques en regeneración

Pequeños roedores e insectos, particularmente las hormigas, son los depredadores más abundantes, capaces de afectar a la regeneración del bosque (Nepstad *et al.*, 1996; Sánchez-Cordero & Martínez-Gallardo, 1998). Los roedores prosperan en la maleza y vegetación herbácea que domina la mayor parte de los sitios deforestados, pero las poblaciones se disminuyen apenas empieza a cerrarse la canopia y eclipsa a la maleza (Pena-Claros & De Boo, 2002). Los estados sucesionales más tempranos también soportan densidades más grandes de hormigas que las regeneraciones más avanzadas (Vasconcelos & Cherret, 1995).

Susceptibilidad de las semillas a la depredación

La teoría ecológica sugiere que la susceptibilidad de cualquier especie de árbol, en particular a la depredación de semillas, depende de los valores alimenticios de su semilla. Los animales deben consumir semillas que les proveen con los máximos nutrientes, requiriendo a la vez poco esfuerzo para encontrarlas. Se ha prestado mucha atención a la influencia del tamaño de la semilla en la vulnerabilidad a la depredación. Las semillas grandes, proveen una gran recompensa alimenticia a aquellos depredadores que son capaces de procesarlas. Los animales pueden localizar fácilmente las semillas grandes, porque son más visibles y emiten más olor que las semillas más pequeñas, pero los roedores pequeños tienen dificultades para procesar semillas muy grandes. Al contrario, las semillas pequeñas tienen un bajo valor alimenticio y son fácilmente pasadas por alto (Vongkamjan, 2003; Mendoza & Dirzo, 2007; Forget *et al.*, 1998). Cuanto más tiempo permanece una semilla en el suelo antes de germinar, mayor es la probabilidad de que el depredador la descubra. Por consiguiente, las semillas que tienen períodos vegetativos más largos, sufren normalmente tasas de depredación más altas.

La naturaleza de la cubierta de la semilla, es importante en la protección de las semillas ante los depredadores. Una cubierta dura, gruesa y lisa dificulta a los roedores alcanzar el contenido nutritivo de la semilla. Se han observado las bajas tasas de depredación entre las semillas de muchas especies de árboles del bosque, que tienen una cubierta dura o gruesa (por ejemplo, Hau, 1999; Vongkamjan, 2003). Sin embargo, puede haber una compensación entre los efectos del grosor de la cubierta de la semilla y la duración del período de la latencia, en la depredación de semillas. Una cubierta gruesa causa con frecuencia un período de latencia prolongado, lo cual alarga el período durante el que las semillas están disponibles a los depredadores. Pero aún la cubierta de semilla más dura tiene que ablandarse justo antes de la germinación, presentando una ventana de oportunidad para los depredadores de semillas. Vongkamjan (2003) observa que varias semillas de especies de árboles de cubierta gruesa, son atacadas durante este período vulnerable.

Los dientes de las ratas pueden romper fácilmente las semillas grandes, pero estos animales también pueden actuar de dispersadores de pequeñas semillas.



2.2 COMPRENDER LA REGENERACIÓN DE LOS BOSQUES

Los patrones de dispersión, pueden asimismo afectar la probabilidad de la depredación. Las semillas que son dispersadas de forma homogénea a través de un área grande (un patrón que frecuentemente resulta de la dispersión por el viento) son difíciles de encontrar por los depredadores, mientras que un patrón de dispersión en agregados (característica de la dispersión por animales) significa que, una vez que se han descubierto las semillas, probablemente todo el agregado de semillas será depredado. Los cultivos de frutos esporádicos pueden superar este problema saciando a los depredadores con semillas: es imposible que los depredadores de semillas puedan comerse todas las semillas en cultivos tan extensos, de modo que muchas semillas escapan a la depredación.

Cuando se trata de la depredación de semillas, la literatura está llena de afirmaciones contradictorias y puntos de vista opuestos. Los efectos de la depredación de semillas dependen, sin duda, de las interacciones complejas entre muchas variables, incluyendo la naturaleza del medio ambiente, la disponibilidad de fuentes alternativas de comida y las preferencias individuales, y las capacidades de procesamiento de semillas, de la especie particular del depredador de semillas presente. Pero la depredación de semillas, es ciertamente un factor que debe considerarse en la restauración de bosques, particularmente en aquellos que incluyen la siembra directa. Los modelos que pueden predecir certeramente los efectos generales de la depredación de semillas, están aún por hacerse; por ello, se deben evaluar los efectos de la depredación de semillas individualmente en cada lugar.

La latencia de las semillas

Una semilla puede no germinar inmediatamente, después de haber sido depositada en un lugar deforestado. El período de latencia es el lapso durante el cual, la semilla fracasa en germinar bajo condiciones favorables. Permite que las semillas se dispersen en el tiempo óptimo, que sobrevivan los rigores de la dispersión (como ser ingerido por un animal) y finalmente germinen, cuando las condiciones sean óptimas para el establecimiento de las plántulas.

En general, las especies de árboles que crecen en climas más frescos y más secos tienen más probabilidad de producir semillas latentes que aquellas que crecen en climas más calientes y más húmedos. Por ello, la latencia es más frecuente entre los bosques caducifolios y especies de árboles montanos, que entre las especies de árboles de bosques siempreverdes de tierras bajas. En un estudio de más de 2,000 especies de árboles tropicales clímax de bosques siempreverdes, semi-siempreverdes, caducifolios, de sabana y montanos, Baskin y Baskin (2005) informaron que el 43%, el 48%, el 65%, el 62% y el 66% de las especies, respectivamente, exhibieron períodos de latencia de más de 4 semanas. La latencia fisiológica (el desarrollo inhibido del embrión) es el mecanismo más frecuente del estado vegetativo, entre las especies de árboles de bosques siempreverdes, semi-siempreverdes y montanos, mientras que la latencia física (causado por las coberturas impermeables que restringen la absorción de humedad y el intercambio gaseoso) es más prevalente entre las especies de árboles de bosques caducifolios y de sabana.

Germinación

La transición de semilla a plántula es un período peligroso en la vida de un árbol. Para activar la germinación, el período vegetativo tiene que llegar a su fin, y tienen que existir los niveles apropiados de humedad y luz. Debido a su pequeño tamaño, escasas reservas de energía y poca capacidad de hacer fotosíntesis, una plántula joven es muy vulnerable a los cambios en las condiciones medioambientales, competencia de otras plantas y ataques de herbívoros. Una sola oruga, puede destruir completamente a una plántula joven en pocos minutos, mientras que las plantas más grandes son más resistentes a ataques como éstos.

Época de la germinación de semillas

En los trópicos siempre húmedos cerca del ecuador, donde la humedad del suelo es continuamente alta, las condiciones para la germinación de semillas permanecen favorables durante todo el año. Pero en los trópicos estacionales, el momento óptimo para la germinación de las semillas de árboles, es justo después de empezar la estación de lluvia. Las plántulas que se establecen durante este periodo tienen toda la temporada de la estación de lluvia para desarrollar reservas de energía y se arraigan profundamente en el suelo. Un sistema de raíces extenso, permite a los plantones sobrevivir el calor desecante de su primera estación seca, accediendo a la humedad almacenada profundamente en el suelo. Otra razón para la germinación, al comienzo de la estación de lluvias, es que en este periodo se liberan los nutrientes del suelo. Los incendios de la época de sequía liberan nutrientes como ceniza, la cual penetra en el suelo con las primeras lluvias. Al incrementarse la humedad del suelo, se acelera la descomposición de la materia orgánica, liberando más nutrientes en la tierra.

Aunque el número de especies de árboles que germinan, llega a su punto álgido al comienzo de la estación de lluvia, la dispersión de semillas a nivel de la comunidad de árboles, sucede durante todo el año. Esto se debe, a que el momento óptimo de la dispersión de semillas para cualquier especie de árbol individual, depende de una multitud de factores variables, como la disponibilidad estacional de polinizadores, el tiempo necesario para que una flor fertilizada desarrolle un fruto maduro y la disponibilidad estacional de agentes dispersores. Las variaciones entre las especies en la duración del período vegetativo, permite a cada especie dispersar sus semillas en un tiempo óptimo y aún así germinar en el período más favorable, al comienzo de la estación de lluvia. Por ejemplo, las semillas que son dispersadas al comienzo de la estación de lluvia, tienden a tener un período vegetativo muy corto o germinan inmediatamente, mientras que los que son dispersados seis meses antes, tienden a tener un período vegetativo de alrededor de seis meses. Este fenómeno ha sido bien documentado para América Central y el sudeste asiático (Garwood, 1983; Unidad de Investigación de Restauración de Bosques, 2005) y es de crucial importancia para la producción de árboles en almácigos, a partir de semillas (ver **Capítulo 6**).

Las condiciones necesarias para la germinación

La germinación de semillas depende de muchos factores, los más importantes son, suficiente humedad del suelo y condiciones de luz adecuadas (no solamente niveles totales de luz, sino también la calidad de la misma). Los grandes sitios deforestados, típicamente dominados por una densa maleza, presentan medio ambientes hostiles para las semillas de árboles. En estos lugares, las temperaturas fluctúan dramáticamente entre la noche y el día. La humedad es más baja. La velocidad del viento es mayor y las condiciones del suelo son bastante más duras que las que hay en un bosque. Muchas semillas se entrapan en la canopia de la maleza, donde se secan y mueren, antes de poder alcanzar el suelo.

Aún para las semillas que penetran la canopia de la maleza, las hierbas presentan otro problema. Una gran proporción de luz roja a luz roja lejana, estimula la germinación de muchas especies de árboles pioneras, particularmente aquellas con semillas pequeñas (Pearson *et al.*, 2003). Al absorber proporcionalmente más luz roja que luz roja lejana, la densa canopia que forma el follaje de las malezas remueve este estímulo vital. Por ello, la germinación de la mayoría de las especies de árboles del bosque, dependen de la presencia de los así llamados 'micro-sitios de germinación', donde las condiciones son favorables. Éstos son sitios diminutos con una cobertura de maleza reducida y suficiente humedad del suelo, para inducir la germinación de semillas. Incluyen montículos desmoronados de termitas, rocas cubiertas de musgo y especialmente troncos en estado de descomposición. Los últimos proveen un medio rico en humedad y nutrientes, excelente para la germinación de semillas y están normalmente libres de maleza.



Troncos en descomposición de árboles muertos proveen excelentes micro-sitios en los que las semillas pueden germinar.

Los animales pueden mejorar la germinación de semillas

El pasaje de una semilla por el sistema digestivo de un animal, puede afectar tanto el porcentaje total de la germinación, como el ritmo de la misma. Para la mayoría de árboles tropicales, el pasaje por el intestino de un animal no tiene efecto en la germinación, pero para aquellas especies que muestran una respuesta, la germinación es más bien mejorada que inhibida. Travaset (1998) informa que la ingestión por animales, mejoraba el porcentaje de germinación en un 36% de la especie de árbol examinada; pero reducía el porcentaje de germinación sólo en el 7%. Las semillas del 35% de las especies de árboles incluidas en el estudio, germinaron más rápido después de pasar por el intestino de un animal; sólo el 13% demoró la germinación. No obstante, las respuestas son altamente variables: las semillas de especies del mismo género, o aún de diferentes plantas individuales de la misma especie, pueden tener diferentes respuestas. De modo que, el consumo de semillas por animales puede ser esencial para la dispersión, pero es menos importante para mejorar la germinación.

El establecimiento de plántulas

Después de que una semilla haya germinado, las mayores amenazas para la supervivencia en áreas deforestadas, son la competencia con la maleza, la desecación y los incendios.

La maleza puede suprimir la regeneración

Las áreas deforestadas están normalmente dominadas por varias especies de pastos, hierbas y arbustos que demandan luz. Estas plantas explotan el suelo y desarrollan densas canopias, que absorben la mayor parte de la luz disponible para la fotosíntesis. Las habilidades de una densa canopia de maleza, para atrapar las semillas que ingresan e inhibir la germinación alternando la calidad de la luz, ya han sido mencionadas. Pero incluso si las semillas penetran la canopia de la maleza y germinan, las plántulas emergentes quedan entonces a la sombra de la maleza y son privados de luz, humedad y nutrientes.

Puesto que los árboles han evolucionado para crecer altos, tienen que gastar considerable energía y carbono para producir la sustancia leñosa, la lignina, que mantiene su futuro gran tamaño contra la gravedad. Libres de la necesidad de producir lignina, las hierbas pueden crecer mucho más rápido que los árboles. Sólo cuando una copa de árbol eclipsa las malezas circundantes, y su sistema de raíces penetra debajo del de las malezas, el árbol gana una ventaja. En este punto,

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

las malezas demandantes de luz son rápidamente eclipsadas por la sombra que proyecta el árbol, pero la competencia de las malezas mata normalmente, la mayoría de plántulas de árboles mucho antes de que puedan crecer por encima de éstas.

Las malezas también previenen la regeneración de bosques, al proveer combustible para incendios en las estaciones secas. La mayoría de las malezas herbáceas sobreviven el fuego, como semillas, bulbos o tubérculos enterrados en el suelo, o (por ejemplo, los pastos), poseen puntos de crecimiento bien protegidos que rebrotan después de los incendios. En los árboles, los puntos de crecimiento están desprotegidos, elevados a los extremos de las ramas. Por ello, en un incendio, las plántulas pequeñas son frecuentemente completamente incineradas por las hierbas secas en llamas que los rodean. El rebrote de las plántulas mayores es posible, pero solo después del primer 1 año de edad más o menos.

Las malezas que son más capaces de suprimir la regeneración del bosque, son casi siempre especies exóticas que han sido deliberadamente introducidas y ahora florecen fuera del alcance de sus enemigos naturales. Muchas malezas en África y Asia vienen de América Central o de América del Sur. Varias están en la familias Leguminosae y Asteraceae (Compositae) y normalmente comparten las siguientes características: i) son perennes que crecen rápidamente y que florecen y dan frutos a una edad temprana; ii) producen grandes cantidades de semillas (o esporas) que pueden sobrevivir en un estado latente y así acumularse en el banco de semillas del suelo; iii) son resistentes después de quemar (aún cuando las partes por encima del suelo estén totalmente destruidas, pueden regenerar rápidamente de las raíces); iv) producen químicos que inhiben la germinación y/o el crecimiento de plántulas de otras especies de plantas (alelopatía); y v) también pueden producir químicos que son tóxicos para los animales que son dispersadores potenciales de semillas. Los informes sobre la toxicidad de plantas exóticas invasivas para el ganado doméstico son comunes, y estas plantas son probablemente igualmente tóxicas para la vida silvestre. Algunas de las especies más extendidas están listadas en la **Tabla 2.2**.



Pastos, helechos macho (*Pteridium aquilinum*) y especies de la familia Asteraceae (Compositae) (por ejemplo, *Chromolaena odorata*, en la imagen) está entre las malezas tropicales más ubicuas que son capaces de suprimir la regeneración natural del bosque.

Tabla 2.2. Las malezas dominantes capaces de suprimir la regeneración del bosque.

Especies	Familia	Forma	Origen	Invasiva exótica	Alelopática	Tóxica a ungulados	Notas
<i>Dicranopteris linearis</i>	Gleicheniaceae	Helecho trepador	Asia, África Australasia, Pacífico	—	Sí	Desconocido	Forma matorrales de 2 m de altura en tierra degradada desnuda. No es tolerante a la sombra o al fuego.
<i>Chromolaena</i> spp.	Asteraceae (Compositae)	Hierba o arbusto	Nuevo Mundo	África Occidental, Asia, Australia	Sí	Sí	Syn. <i>Eupatorium</i> (Asteraceae (Compositae)). Semillas dispersadas por el viento.
<i>Lantana camara</i>	Verbenaceae	Arbusto espinoso, revuelto	Nuevo Mundo	África Central, Australia, India, Sudeste de Asia, Islas del Pacífico	Sí	Sí	Introducida como ornamento. Frutos dispersados por aves, venenosos para humanos. Hace buen cópice, resistente.
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosae	Pequeño árbol	Belize, México	Islas del Pacífico, Australia del Norte	Sí	Sí (en grandes dosis)	Introducido para leña, forraje y producción de biomasa. El fuego promueve la germinación de semillas.
<i>Mikania micrantha</i>	Asteraceae (Compositae)	Trepadora	Nuevo Mundo	Nepal, India	Sí	No	Introducido para camuflaje militar. La trepadora dispersada por el viento ahoga a los árboles. Amenaza el hábitat de rinocerontes y tigres en Nepal.
<i>Mimosa pigra</i>	Leguminosae	Arbusto espinoso	Nuevo Mundo	África, India, sudeste de Asia, Australia, Islas del Pacífico	Sí	Desconocido	Introducido para la estabilización de bancos de ríos. Acumula densos bancos de semillas. Prospera en áreas húmedas y en suelos perturbados.
<i>Pteridium aquilinum</i>	Dennstaedtiaceae	Helecho	Pan-tropical	—	Sí	Sí	Promueve incendios. Resistente al fuego. Carcinogénico.
Pastos (por ejemplo, <i>Imperata</i> , <i>Pennisetum</i> , <i>Andropogon</i> , <i>Panicum</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Saccharum</i> y muchas especies de otros géneros)	Poaceae	Hierbas	Muchos	Muchos	Algunas especies	No	Promueve incendios. Resistente al fuego.

Depredadores de plántulas

En términos de biomasa y especies, los insectos son los herbívoros más abundantes, pero en los bosques tropicales, la mayoría de especies de insectos comen solo unas pocas especies de plantas. Por ello, los insectos herbívoros solamente son capaces de causar alta mortandad si las plántulas crecen cerca del árbol parental. Esto se debe a que los insectos que son atraídos por los árboles parentales, también encuentran y se comen a las plántulas que crecen debajo de éstos (Coley & Barone, 1996). En sitios deforestados sin embargo, las plántulas pequeñas y separadas unas de otras son mucho más difíciles de encontrar, de modo que los insectos herbívoros raramente inhiben la regeneración del bosque.

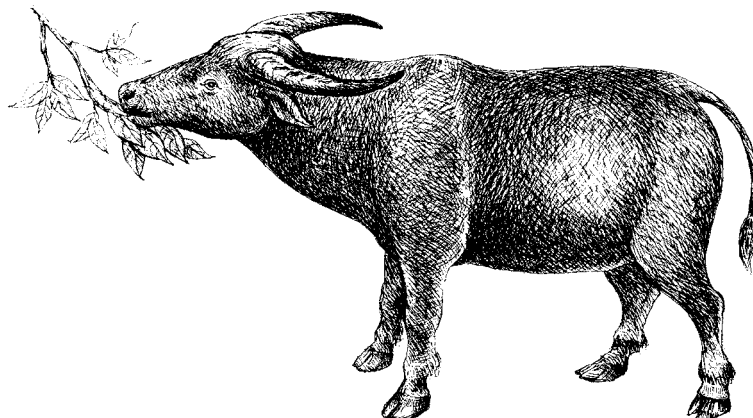
En contraste, los grandes mamíferos herbívoros pueden tener un serio impacto en la regeneración de los bosques. Los herbívoros grandes silvestres, como los elefantes y rinocerontes, son hoy tan escasos que raramente afectan la regeneración de bosques, excepto localmente. El ganado doméstico, por otro lado, es ubicuo e impide la regeneración de bosques en grandes áreas. En la mayoría de países tropicales, es común encontrar ganado doméstico itinerando libremente a través de bosques degradados. Su impacto en la regeneración del bosque, depende de la densidad de la población. Un pequeño rebaño de ganado puede no tener un impacto significativo (y hasta pueden traer beneficios) pero, donde las poblaciones son densas, pueden paralizar totalmente la sucesión natural.

El impacto más obvio del ganado es el pastoreo de plántulas. El ganado puede ser muy selectivo, frecuentemente comiendo las hojas de especies de árboles apetitosas, e ignorando las desagradables. Los árboles impalatables o espinosos pueden, por ello, volverse dominantes, mientras que los comestibles son gradualmente eliminados. Además, el ganado pisotea indiscriminadamente los plantones jóvenes

Los efectos potencialmente benéficos del ganado, incluyen la reducción de la competencia para las plántulas de árboles, al pastorear en las malezas, aunque como se menciona arriba, algunas de las malezas típicas en los sitios deforestados contienen tóxicos que las protegen de ser comidas. Otro gran efecto benéfico del ganado puede ser la dispersión de semillas. Donde se han extirpado a los grandes ungulados silvestres, el ganado doméstico puede ser el único dispersor de semillas grandes, desde el bosque hacia los claros abiertos. Además, las huellas de sus pezuñas pueden proveer micro-sitios para la germinación de semillas en los que se acumulan humedad y nutrientes, y la maleza ha sido triturada.

El balance entre estos efectos positivos y negativos, y su relación con la densidad del rebaño, las condiciones del lugar y el tipo de vegetación, no se entienden completamente todavía. De modo que se requieren investigaciones adicionales, que nos permitan predecir los efectos generales del ganado en la regeneración de los bosques de cualquier lugar en particular.

Demasiado ganado puede devastar el bosque al prevenir la regeneración, pero también puede mantener la maleza en jaque y actuar como dispersador de semillas.



Incendios

Los incendios son una limitación importante en la regeneración de bosques. Incendios poco frecuentes y de baja intensidad, pueden ralentizar la sucesión, y alterar la composición y estructura de la vegetación que se está regenerando (Slik *et al.*, 2010; Barlow & Peres, 2007), pero los incendios frecuentes pueden prevenirla por completo, provocando la persistencia de pastizales donde, de otro modo, crecerían bosques.

Los incendios pueden ocurrir naturalmente en todos los tipos de bosques tropicales, incluso en los más húmedos. En la Amazonía, Borneo y Camerún, las capas de depósitos de carbón en el perfil profundo del suelo, muestra que los bosques húmedos se han quemado al menos periódicamente a lo largo de los últimos miles de años, en intervalos de cientos o miles de años (Cochrane, 2003). Históricamente, estos incendios han estado restringidos a períodos de sequía severa, pero ahora, la creciente degradación de los bosques, la fragmentación y el cambio climático, contribuyen a una frecuencia incrementada de incendios, incluso en los trópicos húmedos (Slik *et al.*, 2010). Las especies de los árboles de bosques tropicales húmedos siempreverdes, normalmente tienen una corteza delgada, lo cual los hace altamente vulnerables al daño causado por el fuego. Incluso incendios de baja intensidad en los bosques tropicales húmedos, tienen como resultado una alta mortandad de árboles y cambios rápidos y dramáticos en la composición de las especies de árboles, especialmente donde los incendios son recurrentes a intervalos cortos (Barlow & Peres, 2007).

Pero es en los trópicos estacionalmente secos, donde los incendios son la amenaza más prevalente para la regeneración del bosque. Al final de la estación de lluvia, la vegetación de maleza frecuentemente crece por encima de la cabeza y es prácticamente impenetrable. En la

El fuego puede arder en todos los tipos de bosques tropicales, pero es particularmente frecuente en los bosques estacionalmente secos.



CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

estación caliente, esta vegetación muere, se seca y se vuelve altamente inflamable. Cada vez que se quema, la mayoría de las plántulas que hubieran podido arraigarse entre las malezas son destruidos, mientras que las malezas y los pastos sobreviven, volviendo a crecer desde raíces o semillas que están protegidas bajo el suelo. De esta manera, la vegetación de maleza crea las condiciones que provocan incendios y al hacerlo, previene el establecimiento de los árboles que podrían eclipsar a la maleza con su sombra. Romper con este ciclo, es la clave para restaurar estacionalmente los bosques tropicales estacionales.

Las causas de los incendios

Los incendios pueden empezar naturalmente por la caída de un rayo o una erupción volcánica. Pero los incendios naturales como estos, son poco frecuentes y permiten mucho tiempo entre cada evento, para que los árboles puedan crecer nuevamente lo suficientemente grandes como para desarrollar alguna resistencia contra los incendios. Hoy en día sin embargo, la mayoría de los incendios son provocados por humanos. La razón más común para empezar un incendio es el despeje de la tierra para cultivos. Los incendios se extienden de la tierra cultivada hacia las áreas circundantes, donde matan a los árboles jóvenes y paralizan efectivamente a la regeneración de los bosques. El fuego es también un arma en disputas sobre la propiedad de tierras, se utiliza para estimular el crecimiento de pastos para el ganado y para atraer a animales silvestres para la caza. Adicionalmente al daño ecológico que causan, los incendios son un riesgo para la salud. La contaminación del humo causa problemas respiratorios, cardiovasculares y oculares, en cientos de miles de personas todos los años.

Los incendios causados por humanos se están incrementando a través de los trópicos, tanto en frecuencia como en intensidad. La causa subyacente es la creciente población humana que requiere que se despejen cada vez más bosques para la agricultura. Esto produce la fragmentación de las áreas de bosque, exponiendo más márgenes de bosque por los cuales pueden extenderse los incendios desde las áreas circundantes. Dentro de los fragmentos del bosque, la degradación crea condiciones más propicias para los incendios al abrir el dorsal arbóreo. Esto permite la invasión de pastos altamente inflamables y otras malezas, y que se acumule la leña seca. Además, el cambio climático global está resultando en condiciones más calientes y secas, que favorecen el fuego en muchas regiones tropicales, particularmente en la estación seca.

Los efectos del fuego en la regeneración

Los incendios frecuentes reducen la densidad y la riqueza de las especies de la comunidad de plántulas y árboles jóvenes (Kodandapani *et al.*, 2008). La quema reduce la lluvia de semillas (al matar los árboles semilleros) y la acumulación de semillas viables en el banco de semillas del suelo. Favorece el establecimiento de especies de árboles pioneros dispersados por el viento y demandantes de luz, a la expensa de especies clímax tolerantes a la sombra (Cochrane, 2003; Meng, 1997; Kafle, 1997). El fuego quema la materia orgánica del suelo, ocasionando una disminución de la capacidad de retener la humedad del suelo (cuanto más seco es el suelo, menos favorable es para la germinación de las semillas). También reduce los nutrientes del suelo. El calcio, potasio y magnesio se pierden como finas partículas en el humo, mientras que el nitrógeno, fósforo y azufre se pierden como gases. Al destruir a la cobertura de vegetación, el fuego incrementa la erosión del suelo. También mata los micro-organismos benéficos del suelo, especialmente los hongos micorrizales y microbios que descomponen la materia orgánica y reciclan los nutrientes. Los estudios que han comparado las áreas frecuentemente quemadas, con aquellas protegidas del fuego muestran que la prevención de incendios acelera la regeneración del bosque.

Fuego y germinación

La exposición directa al fuego, mata las semillas de la vasta mayoría de especies de árboles tropicales o reduce significativamente su germinación. Las semillas que se encuentran en la superficie del suelo son casi todas destruidas, incluso por incendios de baja intensidad, pero las

que están enterradas aunque sea solo unos pocos centímetros debajo de la superficie del suelo pueden sobrevivir normalmente (Fandey, 2009). La germinación de un número muy pequeño de especies de árboles puede, sin embargo, ser estimulada por el fuego. Si las quemaduras rompen la cobertura de la semilla sin matar al embrión, el agua que penetra en la semilla puede activar la germinación. Y las sustancias en el humo o de la madera carbonizada pueden a veces estimular la germinación químicamente. Las especies, cuya germinación puede ser estimulada por fuego, incluyen la teca (*Tectona grandis*) y algunos árboles leguminosos en los bosques tropicales secos (Singh & Raizada, 2010).

¿El fuego mata los árboles?

Las plántulas pequeñas y arbolitos jóvenes son normalmente destruidos por el fuego, pero árboles mayores pueden sobrevivir ocasionales incendios de baja intensidad (es decir, quemaduras restringidas a la hojarasca o la vegetación del suelo). Entonces, ¿cuánto tiene que crecer un árbol antes de que pueda sobrevivir a un incendio?. El grosor de la corteza, antes que la tasa general de crecimiento, es aparentemente la clave de la supervivencia (Hoffman *et al.*, 2009; Midgley *et al.*, 2010). Los árboles más grandes tienen una corteza más gruesa, que aísla su sistema vascular vital (la capa del cambium) del calor del fuego, de modo que sobreviven mejor que los árboles más pequeños. Como una guía rudimentaria, los árboles con cortezas más gruesas de 5 mm tienen una posibilidad de más del 50% de supervivencia, después de un incendio de baja intensidad (Van Nieuwstadt & Sheil, 2005). Para desarrollar una corteza de ese grosor, los árboles tienen que crecer por lo menos 23 cm en diámetro a la altura del pecho (dap), que lleva un mínimo de 8–10 años. Por ello, es probable que la regeneración de bosques sea severamente impedida donde haya incendios con más frecuencia que una vez cada 8 años. En general, los árboles de bosques siempreverdes húmedos tienen una corteza relativamente delgada, y son por ello, más susceptibles al daño por el fuego que aquellos de bosques caducifolios estacionalmente secos o secos (Slik *et al.*, 2010).

Incluso si el fuego mata las partes de un árbol que están por encima del suelo, las raíces pueden todavía sobrevivir, aisladas del calor bajo el suelo. Las reservas de alimento que se almacén en las raíces, pueden entonces ser movilizadas para soportar el crecimiento de los rebrotes (o 'cópices'), desde brotes en estado vegetativo cerca del collar de raíces o del tronco (brotes 'chupón'). Las capacidades de re-brotar varían enormemente entre las especies y es más común entre las especies de bosques secos caducifolios, que entre las especies siempreverdes de los bosques húmedos. Normalmente, un árbol tiene que crecer al menos un año antes de que pueda rebrotar. De modo que, frecuentes incendios también reducen las posibilidades de la regeneración de los bosques a partir del rebrote.

2.3 Cambio climático y restauración

El cambio climático amenaza severamente a los bosques tropicales, reduciendo el área bioclimáticamente apta para ciertas especies (Davis *et al.*, 2012) e incrementando el riesgo a gran escala de 'muerte regresiva' de bosques, en algunas áreas (Nepstad, 2007). Las negociaciones internacionales para cambiar la economía global, de carbono-dependiente a carbono-neutral, han fracasado en gran parte (pero están continuando). La quema de combustible fósil y la destrucción continua de bosques tropicales continúa vertiginosamente. De modo que parece inevitable, que las concentraciones de dióxido de carbono, metano y otros gases de invernadero continúen incrementándose a lo largo de las siguientes décadas (IPCC, 2007).

La relación entre el incremento de concentraciones atmosféricas de gases de invernadero y el calentamiento global está bien establecida. Por ello, las predicciones de un calentamiento futuro, dependen de los niveles futuros de las emisiones de gases de invernadero, que a su vez dependen del tamaño de la población humana y la actividad económica. Los modelos de computadora predicen que, con un crecimiento económico moderado y rápidas adopciones

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

de tecnologías verdes, el aire de la superficie se calentará en un promedio de 1.8°C (rango 1.1–2.9°C) a finales de este siglo. Pero con un crecimiento económico rápido y la continuada dependencia de combustibles fósiles, la ‘mejor estimación’ asciende a 4.0°C (rango 2.4–6.4°C) (IPCC, 2007). Lo que está absolutamente claro, es que se requieren ahora acciones urgentes y extremas para tratar con los cambios sin precedentes en el medio ambiente.

Los patrones de precipitaciones pluviales también cambiarán, pero hay menos acuerdo entre los meteorólogos en cómo hacerlo. El calentamiento atmosférico resultará en una evaporación mayor de los cuerpos de agua y del suelo, causando que algunas áreas se vuelvan más áridas. En esas áreas, los incendios forestales se volverán más frecuentes, añadiendo aún más dióxido de carbono a la atmósfera. Por otro lado, el incremento de vapor de agua en la atmósfera debería resultar en más lluvias, pero los cambios en las corrientes de aire globales son inciertos, de modo que hay desacuerdo sobre cuándo y dónde caerán esas lluvias extra. Los últimos modelos computarizados predicen que las lluvias se incrementarán sobre África tropical y Asia y ligeramente disminuirán sobre América del Sur tropical (por +42, +73 y –4 mm por año, respectivamente, con 2°C de calentamiento; se doblan estos valores con 4°C de calentamiento) (Zelazowski *et al.*,

Se predice que el cambio climático resultará en la reducción de las lluvias en América del Sur, donde en años de severa sequía, como en el 2005 y el 2010, ciertas áreas del bosque húmedo de la Amazonía cambian de un sumidero de carbono a ser una fuente de carbono.



2011). En los trópicos estacionales, las estaciones secas se volverán muy probablemente más secas y las estaciones de lluvia más húmedas. La mayoría de modelos de computadora, predicen un incremento en las precipitaciones pluviales en la estación de verano de monzón, en el sur y el sudeste de Asia y en África Oriental (IPCC, 2007). Las sequías también pueden causar que los bosques tropicales emitan más dióxido de carbono de lo que absorben (por la muerte de árboles e incendios), y de esta manera incrementan el problema de las emisiones de gases de invernadero (Lewis *et al.*, 2011)

Estos cambios en el clima global pueden alterar, tanto la distribución de los tipos de bosques, como los mecanismos de la regeneración de bosques descritos arriba. Puesto que el tipo de bosque clímax depende del clima, los cambios en las temperaturas y en las lluvias, alterarán el tipo de bosque clímax apropiado para cada sitio particular. El logro del tipo de bosque clímax es la última meta de la restauración de bosques, de modo que el cambio climático tendrá consecuencias profundas para la planificación y ejecución de los proyectos de restauración de bosque (ver **Sección 4.2**). Los últimos modelos predicen que las áreas en América del Sur, que actualmente tienen un clima que soporta bosques tropicales húmedos se contraerán, mientras que éstas áreas en África y el sudeste de Asia se expandirán (Zelazowski *et al.*, 2011). En América del Sur, los que fueron alguna vez bosques tropicales siempre húmedos pueden convertirse en bosques estacionalmente secos o hasta sabanas. En contraste, en África y el sudeste de Asia, no es probable que los bosques tropicales húmedos se extiendan de modo natural hacia nuevas áreas más húmedas, debido a la dispersión limitada de semillas y a la ocupación y el uso existente de la tierra. El cambio climático, también afectará la distribución de los tipos de bosque en montañas. En áreas más secas, las temperaturas más altas pueden permitir a los tipos de bosque seco preparar por la montaña, desplazando a los bosques siempreverdes, pero donde las lluvias se incrementan, los bosques siempreverdes podrían expandirse hacia elevaciones de tierras más bajas.

Los efectos del calentamiento global en los mecanismos de regeneración de los bosques, también serán significativos. Los cambios en el clima, especialmente en las estaciones, resultarán en cambios de los momentos de florecimiento y fructificación de las plantas, al igual que en los ciclos de sus polinizadores y dispersadores de semillas. Esto podría resultar en el ‘desacoplamiento’ de los mecanismos de reproducción, es decir, el abrirse las flores cuando sus insectos polinizadores no están volando alrededor. Por otro lado, la polinización del viento y la dispersión de semillas podrían beneficiarse del calentamiento global, porque la velocidad de las ráfagas de viento y la frecuencia de las tormentas, capaces de levantar incluso las semillas grandes dispersadas por el viento, se incrementarán. La germinación y el desarrollo temprano de las plántulas son ambos sensibles a la temperatura y a los niveles de humedad, y también podrían ser particularmente vulnerables a la expansión de maleza, plagas y enfermedades que son favorecidos por el cambio climático.

Un aumento en incendios forestales, con todos los impactos asociados descritos arriba, parece inevitable, particularmente en las áreas previstas más secas de América del Sur. Por ello, se prevé que los frecuentes incendios forestales traerán “cambios sustanciales en la estructura y composición de los bosques, con cambios en cascada en la composición del bosque después de cada evento de incendio adicional” (Barlow & Peres, 2007).

¿La naturaleza necesita ayuda?

Algunas personas, adoptan el punto de vista de que los sitios deforestados deben dejarse que se regeneren naturalmente y que la restauración de bosques es “una interferencia con la naturaleza innecesaria”. Este punto de vista, fracasa en el reconocimiento de que hoy, la situación en la mayoría de las áreas deforestadas está lejos de ser ‘natural’. Los humanos no solo hemos destruido los bosques, también hemos destruido los mecanismos naturales de regeneración de bosques. Todas las barreras de la regeneración de bosques descritas en este capítulo, están causadas por humanos. La caza amenaza la dispersión de las semillas por animales, la mayoría

¹ El límite superior de su temperatura preferida ascenderá, en promedio, aproximadamente a 100 m de elevación por cada 0,6°C de aumento en la temperatura.

CAPÍTULO 2 COMPRENDIENDO LOS BOSQUES TROPICALES

de incendios forestales son antropogénicos en su origen y los humanos han introducido la mayoría de malezas invasivas que ahora previenen a las plántulas de establecerse. La restauración de bosques, es solamente un intento de remover y superar estas barreras 'no naturales' para la regeneración de los bosques.

Incluso bajo las circunstancias más favorables, la regeneración de bosques ocurre lentamente. En su texto definitivo, *El Bosque Tropical Húmedo (The Tropical Rain Forest)*, P. W. Richards (1996) estudió exhaustivamente la sucesión de bosques a través de los trópicos. Concluyó: "si se deja a la vegetación serial sin perturbar, la sucesión llevará finalmente a la restauración de bosques similares a los de bosques clímax climáticos. Este proceso, probablemente lleve varios siglos, aún cuando el área despejada se encuentre a solo una distancia corta del bosque intacto."

Las tasas imprecedentes de pérdida de biodiversidad y cambio climático requieren una acción urgente. Esperar durante siglos para que los bosques se regeneren naturalmente, ya no es una opción si las especies que están en el filo de la extinción han de ser salvadas, o si el almacenamiento de carbono por los bosques ha de tener algún impacto en el cambio climático. Los problemas causados por humanos requieren soluciones hechas por humanos... y la restauración de bosques es una de ellas.



Un paisaje montañoso degradado. La degradación de las cuencas, la erosión del suelo y los deslizamientos de tierra amenazan la agricultura. Los árboles restantes aislados y los fragmentos de bosque, aferrándose a los peñascos, pueden todavía proveer semillas para la restauración de bosque, pero sin una restauración activa este paisaje, su vida silvestre y sus comunidades tienen un futuro empobrecido.