

# El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático\*

POR MANUEL R. GUARIGUATA\*\*

FECHA DE RECEPCIÓN: 21 DE ENERO DE 2009  
FECHA DE ACEPTACIÓN: 28 DE FEBRERO DE 2009  
FECHA DE MODIFICACIÓN: 2 DE MARZO DE 2009

## RESUMEN

La relación entre los bosques tropicales y el cambio climático global se ha centrado más en la mitigación, mientras que se ha prestado menos atención a cómo las actividades de manejo pueden ayudar a los ecosistemas forestales a adaptarse a dicho cambio. Este documento discute la manera en que algunas prácticas de manejo forestal tropical pueden contribuir a mantener o mejorar la capacidad de adaptación de los bosques naturales o las plantaciones forestales al cambio climático global. Asimismo, considera los desafíos y oportunidades que se presentan al incorporar el manejo de bosques tropicales en el contexto más amplio de la adaptación al cambio climático. Además de la extracción de bajo impacto para mantener la integridad del ecosistema, se necesitarían otros enfoques como la prevención y manejo de incendios, así como opciones silviculturales específicas para favorecer la adaptación genética. El manejo de plantaciones forestales ofrece oportunidades adicionales a aquellas en bosques naturales, para implementar medidas de adaptación, tanto industrial como de pequeña escala. Si bien la integración de las medidas de manejo forestal destinadas a mejorar la adaptación al cambio climático no requeriría de mayores esfuerzos adicionales en relación con las prácticas actuales, hasta la fecha poco o nada se ha hecho al respecto. ¿Hasta qué punto la investigación forestal y las políticas nacionales están promoviendo la adopción de prácticas de manejo (muchas de ellas no necesitan investigarse a fondo) que ayuden a los bosques de producción a adaptarse al cambio climático? La priorización de la adaptación en los programas de desarrollo y planificación forestal nacional puede representar un primer paso hacia la incorporación del cambio climático en el manejo forestal tropical.

## PALABRAS CLAVE:

*Cambio climático, adaptación, bosques tropicales, plantaciones forestales, manejo forestal.*

## Tropical Forest Management and Climate Change Adaptation

### ABSTRACT

The links between tropical forests and global climate change have traditionally focused on mitigation. Much less emphasis, by contrast, has been devoted to how management activities may help forest ecosystems adapt to a changing climate. This article discusses how some kinds of forestry management practices can help maintain or enhance the adaptive capacity of natural and planted tropical forests to global climate change. It also outlines some challenges, as well as opportunities, for integrating tropical forest management into climate-change adaptation more broadly. In addition to the use of reduced-impact logging to maintain ecosystem integrity, other approaches, such as fire prevention and management as well as specific silvicultural options aimed at facilitating genetic adaptation, may be needed. The normally higher intensity of management in tree plantations (compared to natural forests) offers additional opportunities for implementing adaptation measures at both the industrial and smallholder level. Although the integration of measures aimed at enhancing adaptation to climate change may not involve substantial deviations from current practices, little action appears to have been taken on the ground. Up to what point have forestry research and national policies promoted the adoption of management practices (many of which do not need much additional investigation) that assist exploited forests adapt to climate change? Prioritizing adaptation in national development and forestry planning can serve as a first step towards incorporating climate change into tropical forestry management.

### KEY WORDS:

*Climate Change, Adaptation, Tropical Forests, Forest Plantations, Forest Management.*

\* Las ideas presentadas en este artículo provienen de intercambios previos con mis colegas Jonathan Cornelius, Bruno Locatelli, Claudio Forner y Arturo Sánchez -Azofeifa, y quienes colaboraron en la preparación de un artículo en inglés sobre el tema acá presentado. Agradezco a Claudia Martínez por invitarme a escribir estas ideas en español.

\*\* Licenciado en Biología, Universidad Simón Bolívar, Venezuela; M.Sc. en Ecología, University of Florida, Estados Unidos; PhD en Ciencias Forestales, Yale University, Estados Unidos. Actualmente se desempeña como Investigador Principal, Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), Bogor, Indonesia. Entre sus publicaciones recientes se encuentra: Guariguata, Manuel R., Peter Cronkleton, Patricia Shanley y Peter Taylor. 2008. The Compatibility of Timber and Non-timber Forest Product Extraction and Management. *Forest Ecology and Management* 256: 1477-1481; Evans, Kristen y Manuel R. Guariguata. 2008. *Participatory Monitoring in Tropical Forest Management: A Review of Tools, Concepts and Lessons Learned*. Bogor: Center for International Forestry Research. Correo electrónico: m.guariguata@cgiar.org.

## A gestão florestal no contexto da adaptação à mudança climática

### RESUMO

A relação entre as selvas tropicais e a mudança climática global está focada principalmente na mitigação, enquanto se presta menos atenção em como é que as atividades de gestão podem ajudar os ecossistemas florestais na adaptação a essas mudanças. Esse documento argüi sobre a forma em que algumas práticas de gestão florestal podem contribuir com a manutenção ou aprimoramento da capacidade de adaptação dos bosques naturais ou das plantações florestais à mudança climática global. Igualmente, considera os desafios e oportunidades verificadas com a incorporação da gestão de bosques tropicais no contexto mais amplo da adaptação à mudança climática. Além da extração de baixo impacto para manter a integridade do ecossistema são necessárias outras abordagens como a prevenção e manejo de incêndios, bem como opções específicas de silvicultura para favorecer a adaptação genética. A gestão de plantações florestais oferece oportunidades adicionais de aplicar, em plantações situadas em bosques naturais, medidas de adaptação não só industrial, mas também de pequena escala. Embora, quando comparadas com as práticas atuais, não é preciso fazer grandes esforços adicionais para incorporar as medidas de gestão florestal voltadas para melhorar a adaptação à mudança climática, até hoje pouco ou nada foi feito nesse respeito. Até que ponto a pesquisa florestal e as políticas nacionais promovem a aplicação de práticas de gestão (muitas delas não precisam de investigação a fundo) que ajudem os bosques de produção a se adaptar à mudança climática? O estabelecimento de prioridades de adaptação nos programas de desenvolvimento e planejamento florestal nacional podem ser o primeiro passo para a incorporação da mudança climática na gestão florestal tropical.

### PALAVRAS CHAVE:

*Mudança climática, adaptação, selvas tropicais, plantações florestais, gestão florestal.*

**E**l vínculo entre los bosques tropicales y el cambio climático global ha recibido considerable atención científica y política durante las últimas décadas.<sup>1</sup> Sin embargo, las discusiones se han centrado principalmente en la mitigación,<sup>2</sup> mientras que se ha otorgado menos importancia a cómo las actividades de manejo podrían ayudar a los ecosistemas forestales del trópico a adaptarse al cambio climático para mantener la provisión de bienes y servicios a la sociedad.

Esta falta de atención es hasta cierto punto comprensible. En primer lugar, refleja el amplio reconocimiento del papel fundamental que los bosques tropicales

desempeñan como importantes reservorios mundiales de carbono en la vegetación y en el suelo (Dixon *et al.* 1994). En segundo lugar, la captura del carbono atmosférico mediante la plantación de árboles es la única actividad cambiante en el uso del suelo disponible en la actualidad para los países en desarrollo dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), para la que existe un mercado internacional de carbono. En cambio, la inversión en medidas de adaptación al cambio climático es mayormente una preocupación que se da en el plano nacional, y es probable que no genere beneficios económicos inmediatos. Debido a las incertidumbres asociadas, la evaluación del aporte futuro de una actividad de adaptación específica podría ser también especulativa (Callaway 2004). Finalmente, en casos donde la contribución de los bosques y el manejo forestal a las economías nacionales es menor, o se piensa que los es (*e.g.*, Keller *et al.* 2007), es muy probable que los gobiernos nacionales estén más interesados en tomar medidas que aseguren la adaptación de otros sectores productivos como el agrícola o el abastecimiento de agua.

1 Por ejemplo, Shukla *et al.* 1990; IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1996; Markham 1998; Lewis 2006.

2 *E.g.*, reducir las emisiones o mejorar los sumideros de los gases de efecto invernadero, ver IPCC 2000.

Existe, sin embargo, una serie de razones por las que el manejo forestal tropical debería incorporar el tema de adaptación al cambio climático. En primer lugar, los bosques tropicales hacen importantes contribuciones a los medios de vida rurales (Sunderlin *et al.* 2005) y, en parte debido a ello, los usuarios de recursos naturales en los países en desarrollo son considerados con frecuencia especialmente vulnerables al cambio climático (Adger *et al.* 2003). El mejoramiento de la capacidad de adaptación, tanto de los bosques naturales como de las plantaciones forestales, podría ayudar a disminuir la vulnerabilidad de aquellos cuyos medios de vida dependen de los servicios y bienes forestales, en particular, los segmentos más pobres de la sociedad (Innes y Hickey 2006). En segundo lugar, si no se incorporan actividades de manejo en la adaptación, el potencial actual de los bosques tropicales tanto para eliminar como para capturar carbono atmosférico podría disminuir, iniciando de esta manera una retroalimentación positiva de emisiones de carbono.<sup>3</sup> En tercer lugar, aunque los países miembros de la Organización Internacional de Maderas Tropicales sólo usan el 7% de las 352 millones de hectáreas de bosques naturales que han reservado para producción sostenible (ITTO 2006), se espera que esta cifra aumente en el futuro. Tan sólo en Brasil se prevé tener bajo manejo sostenible para madera varios millones de hectáreas de bosque amazónico durante la próxima década (Schulze *et al.* 2008). El éxito de este esfuerzo ampliado en el manejo sostenible podría depender de la puesta en práctica de medidas de adaptación para contrarrestar los impactos ya evidentes del cambio climático sobre la estructura y función del bosque en esta región (Lewis *et al.* 2006). En cuarto lugar, existe una tendencia global hacia una mayor demanda de madera proveniente de plantaciones forestales, incluidas aquellas de los trópicos (Varmola *et al.* 2005; FAO<sup>4</sup> 2006a). De seguir las tendencias actuales del cambio climático global, se espera que las plantaciones de madera tropical abarquen un porcentaje mayor del mercado mundial de madera que las plantaciones de latitudes medias y altas (Sohnngen *et al.* 2001). No obstante, es probable que las plantaciones tropicales que tengan menor capacidad de adaptación a las condiciones climáticas futuras no puedan satisfacer la demanda prevista.

El presente documento examina cómo las prácticas forestales pueden contribuir a mantener o mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático global de

los bosques de producción en el trópico. Asimismo, identifica algunos obstáculos y las oportunidades que se presentan en la tarea de integrar el manejo de los bosques tropicales al espectro más amplio de la adaptación al cambio climático. Se ilustrarán todos estos puntos con ejemplos concretos del trópico americano. Por “capacidad de adaptación” se entiende la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, a fin de mitigar daños potenciales, aprovechar oportunidades o afrontar las consecuencias (IPCC 2001).

### EL MANEJO DE BOSQUES TROPICALES PARA LA PRODUCCIÓN DE MADERA BAJO UN CLIMA CAMBIANTE

Desde mediados de la década de los setenta, las tendencias de calentamiento en las regiones forestales tropicales han promediado 0,26° C por década, lo que es consistente con los aumentos en la temperatura global vinculados a los gases de efecto invernadero. Las precipitaciones parecen haber disminuido, aunque estos cambios parecen haber sido más pronunciados en las zonas tropicales de África del norte que en Asia o la Amazonia (Malhi y Wright 2004). Un dramático cambio atmosférico también ha tenido lugar en algunas localidades.<sup>5</sup> En general, las anomalías de precipitación, tal como han sido proyectadas por los diferentes modelos climáticos, indican posibles disminuciones en ciertas áreas tropicales, así como posibles aumentos en otras (Neelin *et al.* 2006).

En particular, los cambios proyectados en las precipitaciones anuales para el trópico americano indican una disminución en América Central y mucha incertidumbre para el norte de América del Sur y la Amazonia. Sin embargo, en algunas regiones existe consistencia cualitativa en las simulaciones climáticas.<sup>6</sup> Además, se espera también que la frecuencia y la intensidad de los fenómenos climáticos extremos, como las tormentas tropicales, los huracanes y las sequías, aumenten en este siglo, en parte debido a la influencia humana (Salinger 2005; IPCC 2007a). Por ejemplo, tanto la frecuencia como la intensidad del fenómeno de El Niño, el principal motor de las fluctuaciones interanuales en las temperaturas y precipitaciones en muchas zonas de los trópicos, han aumentado durante el último siglo, con sequías récord concomitantes desde 1976 (Malhi

3 Ver, por ejemplo, Gitz y Ciaís 2004.

4 FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

5 E.g., bosques de niebla, ver Pounds *et al.* 2006.

6 E.g., mayores precipitaciones en Ecuador y el norte de Perú, ver Christensen *et al.* 2007.

y Wright 2004), probablemente exacerbadas por el calentamiento global (Timmermann *et al.* 1999; Fedorov y Philander 2000). La adaptación al cambio climático mediante el manejo forestal deberá contemplar acciones preventivas como la reducción de la vulnerabilidad en el sistema, la modificación de su nivel de exposición a los efectos del cambio y la mejora de su capacidad de recuperación luego de un disturbio (Adger *et al.* 2005).

Si bien los bosques tropicales se han adaptado a cambios climáticos probablemente más drásticos durante los últimos cientos de miles de años,<sup>7</sup> la rapidez de los cambios actuales en el clima mundial, así como la imposición simultánea de presiones antropogénicas,<sup>8</sup> pueden estar más allá de su capacidad natural de adaptación. Generalmente, se asume que un cierto grado de diversidad estructural y biológica, en varias escalas, es necesario para mantener la capacidad de adaptación de los bosques al cambio climático (Noss 2001; Drever *et al.* 2006). Una manera de lograr esta diversidad es adoptando prácticas de extracción de impacto reducido (RIL, por su sigla, en inglés), ya que las mismas disminuyen notablemente los efectos del aprovechamiento maderero sobre la vegetación, los suelos y el agua (Dykstra y Heinrich 1996; Sist 2000). Sin embargo, es muy probable que se necesite usar enfoques complementarios, tanto en las zonas de extracción de madera como fuera de ellas. Luego se discuten prácticas específicas de silvicultura para mejorar la capacidad de adaptación de los bosques de producción en un clima cambiante y se identifican intervenciones clave tanto institucionalmente como en las políticas que podrían facilitar la inclusión del cambio climático en el manejo del bosque tropical. La siguiente discusión se organiza en el contexto de bosques naturales y plantaciones forestales.

## MANEJO DE BOSQUES NATURALES

### MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN DEL BOSQUE

Generalmente, el manejo de los bosques naturales en los trópicos involucra el aprovechamiento de árboles maderables por encima de un diámetro mínimo de corta, basándose en un sistema policíclico. Esto implica que las generaciones posteriores de especies de interés resultarán de progenitores adultos *in situ*. Cada individuo que se reproduce habrá experimentado y sobrevi-

vido (a la fecha) las condiciones ambientales asociadas con cambios climáticos pasados o presentes. Si la supervivencia —o la incapacidad de sobrevivir— de estos individuos (así como de su progenie) está relacionada con sus genotipos, entonces, por definición (Grant y Grant 1995), habrá habido selección natural y adaptación. La selección natural depende de la magnitud de la variación fenotípica en las características adaptativas, así como de la intensidad de la selección y del control genético (Falconer 1989; McKay y Latta 2002). Existe una variedad de opciones prácticas que permiten mejorar esta respuesta.

Una opción es maximizar el tamaño de la población cuando la presión de selección es fuerte; es decir, en las etapas de germinación y establecimiento de las plántulas. Es muy posible que una de las causas para la adaptación local relativamente alta de muchos árboles del bosque (Petit y Hampe 2006) sea su alta fecundidad, en comparación con otras plantas (Le Corre y Kremer 2003). Una fecundidad alta significa que aquellos árboles que sobreviven la edad reproductiva —o edad de aprovechamiento— representan una pequeña proporción de una población de plántulas inicialmente grande, lo que implica que han pasado por una alta intensidad de selección natural. Para asegurar tamaños de poblaciones juveniles grandes y, por lo tanto, promover mayor variación genética durante esta etapa, se pueden utilizar ciertos tratamientos como la quema controlada de bosques, para favorecer el establecimiento de plántulas;<sup>9</sup> el raleo —posiblemente como parte de la tala controlada—, con el objetivo de estimular el desarrollo de la copa y la eventual fructificación de los árboles semilleros (Guariguata y Sáenz 2002), y la introducción de disturbios en el suelo o el dosel, para favorecer la regeneración de especies con altos requerimientos de luz (Snook y Negreros-Castillo 2004; Grogan *et al.* 2005). Otras opciones incluyen aumentar el número de árboles reservados como semilleros y programar las actividades de aprovechamiento forestal después de la dispersión de semillas,<sup>10</sup> y en el caso de las especies dioicas, conservar un número similar de adultos machos y hembras con el fin de asegurar la reproducción y mantener tamaños de población genéticamente eficaces (Yeh 2000).

La distribución natural de muchas especies de árboles del neotrópico muestra una cobertura amplia en términos de precipitación y temperatura (Greaves 1978;

7 Ver, por ejemplo, Colinvaux *et al.* 1996; Colinvaux *et al.* 2000.

8 Recientemente comentadas en Laurance y Peres 2006.

9 Por ejemplo, los bosques de pino en América Central; Wolffsohn 1984.

10 E.g., Grogan y Galvão 2006.

Pitman *et al.* 2001; Hodge *et al.* 2002; Vozzo 2002; Cordero y Boshier 2003), lo que sugiere que tienen la variación genética necesaria para enfrentar el cambio climático dentro y, posiblemente, fuera de esos límites. Sin embargo, estudios llevados a cabo bajo condiciones ambientales uniformes han encontrado una marcada diferenciación genética en muchas características cuantitativas entre poblaciones de una misma especie provenientes de regiones específicas (Cornelius *et al.* 1996; Boshier y Henson 1997; Navarro *et al.* 2002). Esto significa que, si bien puede existir el potencial de adaptación dentro del acervo genético de una especie, es muy probable que alguno de sus individuos no lo tenga. Es decir, los alelos necesarios para la adaptación al cambio climático en una región específica pueden estar presentes solamente, o en frecuencias mucho más altas, en poblaciones de otras regiones. El problema, entonces, es cómo “obtener la variación donde se la necesita”. Este problema puede ser abordado mejorando o manteniendo la migración natural mediante la conectividad del paisaje. Esto es relevante en donde la variación ambiental es marcada en escalas geográficas relativamente pequeñas, por ejemplo, en áreas montañosas o para especies presentes tanto en bosques ribereños como en bosques vecinos de tierra firme. En áreas caracterizadas por temperaturas y precipitaciones relativamente estables, la eficacia de esta estrategia a la luz del rápido cambio climático es cuestionable porque podrían no encontrarse alelos útiles en frecuencias suficientemente altas en las cercanías de las poblaciones objetivo. En ese caso, el único enfoque posible es la translocación de especies por trasplante (Ledig y Kitzmiller 1992).

#### OTROS ENFOQUES SILVICULTURALES Y DE MANEJO

Es muy probable que en el contexto de cambio climático se necesite llevar a cabo actividades de silvicultura modificadas en bosques naturales. Por ejemplo, se han registrado incrementos de largo plazo en la abundancia de lianas en muchos bosques no perturbados del neotrópico. Estos cambios han sido atribuidos a un rápido crecimiento inducido por aumentos en los niveles de dióxido de carbono atmosférico y en la temperatura ambiental (Phillips *et al.* 2002; Wright *et al.* 2004). En la medida que la abundancia de lianas responde a estas causas, esto puede implicar la existencia de más lianas con el paso del tiempo. Por lo general, el corte de lianas en árboles de futura cosecha se realiza antes del aprovechamiento, con el objetivo de minimizar el daño colateral a los árboles en bosques manejados utilizando técnicas de extracción de bajo impacto. Una alternativa de adaptación sería solici-

tar la ayuda de los equipos de extracción en rotaciones sucesivas, lo que también podría reducir los problemas de crecimiento o la mortalidad de árboles maderables infestados con lianas (Phillips *et al.* 2005). En el caso de los árboles, también se ha registrado durante las últimas décadas un aumento en las tasas de crecimiento producto de los cambios climáticos en la cuenca amazónica (Lewis *et al.* 2004), aunque no así en América Central (Feeley *et al.* 2007). Un aumento de la productividad en la Amazonia podría disminuir los ciclos de rotación entre cosechas sucesivas, que en la actualidad duran no menos de 40 años en los bosques amazónicos (Valle *et al.* 2006) y favorecer también, en el largo plazo, el predominio de especies maderables de crecimiento rápido.<sup>11</sup> En este sentido, es posible que se necesite mejorar las prácticas silviculturales para generar niveles de regeneración comercial dentro de este gremio ecológico.

Las plantaciones de enriquecimiento pueden ofrecer oportunidades para maximizar la variación genética de especies maderables seleccionadas al nivel de rodal, particularmente aquellas que demandan mucha luz para establecerse y que son susceptibles a extinción comercial local ante la ausencia de intervenciones silviculturales después de la extracción (Fredericksen y Putz 2003). Por ejemplo, en Brasil es ahora obligatorio sembrar plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) en claros de extracción selectiva de árboles adultos (Grogan y Barreto 2005). Existen otras especies maderables de alto valor en la Amazonia caracterizadas por una baja densidad de plántulas bajo una cobertura cerrada, que también necesitarían ser plantadas en claros de extracción para asegurar una repoblación adecuada entre rotaciones de cosecha (Schulze 2008).

El manejo de incendios en el contexto de un clima cambiante también merece atención. Los incendios forestales producidos por sequías extremas —que se prevé van a aumentar en los bosques del neotrópico (Cox *et al.* 2004; Nepstad *et al.* 2004; Scholze *et al.* 2006)—, como los ocurridos en 2005 en la Amazonia occidental (Brown *et al.* 2006), pueden ser combatidos mediante prácticas de extracción de bajo impacto que, en comparación con la extracción convencional, disminuyen la vulnerabilidad de los bosques a incendios en el suelo, al reducir el tamaño de los claros de aprovechamiento (usualmente las áreas más susceptibles a los incendios) y la cantidad de combustible vegetal producto de los residuos de la tala (Holdsworth y Uhl 1997; Blate 2005). Sin embargo, si los esfuerzos se centran solamente

---

11 Por ejemplo Laurance *et al.* 2004.

en los bosques, las posibilidades de éxito son reducidas. En efecto, el reciente aumento en la frecuencia y extensión de los incendios forestales en la Amazonia puede deberse no sólo a los impactos de las sequías relacionadas con el fenómeno de El Niño sino también a influencias antropogénicas directas en los bordes de los bosques (Barlow y Peres 2004; Laurance 2004). De hecho, los incendios que se desplazan hacia los pastizales adyacentes parecen ser la causa principal de los incendios forestales en la Amazonia (Cochrane 2001), incluidos aquellos que se expanden dentro de concesiones forestales (Pinard *et al.* 1999).

### PLANTACIONES FORESTALES

En el caso de las plantaciones forestales, la diversidad de enfoques para mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático es tal vez más amplia que la de los bosques naturales, ya que tanto el material genético como los tratamientos silviculturales pueden ser ajustados más fácilmente (Lamb *et al.* 2005). Sin embargo, aquí lo fundamental es la selección de especies apropiadas. En este sentido, es útil concebir el proceso de selección de especies de acuerdo a la zona como un proceso de dos etapas. En primer lugar, se selecciona un grupo de especies característicamente adecuadas al clima de la zona. En segundo lugar, se eligen especies apropiadas a las condiciones específicas dentro de esa zona particular.

En general, es poco probable que las consideraciones de cambio climático lleven, en el corto plazo, a cambios en la selección de especies (principalmente, en la primera etapa), porque dentro de los ciclos cortos de rotación (generalmente, menos de 10 años), las condiciones no cambiarían lo suficiente. Sin embargo, la opción de especies actuales debería ser revisada con cierta periodicidad, particularmente en ambientes de transición y especies de rotaciones más largas. Asimismo, es importante resaltar que el desafío impuesto por el cambio climático subraya la importancia de una selección cuidadosa, aun para las condiciones actuales. Es muy posible que las especies que en el presente no tengan la capacidad de adaptarse bien a un lugar de siembra no puedan lidiar con el estrés que pudiera ocasionarse a causa del futuro cambio climático.

### FACILITACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN DE PLANTACIONES FORESTALES

Como lo señalan Ledig y Kitzmiller (1992), la selección de fuentes de semillas, teniendo en cuenta el cambio

climático, puede implicar desviarse de la práctica convencional. Lo que se acepta actualmente es que cuando no se dispone de información derivada de una prueba genética, “la semilla local es siempre la mejor”. Sin embargo, en el caso del cambio climático, éste puede ya no ser el caso, puesto que es muy probable que las fuentes de semillas locales estén más adaptadas a las condiciones del pasado, en lugar de condiciones similares a las actuales (por ejemplo, la próxima estación de siembra) y condiciones futuras; una alternativa es elegir fuentes de semillas con mejor capacidad de adaptación. Por ejemplo, Sáenz-Romero *et al.* (2006) evaluaron la variación genética en una gradiente altitudinal de poblaciones de *Pinus oocarpa*, una especie maderable de importancia económica en México. En su estudio llegaron a la conclusión de que los encargados del manejo forestal debían ayudar a las poblaciones de *P. oocarpa* en su proceso de adaptación cuando estuvieran implementando programas de plantaciones forestales, desplazando hacia arriba los genotipos de las semillas en intervalos específicos, en anticipación a las proyecciones que prevén aumentos en las temperaturas (IPCC 2007b).

Asimismo, los resultados de las pruebas de procedencia sugieren algunas acciones específicas. Las procedencias costeras de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* muestran mayor estabilidad estructural cuando están expuestas a huracanes (Gibson *et al.* 1983; Nikles *et al.* 1983), mientras que las procedencias de la misma especie en zonas con altas precipitaciones han mostrado menor capacidad de supervivencia que las procedencias de zonas de menores precipitaciones, cuando ambas especies son plantadas en zonas relativamente secas (Hodge *et al.* 2001). Sin embargo, no siempre queda claro qué fuentes ofrecen el mejor balance entre adaptación a condiciones similares a las actuales y condiciones futuras. Existen dos respuestas posibles en lo que respecta a esta incertidumbre. Primero, se pueden usar genotipos generalistas, como los que muestran gran capacidad de adaptación a condiciones diversas; esta opción sólo funciona donde se han realizado pruebas de campo y experimentos bajo una amplia gama de condiciones. Segundo, se pueden utilizar mezclas de germoplasma con alta variación genética. Por ejemplo, Ledig y Kitzmiller (1992) sugirieron el uso de una mezcla de procedencias –e.g., las fuentes de semilla local y las fuentes que se espera se adapten a diferentes escenarios de cambio climático–. Los árboles inferiores que no logran adaptarse serían removidos durante el raleo o mediante la mortalidad diferencial temprana. Este enfoque tiene en cuenta la incertidumbre presente en las proyecciones de cambios futuros en el clima y saca

provecho de las prácticas silviculturales convencionales, para asegurar la existencia de árboles que han logrado adaptarse, con miras a la cosecha final. Al igual que en el caso de selección de especies, la necesidad de implementar estos enfoques podría no ser tan urgente como en el caso de especies de rápido crecimiento, ya que, por lo menos en el contexto industrial, el germoplasma actual puede ser reemplazado, en el corto o mediano plazo, por el de otras fuentes.

Al considerar las prácticas actuales y el potencial de la selección y desarrollo de germoplasma, podría ser útil distinguir entre las plantaciones a escala industrial y las plantaciones de productores de pequeña escala. En el caso particular de las plantaciones industriales, las posibilidades de que se implementen enfoques de adaptación al cambio climático basados en la selección y desarrollo de germoplasma son mayores, debido a que el manejo forestal a escala industrial está generalmente mejor financiado que el ejecutado por los pequeños productores. Aunque nos ha sido imposible identificar algún tipo de modificación en el mejoramiento genético industrial de árboles en el neotrópico, orientado específicamente a la adaptación al cambio climático, los programas existentes de mejora de árboles que constantemente incorporan nuevas selecciones asegurarían, sin embargo, el uso de germoplasma una generación “atrás”, en el mejor de los casos, de las condiciones climáticas actuales; es decir, permitiría un “monitoreo” demorado del cambio climático.

Los tipos de respuesta posible en el manejo forestal por los pequeños productores pueden ser diferentes a los del manejo forestal a escala industrial, lo que muestra el hecho de que los pequeños propietarios plantan árboles en diversas situaciones y por una serie de razones. Una tiene que ver con los programas externos de plantación de árboles; esto es, programas patrocinados y promovidos por organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, donde los agricultores con frecuencia reciben semillas o plántulas subsidiadas o sin costo alguno. En estos programas, el germoplasma es entregado con poco o ningún criterio técnico y, a veces, sin ninguna provisión o plan para su reemplazo en rotaciones siguientes, y, muy probablemente, el nuevo germoplasma tendrá las mismas fuentes que el germoplasma anterior (Simons *et al.* 1994). Cuando los pequeños productores plantan árboles por iniciativa propia, también usan germoplasma recogido en sus propiedades o de propiedades vecinas.<sup>12</sup> Aun bajo condiciones climáticas estables, estas prác-

ticas pueden llevar a usar germoplasma que está mal adaptado o genéticamente empobrecido.<sup>13</sup> Cuando se ofrece asistencia técnica para ambas situaciones, sería aconsejable que los propietarios se aseguraran de que las poblaciones fundadoras tengan una diversidad genética adecuada, tanto maximizando el número de árboles semilleros como usando mezclas de procedencias, como se discutió anteriormente.

#### OTROS ENFOQUES SILVICULTURALES Y DE MANEJO

Existe evidencia de que el establecimiento de plantaciones forestales con especies mixtas en lugar de plantaciones de monocultivos podría reducir la vulnerabilidad del sistema en el largo plazo (Jactel *et al.* 2005; Kely 2006). La mezcla de especies de árboles con patrones de distribución de biomasa aérea y radical contrastante y/o con capacidad de fijar nitrógeno puede aumentar la producción, en comparación con los monocultivos (Lamb 1998; Petit y Montagnini 2006), y reducir al mismo tiempo el riesgo económico (Hartley 2002). Una de las plantaciones forestales monoespecíficas más grandes en el trópico americano (cerca de 0,6 millones de ha de *Pinus caribaea*, en Venezuela) sufrió la muerte de una gran cantidad de sus árboles, debido a un hongo causado por el estrés hídrico durante la intensa sequía ocasionada por el fenómeno climático de El Niño, en 1997 (Cedeño *et al.* 2001). Aunque los monocultivos de árboles son más fáciles de manejar y reducen tanto los costos de cosecha como de establecimiento (Kely 2006), la preocupación actual en torno al cambio climático y la sostenibilidad a largo plazo podría estimular el uso de plantaciones de especies mixtas, una opción que por lo general se ha ignorado hasta la fecha (Nichols *et al.* 2006).

#### ENFOQUES INSTITUCIONALES Y DE POLÍTICA

Además de los enfoques técnicos discutidos en las secciones anteriores, se necesitan también intervenciones institucionales y de política que faciliten la incorporación del cambio climático en el manejo forestal tropical. Una de estas intervenciones se relaciona con la diseminación de orientación práctica. Existen pautas relativamente detalladas en el CMNUCC para estimar y reportar las emisiones de gases invernadero y las eliminaciones de dióxido de carbono asociadas con diferentes usos de suelo, cambios en el uso de suelo y actividades forestales

<sup>12</sup> E.g., Weber *et al.* 1997.

<sup>13</sup> Ver, por ejemplo, el caso de *Inga edulis* en la Amazonia; Hollingsworth *et al.* 2005.

(Penman *et al.* 2003). Sin embargo, hay poca orientación publicada, por un lado, sobre cómo adaptar al cambio climático los bosques de producción de madera del trópico.<sup>14</sup> Por otro lado, la orientación reciente relativa al desarrollo de estrategias de adaptación amplias (Lim y Spanger-Siegfried 2005) no incluye las actividades forestales dentro de sus ejemplos ilustrativos.

Probablemente debido a estas deficiencias, las actividades forestales en general, y los proyectos forestales de mitigación climática en particular, rara vez reconocen que los esfuerzos por plantar árboles pueden verse minados si, por ejemplo, una plantación no está bien adaptada a los cambios climáticos que supuestamente debe mitigar. Aunque algunas iniciativas globales para la certificación independiente de proyectos forestales para fijación de carbono están impulsando la incorporación de medidas de adaptación, como los Estándares de Diseño de Proyectos de Clima, Comunidad y Biodiversidad –CCBA por su sigla en inglés– (CCBA 2008), éstos aún no incluyen prácticas específicas. Por lo tanto, es evidente la necesidad de difundir en forma más explícita las herramientas y enfoques existentes que permitan mejorar la capacidad de adaptación tanto de los bosques naturales como de los plantados.

La mejora de la capacidad de adaptación a las condiciones futuras del clima de los bosques plantados por los pequeños propietarios puede necesitar también asistencia focalizada. Los pequeños productores que no tienen la capacidad para complementar por sí mismos su germoplasma local con germoplasma estratégicamente seleccionado de otras poblaciones, tal vez distantes, necesitarán asistencia técnica. Los programas de gran escala de mejoramiento forestal dirigidos a los pequeños propietarios, como aquellos implementados en Costa Rica<sup>15</sup> o Perú<sup>16</sup>, pueden ser una opción, pero sólo para algunas de las especies con mayor prioridad, de las decenas o cientos usadas por ellos (Sotelo Montes y Weber 1997). Para un conjunto de especies más amplio, la mejora genética de árboles de carácter local y participativo (Simons y Leakey 2004) ofrece otra alternativa. Aun así, la necesidad de realizar pruebas de campo –en lo posible, en zonas diferentes, que simulen las condiciones climáticas en el futuro– puede estar más allá de la capacidad local, siendo necesario, por lo tanto, contar con el apoyo adicional de organismos gubernamentales y no gubernamentales.

Asimismo, es muy probable que sea necesario promover la prevención o control de incendios dentro y fuera de los bosques de producción y mantener, al mismo tiempo, cortafuegos. Si bien algunas empresas en Brasil dedicadas a la producción de madera a largo plazo han aplicado medidas destinadas a proteger los bosques de los fuegos (Pokorny *et al.* 2005), los resultados son variados en la región. El manejo de los incendios en el contexto de la producción maderera parece no tener mucha prioridad en otras partes de la Amazonia,<sup>17</sup> mientras que en Guatemala los incendios que antes ingresaban a los bosques de producción parecen haber sido controlados eficazmente, gracias a los continuos esfuerzos participativos de prevención y mitigación (Nittler y Tschinkel 2005). Los aspectos institucionales, de gobernanza y técnicos también son igualmente importantes en el manejo y la prevención de incendios, y el balance justo entre ellos estará dictaminado por las condiciones específicas de cada lugar (Barlow y Peres 2004). Existen ya enfoques genéricos para el manejo y la prevención de incendios forestales (FAO 2006b) que pueden ser modificados localmente.

Una de las razones por las que las políticas globales han sido aparentemente poco eficaces en incorporar el cambio climático en el manejo forestal tropical puede estar relacionada con la naturaleza a veces controversial y multifacética de la formulación internacional de estas mismas políticas forestales.<sup>18</sup> Esto, a su vez, ha impedido que el mercado global de carbono influya de manera significativa sobre las áreas con plantaciones forestales establecidas bajo el marco del MDL, y, a la fecha, el manejo de bosques naturales no es elegible bajo esta modalidad. Aun así, las discusiones en el marco del CMNUCC tienen que ver en la actualidad con el establecimiento de un mecanismo internacional para reducir las emisiones de carbono causadas por la deforestación tropical. Entre las muchas alternativas se está considerando en el debate el rol del mercado internacional de carbono (Gullison *et al.* 2007). Si bien todavía se debe llegar a un acuerdo en torno a varios aspectos metodológicos y sociales,<sup>19</sup> la reducción de las emisiones de carbono provenientes de la deforestación y la degradación del bosque (REDD, por su sigla en inglés) podría ofrecer una oportunidad para implementar o ajustar aquellas prácticas de manejo que ayuden a mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático de los bosques de producción. Por ejemplo, se podría

14 Algunos elementos, no obstante, su pueden encontrar en Locatelli *et al.* 2008.

15 E.g., Mesén *et al.* 1993.

16 E.g., Weber *et al.* 2001; Cornelius *et al.* 2006.

17 Por ejemplo en Bolivia; Gould *et al.* 2002.

18 Véase, e.g., Persson 2005.

19 Véanse las discusiones en Angelsen 2008.



fomentar de manera más explícita la aplicación de extracción de impacto reducido (RIL), ya que se sabe que retiene más carbono del bosque (Pinard y Putz 1996; Pinard y Cropper 2000), en comparación con la tala selectiva convencional (no planificada).

El desarrollo de estrategias de adaptación para los bosques tropicales de tipo productivo también puede requerir de intervenciones institucionales, con el objetivo de aumentar la conciencia en la sociedad acerca de los cambios climáticos actuales y/o futuros. Parecería que muy rara vez los riesgos del cambio climático son percibidos por las agencias forestales, los administradores forestales y/o aquellas comunidades que dependen de los bosques en latitudes tropicales. Es probable que para la mayoría de ellos, el cambio climático global no represente una desviación considerable de los cambios que hasta ahora han ocurrido (Rojas 2004). Y aun si se admiten los riesgos asociados al cambio climático global, es muy probable que un cambio de actitud frente a las opciones de manejo actual no sea sencillo.<sup>20</sup> Williamson *et al.* (2005) realizaron un estudio con el fin de evaluar las percepciones del riesgo del cambio climático en bosques canadienses, por parte de aquellos encargados de su manejo. Este tipo de investigación puede ser útil en el contexto del manejo forestal tropical, ya que ayudaría a la formulación de opciones de manejo a futuro. De hecho, investigadores del CIFOR pondrán en circulación un cuestionario (basado en Williamson *et al.* 2005) durante 2009 para evaluar con certeza qué está haciendo (o no) el sector forestal tropical en el contexto de la adaptación de sus bosques de producción al cambio climático.

## CONCLUSIONES

En la actualidad, las prácticas de manejo forestal en el trópico se basan en la premisa de que el clima no va a cambiar al punto que la productividad y la rentabilidad a largo plazo se vean afectadas. Sin duda, la elección de opciones de adaptación es a veces difícil, debido a la incertidumbre existente en torno a las proyecciones climáticas.<sup>21</sup> Sin embargo, parece ser que los esfuerzos y recursos se han concentrado más en la identificación de los impactos del cambio climático global sobre los bosques tropicales protegidos<sup>22</sup> que en el mantenimiento de su capacidad de adaptación como sistemas

de producción. En los esfuerzos por incluir las consideraciones de cambio climático en el manejo forestal tropical, se anticipan al menos dos grandes desafíos.

Primero, la integración de estrategias de adaptación al cambio climático en los planes de desarrollo y planificación nacional es un requisito que permitirá tomar medidas adecuadas para enfrentar los impactos de los cambios en el clima en el presente y el futuro. Existe ya orientación al respecto (Lim y Spanger-Siegfried 2005; Thompkins *et al.* 2005) que podría ser aplicada al sector forestal tropical. Además, y a medida que los impactos del cambio climático también amenacen el desarrollo económico de otros sectores —muchos de los cuales dependen de la provisión de bienes y servicios forestales—, el manejo forestal tropical podría beneficiarse si se incorpora explícitamente dentro de las políticas de nacionales de adaptación, bajo un enfoque intersectorial.

El segundo desafío es de tipo financiero, ya que la adaptación tiene un costo económico. En algunos casos, el sector privado podría invertir en medidas de adaptación, aunque sólo por razones estrictamente comerciales (*e.g.*, modificaciones en los programas de mejoramiento de árboles). Pero sólo llevará a cabo este tipo de inversiones si tiene acceso a información precisa sobre los riesgos y costos relacionados. En otros casos, las entidades gubernamentales podrían exigir la implementación de medidas prácticas destinadas a mejorar la capacidad de adaptación de los bosques como condición previa al otorgamiento de concesiones forestales. Aun así, el financiamiento de las medidas de adaptación al cambio climático que generan beneficios a un público mayor —pero que son sólo de interés tangencial para la industria forestal o que están dirigidas específicamente a los pequeños propietarios— puede requerir mecanismos alternativos de financiación que muy bien pueden no estar disponibles en la actualidad. La falta de crédito subraya la importancia de asegurar que las medidas de adaptación sean incorporadas en la formulación e implementación de iniciativas nacionales e internacionales relativas a los bosques, desde aquellas que contemplan intervenciones amplias de política hasta los proyectos locales de investigación y desarrollo.

Finalmente, es importante recalcar que en su gran mayoría las prácticas mencionadas en este documento son parte integral de lo que se considera “buen manejo forestal” en el trópico. Es decir, no se han propuesto mayores desviaciones técnicas de las prácticas que actualmente se aplican para alcanzar un manejo forestal sostenible, sino una reevaluación de las mismas, por un

20 Ver Wesche *et al.* 2006 para un ejemplo de la zona templada.  
21 *E.g.*, Dessai y Hulme 2007.  
22 Véase una revisión en Clark 2007.

lado, y por el otro, su implementación de manera explícita en el contexto de un clima cambiante. Así estaríamos confiriéndole al bosque, tanto natural como plantado, un mayor nivel de capacidad adaptativa a mediano y largo plazos. 🌳

## REFERENCIAS

- Adger, Neil, Saleemul Huq, Katrina Brown, Declan Conway y Mike Hulme. 2003. Adaptation to Climate Change in the Developing World. *Progress in Development Studies*, 3: 179-195.
- Adger, Neil, Nigel Arnell y Emma Thompkins. 2005. Successful Adaptation to Climate Change Across Scales. *Global Environmental Change* 15: 77-86.
- Angelsen, Arild (Ed). 2008. Moving Ahead with REDD: Issues, Options and Implications. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Barlow, Jos y Carlos Peres. 2004. Ecological Responses to El Niño-induced Surface Fires in Central Brazilian Amazonia: Management Implications for Flammable Tropical Forests. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 367-380.
- Blate, Geoffrey. 2005. Modest Tradeoffs between Timber Management and Firesusceptibility of a Bolivian Semi-deciduous Forest. *Ecological Applications* 15: 1649-1663.
- Boshier, David y Michael Henson. 1997. Variación genética. En *Cordia alliodora. Genética y mejoramiento de árboles*, eds. David Boshier y A. T. Lamb, 43-70. Oxford: Oxford Forestry Institute.
- Brown, Foster, Wilfrid Schroeder, Alberto Setzer, Monica De Los Ríos Maldonado, Nara Pantoja, Alejandro Duarte y Jose Marengo. 2006. Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forests. *EOS, Transactions American Geophysical Union* 87: 253-259.
- Climate Community and Biodiversity Alliance. 2008. *Climate, Community & Biodiversity Project Design Standards*. Arlington: CCBA. www.climate-standards.org (Recuperado el 15 de enero, 2009).
- Callaway, John. 2004. Adaptation Benefits and Costs: are they Important in the Global Policy Picture and how can we estimate them. *Global Environmental Change* 14: 273-282.
- Cedeño, Luis, Chrystian Carrero, Wilfredo Franco y Armando Torres-Lezama. 2001. *Sphaeropsis sapinea* asociado con quema del cogollo, muerte regresiva y cáncer en troncos, ramas y raíces del pino caribe en Venezuela. *Interciencia* 26: 210-215.
- Christensen, Jens, Bruce Hewitson, Aristita Busuioc, Anthony Chen, Xuejie Gao, Isaac Held, Richard Jones, Rupa Kolli, Won-Tae Kwon, René Laprise, Victor Magaña, Linda Mearns, Claudio Menéndez, Jouni Räisänen, Annette Rinke, Abdoulaye Sarr, y Penny Whetton. 2007. Regional Climate Projections. En *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 847-940. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clark, Deborah. 2007. Detecting Tropical Forests' Responses to Global Climatic and Atmospheric Change: Current Challenges and a Way Forward. *Biotropica* 39: 4-19.
- Cochrane, Mark. 2001. Synergistic Interactions between Habitat Fragmentation and Fire in Evergreen Tropical Forests. *Conservation Biology* 15: 1515-1521.
- Colinvaux, Paul, Paulo De Oliveira, Enrique Moreno, Michael Miller y Mark Bush. 1996. A Long Pollen Record from Lowland Amazonia: Forest and Cooling in Glacial Times. *Science* 274: 85-88.
- Colinvaux, Paul, Paulo De Oliveira y Mark Bush. 2000. Amazonian and Neotropical Plant Communities on Glacial Time-scales: the Failure of the Aridity and Refuge Hypotheses. *Quaternary Science Reviews* 19: 141-169.
- Cordero, Jesus y David Boshier (Eds). 2003. *Arboles de Centroamérica*. Oxford: Oxford Forestry Institute-CATIE.
- Cornelius, Jonathan, Francisco Mesén, E. Correa y Michael Henson. 1996. Variation in Growth and Form of *Alnus acuminata* Kunth in Costa Rica. *Silvae Genetica* 45: 24-30.
- Cornelius, Jonathan, Charles Clement, John Weber, Alcira del Carmen Sotelo-Montes, Johannes Van Leeuwen, Julio Ugarte-Guerra, Auberto Ricse-Tembladera y Luis Arévalo-López. 2006. The Trade-off between Genetic Gain and Conservation in a Participatory Improvement Programme: the Case of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth). *Forests, Trees and Livelihoods* 16: 17-34.

19. Cox, Peter, Richard Betts, Matthew Collins, Phil Harris, Chris Huntingford y Chris Jones. 2004. Amazonian Forest Dieback under Climate-carbon Cycle Projections for the 21<sup>st</sup> Century. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 137-156.
20. Dessai, Suraje y Mike Hulme. 2007. Assessing the Robustness of Adaptation Decisions to Climate Change Uncertainties: a Case Study on Water Resources Management in the East of England. *Global Environmental Change* 17: 59-72.
21. Dixon, Robert, Allen Solomon, Sandra Brown, Richard Houghton, Maria Trexler y Jan Wisniewski. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263: 185-190.
22. Drever, Ronnie, Garry Peterson, Christian Messier, Yves Bergeron y Mike Flanningan. 2006. Can Forest Management Based on Natural Disturbances Maintain Ecological Resilience? *Canadian Journal of Forest Research* 36: 2285-2299.
23. Dykstra, Dennis y Rudolf Heinrich. 1996. *FAO Model Code of Forest Harvesting Practice*. Roma: FAO.
24. Falconer, Douglas. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*. 3<sup>rd</sup> edition. Londres: Longmans Green-John Wiley & Sons.
25. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006a. *Global Forest Resources Assessment 2005*. Roma: FAO Forestry Paper 147.
26. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006b. *Fire Management: Voluntary Guidelines*. Roma: FAO Fire Management Working Paper 17.
27. Fedorov, Alexei y George Philander. 2000. Is El Niño Changing? *Science* 288: 1997-2002.
28. Feeley, Kenneth, Joseph Wright, Nur Supardi, Kassim Abd y Stuart Davies. 2007. Decelerating Growth in Tropical Forest Trees. *Ecology Letters* 10: 1-9.
29. Fredericksen, Todd y Francis Putz, 2003. Silvicultural Intensification for Tropical Forest Conservation. *Biodiversity and Conservation* 12: 1445-1453.
30. Gibson, George, Robert Barnes y Janet Berrington. 1983. Provenance Productivity in *Pinus caribaea* and its Interaction with Environment. *Commonwealth Forestry Review* 62: 93-106.
31. Gitz, Vincent y Philippe Ciais. 2004. Future Expansion of Agriculture and Pasture Acts to Amplify Atmospheric CO<sub>2</sub> Levels in Response to Fossil-fuel and Land-use Change Emissions. *Climatic Change* 67: 161-184.
32. Gould, Kevin, Todd Fredericksen, F. Morales, Deborah Kennard, Francis Putz, Bonifacio Mostacedo y Marisol Toledo 2002. Post-Fire Tree Regeneration in Lowland Bolivia: Implications for Fire Management. *Forest Ecology and Management* 165: 225-234.
33. Grant, Peter y Rosemary Grant. 1995. Predicting Microevolutionary Responses to Directional Selection on Heritable Variation. *Evolution* 49: 241-251.
34. Greaves, Anthony. 1978. *Descriptions of Seed Sources and Collections for Provenances of Pinus caribaea*. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, Tropical Forestry Paper 11.
35. Grogan, James, Matthew Landis, Mark Ashton y Jurandir Galvão. 2005. Growth Response by Big-leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) Advance Seedling Regeneration to Overhead Canopy Release in Southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 204: 399-412.
36. Grogan, James y Paulo Barreto. 2005. Big-leaf mahogany on CITES Appendix II: Big Challenge, Big Opportunity. *Conservation Biology* 19: 973-976.
37. Grogan, James y Jurandir Galvão. 2006. Factors Limiting Post-logging Seedling Regeneration by Big-leaf Mahogany (*Swietenia macrophylla*) in Southeastern Amazonia, Brazil, and Implications for Sustainable Management. *Biotropica* 38: 219-228.
38. Guariguata, Manuel R. y Grace Sáenz. 2002. Post Logging Acorn Production and Oak Regeneration in a Tropical Montane Forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 167: 285-293.
39. Gullison, Raymond, Peter Frumhoff, Josep Cannadell, Christopher Field, Daniel Nepstad, Katharine Hayhoe, Roni Avissar, Lisa Curran, Pierre Friedlingsstein, Chris Jones y Carlos Nobre. 2007. Tropical Forests and Climate Policy. *Science* 316: 985-986.
40. Hartley, Mitschka. 2002. Rationale and Methods for Conserving Biodiversity in Plantation Forests. *Forest Ecology and Management* 155: 81-95.
41. Hodge, Gary, William Dvorak y J. Romero. 2001. Growth and Provenance Variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* as an Exotic Species. *Southern African Forestry Journal* 190: 43-51.

42. Hodge, Gary, William Dvorak, H. Urueña y L. Rosales. 2002. Growth, Provenance Effects and Genetic Variation of *Bombacopsis quinata* in Field Tests in Venezuela and Colombia. *Forest Ecology and Management* 158: 273-289.
43. Holdsworth, Andrew y Christopher Uhl. 1997. Fire in Amazonian Selectively Logged Rain Forest and the Potential for Fire Reduction. *Ecological Applications* 7: 713-725.
44. Hollingsworth, Pete, Ian Dawson, Will Goodall-Copstake, James Richardson, John Weber, Carmen Sotelo-Montes y Toby Pennington. 2005. Do Farmers Reduce Genetic Diversity when they Domesticate Tropical Trees? A Case Study from Amazonia. *Molecular Ecology* 14: 497-501.
45. Innes, John y Gordon Hickey. 2006. The Importance of Climate Change when Considering the Role of Forests in the Alleviation of Poverty. *International Forestry Review* 8: 406-416.
46. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. *Climate Change 1995. Impact, Adaptation and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge: Cambridge University Press.
47. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. *Land Use, Land Use Change and Forestry*. Cambridge: Cambridge University Press.
48. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
49. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007a. *Climate Change 2007: the Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat.
50. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007b. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Geneva: IPCC Secretariat.
51. International Tropical Timber Organization (ITTO). 2006. *Status of Tropical Forest Management 2005*. Yokohama: ITTO Technical Series no. 24.
52. Jactel, Hervé, Eckehard Brockerhoff y Peter Duelli. 2005. A Test of the Biodiversity-stability Theory: Meta-analysis of Tree Species Diversity Effects on Insect Pest Infestations, and Examination of Responsible Factors. En *Forest Diversity and Function: Temperate and Boreal Systems*, eds. Michael Scherer-Lorenzen, Christian Körner y Ernst-Detlef Schulze, 235-262. Berlin: Ecological Studies vol. 176. Springer-Verlag.
53. Keller, Michael, Gregory Asner, Geoffrey Blate, John McGlockling, Frank Merry, Marielos Peña-Claros y Johan Zweede. 2007. Timber Production in Selectively Logged Tropical Forests in South America. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 213-216.
54. Kelty, Matthew. 2006. The Role of Species Mixtures in Plantation Forestry. *Forest Ecology and Management* 233: 195-204.
55. Lamb, David. 1998. Large-Scale Ecological Restoration of Degraded Lands: the Potential Role of Timber Plantations. *Restoration Ecology* 6: 271-279.
56. Lamb, David, Peter Erskine y John Parrotta. 2005. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. *Science* 310: 1628-1632.
57. Laurance, William, Alexandre Oliveira, Susan Laurance, Richard Condit, Henrique Nascimento, Ana Sanchez-Thorin, Thomas Lovejoy, Ana Andrade, Sammya D'Angelo, Jose Ribeiro y Christopher Dick. 2004. Pervasive Alteration of Tree Communities in Undisturbed Amazonian Forests. *Nature* 428: 171-174.
58. Laurance, William. 2004. Forest-Climate Interactions in Fragmented Tropical Landscapes. *Phil Trans R Soc Lond B* 359: 345-352.
59. Laurance, William y Carlos Peres (Eds). 2006. *Emerging Threats to Tropical Forests*. Chicago: University of Chicago Press.
60. Le Corre, Valerie y Antoine Kremer. 2003. Genetic Variability at Neutral Markers, Quantitative Trait Loci and Trait in a Subdivided Population under Selection. *Genetics* 164: 1205-1219.
61. Ledig, Thomas y Jil Kitzmiller. 1992. Genetic Strategies for Reforestation in the Face of Global Climate Change. *Forest Ecology and Management* 50: 153-169.
62. Lewis, Simon. 2006. Tropical Forests and the Changing Earth System. *Phil Trans R Soc B* 361: 195-210.

63. Lewis, Simon, Oliver Phillips, Timothy Baker, Jon Lloyd, Yadvinder Malhi, S. Almeida, N. Higuchi, W.F. Laurance, D.A. Neill, J. N. Silva, J. Terborgh, A. Torres-Lezama, R. Vázquez Martínez, S. Brown, J. Chave, C. Kuebler, P. Núñez Vargas y B. Vinceti. 2004. Concerted Changes in Tropical Forest Structure and Dynamics: Evidence from 50 South American Long-Term Plots. *Phil Trans R Soc Lond B* 359: 421-436.
64. Lewis, Simon, Oliver Phillips y Timothy Baker. 2006. Impacts of Global Change on the Structure, Dynamics and Functioning of South American Tropical Forests. En *Emerging Threats to Tropical Forests*, eds. William Laurance y Carlos Peres, 15-31. Chicago: University of Chicago Press.
65. Lim, Bo y Erika Spanger-Siegfried (Eds). 2005. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures*. Cambridge: Cambridge University Press.
66. Locatelli, Bruno, Markku Kanninen, Maria Brockhaus, Carol Colfer, Daniel Murdiyarto y Heru Santoso. 2008. *Facing an Uncertain Future: how Forest and People can Adapt to Climate Change*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR).
67. Malhi, Yadvinder y James Wright. 2004. Spatial Patterns and Recent Trends in the Climate of Tropical Rainforest Regions. *Proc R Soc Lond B* 359: 311-329.
68. Markham, Adam (Ed). 1998. *Potential Impacts of Climate Change on Tropical Forest Ecosystems*. Dordrecht: Kluwer.
69. McKay, John y Robert Latta. 2002. Adaptive Population Divergence: Markers, QTL and Traits. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 285-291.
70. Mesén, Francisco, David Boshier y Jonathan Cornelius. 1993. Genetic Improvement of Trees in Central America, with Particular Reference to Costa Rica. En *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources*, eds. Roger Leakey y Adrian Newton, 249-255. Londres: HMSO.
71. Navarro, Carlos, Sheila Ward y Marvin Hernández. 2002. The Tree *Cedrela odorata* (Meliaceae): a Morphologically Subdivided Species in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 50: 21-29.
72. Neelin, J. D., M. Münnich, H. Su, J. Meyerson, y C.E. Holloway. 2006. Tropical Drying Trends in Global Warming Models and Observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 6110-6115.
73. Nepstad, Daniel, Paul Lefebvre, Urbano Lopes da Silva, Javier Tomasella, Peter Schlesinger, Luis Solorzano, Paulo Moutinho, David Ray y Jose Guerreira Benito. 2004. Amazon Drought and its Implications for Forest Flammability and Tree Growth: a Basin-wide Analysis. *Global Change Biology* 10: 704-717.
74. Nichols, Doland, Mila Bristow y Jerome Vanclay. 2006. Mixed-species Plantations: Prospects and Challenges. *Forest Ecology and Management* 233: 383-390.
75. Nikles, D. G., T. Spidy, E.J. Rider, R.L. Eissemann, R.S. Newton, y M. Frederick. 1983. Genetic Variation in Windfirmness among Provenances of *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Bar. and Golf. in Queensland. *Silvicultura* 8: 124-130.
76. Nittler, John y Henry Tschinkel 2005. *Community Forest Management in the Maya Biosphere Reserve of Guatemala: Protection Through Profits*. Atenas: U.S. Agency for International Development (USAID)-Sustainable Agriculture and Natural Resource Management (SANREM)-University of Georgia.
77. Noss, Reed. 2001. Beyond Kyoto: Forest Management in a Time of Rapid Climate Change. *Conservation Biology* 15: 578-590
78. Penman, Jim, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riita Pipatti, Leandro Buendia, Kiyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe y Fabian Wagner. 2003. *Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry*. Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change - National Greenhouse Gas Inventories Programme - Institute for Global Environmental Strategies.
79. Persson, Reidar. 2005. Where is the United Nations Forum on Forests Going? *International Forestry Review* 7: 348-357.
80. Petit, Remy y Arndt Hampe. 2006. Some Evolutionary Consequences of Being a Tree. *Annual Review of Ecology and Systematics* 37: 187-214.
81. Petit, Bryan y Florencia Montagnini. 2006. Growth in Pure and Mixed Plantations of Tree Species Used in Reforesting Rural Areas of the Humid Region of Costa Rica, Central America. *Forest Ecology and Management* 233: 338-343.
82. Phillips, Oliver, Rodolfo Vásquez, Luzmilla Arroyo, Timothy Baker, Timothy Killeen, Simon Lewis, Yavinder Malhi, Abel Monteagudo, David Neill, Percy Nuñez, Miguel Alexiades, Carlos Cerón, Anthony Di Fiore, Terry Erwin, Anthony Jardim, Walter Palacios, Mario Saldias y Barbara Vincenti. 2002. Increasing Dominance of Large Lianas in Amazonian Forests. *Nature* 418: 770-773.

83. Phillips, Oliver, Rodolfo Vázquez, Abel Monteagudo, Timothy Baker y Percy Núñez. 2005. Large Lianas as Hyperdynamic Elements of the Tropical Forest Canopy. *Ecology* 86: 1250-1258.
84. Pinard Michele y Francis Putz. 1996. Retaining Forest Biomass by Reducing Logging Damage. *Biotropica* 28: 278-295.
85. Pinard Michele, Francis Putz y Juan Licona. 1999. Tree Mortality and Vine Proliferation Following a Wildfire in a Sub-humid Tropical Forest in Eastern Bolivia. *Forest Ecology and Management* 116: 247-252.
86. Pinard, Michelle y Wendell Cropper. 2000. Simulated Effects of Logging on Carbon Storage in Dipterocarp Forest. *Journal of Applied Ecology* 37: 267-283.
87. Pitman, Nigel, John Terborgh, Miles Silman, Percy Núñez, David Neill, Carlos Cerón, Walter Palacios y Milton Aulestia. 2001. Dominance and Distribution of Tree Species in Upper Amazonian Terra Firme Forests. *Ecology* 82: 2101-2117.
88. Pokorny, B., C. Sabogal, J. N. M. Silva, P. Bernardo, J. Souza y J. Zweede 2005. Compliance with Reduced-impact Harvesting Guidelines by Timber Enterprises in Terra Firme Forests of the Brazilian Amazon. *International Forestry Review* 7: 9-20.
89. Pounds, Alan, Martin Bustamante, Luis Coloma, Jamie Consuegra, Michael Fogden, Pru Foster, Enrique La Marca, Karen Masters, Andres Merino-Viteri, Robert Puschendorf, Santiago Ron, Arturo Sánchez-Azofeifa, Christopher Still y Bruce Young. 2006. Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming. *Nature* 439: 161-167.
90. Rojas, Ana Victoria. 2004. *Comprehensive Environmental Projects: Linking Adaptation to Climate Change, Sustainable Land Use, Biodiversity Conservation and Water Management*. Netherlands: Both Ends.
91. Sáenz-Romero, Cuauhtemoc; Ricardo Guzmán-Reyna y Gerald Rehfeldt 2006. Altitudinal Genetic Variation among *Pinus oocarpa* Populations in Michoacán, Mexico: Implications for Seed Zoning, Conservation, Tree Breeding and Global Warming. *Forest Ecology and Management* 229: 340-350.
92. Salinger, James. 2005. Climate Variability and Climate Change: Past, Present and Future. *Climatic Change* 70: 9-29.
93. Scholze, Marko, Wolfgang Knorr, Nigel Arnell y Colin Prentice. 2006. A Climate-change Risk Analysis for World Ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103: 13116-13120.
94. Schulze, Mark. 2008. Technical and Financial Analysis of Enrichment Planting in Logging Gaps as a Potential Component of Forest Management in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 255: 866-879.
95. Schulze, Mark, James Grogan y Edson Vidal. 2008. Technical Challenges to Sustainable Forest Management in Concessions on Public Lands in the Brazilian Amazon. *Journal of Sustainable Forestry* 26: 61-76.
96. Shukla, Jagadish, Carlos Nobre y Piers Sellers. 1990. Amazon Deforestation and Climate Change. *Science* 247: 1322-1325.
97. Simons, A. J. y Robert Leakey. 2004. Tree Domestication in Tropical Agroforestry. *Agroforestry Systems* 61: 167-181.
98. Simons, A. J., D.J. MacQueen y J.L. Stewart. 1994. Strategic Concepts in the Domestication of Non-industrial Trees. En *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources*, eds. Robert Leakey y Adrian Newton, 91-102. Londres: HMSO.
99. Sist, Plinio. 2000. Reduced Impact Logging in the Tropics: Objectives, Principles and Impacts. *International Forestry Review* 2: 3-10.
100. Snook, Laura y Patricia Negreros-Castillo. 2004. Regenerating Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) on Clearings in Mexico's Maya Forest: the Effects of Clearing Method and Cleaning on Seedling Survival and Growth. *Forest Ecology and Management* 189: 143-160.
101. Sohngen, Brent, Robert Mendelsohn y Roger Sedjo. 2001. A Global Model of Climate Change Impacts on Timber Markets. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 26: 326-343.
102. Sotelo-Montes, Carmen y John Weber. 1997. Priorización de especies arbóreas para sistemas agroforestales en la Selva Baja del Perú. *Agroforestería en las Américas* 4: 12-17.
103. Sunderlin, William, Arild Angelsen, Brian Belcher, Paul Burgers, Robert Nasi, Levania Santoso y Sven Wunder. 2005. Livelihoods, Forests, and Conservation in Developing Countries: an Overview. *World Development* 33: 1383-1402.

104. Thompkins, Emma, Sophie Nicholson-Cole, Lisa-Ann Hurlston, Emily Boyd, Gina Brooks, Judi Clarke, Gerard Gray, Neville Trotz y Lynda Varlack. 2005. *Surviving Climate Change in Small Islands: a Guidebook*. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research- School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
105. Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif, y E. Roeckner. 1999. Increased El Niño Frequency in a Climate Model Forced by Future Greenhouse Warming. *Nature* 398: 694-697.
106. Valle, Denis, Mark Schulze, Edson Vidal, James Grogan y Marcio Sales. 2006. Identifying Bias in Stand-level Growth and Yield Estimations: a Case Study in Eastern Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 236: 127-135.
107. Varmola, Martti, Denis Gautier, Don Lee, Florencia Montagnini y Jussi Saramäki. 2005. Diversifying Functions of Planted Forests. En *Forests in the Global Balance-changing Paradigms*, eds. Gerardo Mery, Rene Alfaro, Markku Kanninen y Maxim Lobovikov, 117-135. Viena: IUFRO World Series vol. 17.
108. Vozzo, J. A. (Ed). 2002. *Tropical Tree Seed Manual. Agriculture Handbook 721* Washington D. C.: United States Department of Agriculture Forest Service.
109. Weber, J. C., R.L. Labarta Chávarri, C. Sotelo-Montes, A.W. Brodie, E. Cromwell, K. Schreckenbergy A.J. Simons. 1997. Farmers' Use and Management of Tree Germplasm: Case Studies from the Peruvian Amazon. En *Proceedings of an International Workshop on Policy Aspects of Tree Germplasm Demand and Supply*, eds. A. J. Simons, R. Kindt y F. Place, 57-63. Nairobi: ICRAF.
110. Weber, John, Carmen Sotelo-Montes, Hector Vidaurre, Ian Dawson y Anthony Simons. 2001. Participatory Domestication of Agroforestry Trees: an Example from the Peruvian Amazon. *Development in Practice* 11: 425-433.
111. Wesche, Sonia, Keith Kirby y Jaboury Ghazoul. 2006. Plant Assemblages in British Beech Woodlands within and beyond Native Range: Implications of Future Climate Change for their Conservation. *Forest Ecology and Management* 236: 385-392.
112. Williamson, T. B., J.R. Parkins y B.L. McFarlane. 2005. Perceptions of Climate Change Risk to Forest Ecosystems and Forest Based Communities. *Forestry Chronicle* 81: 710-716.
113. Wolffsohn, Anthony. 1984. *Estudios silviculturales de Pinus oocarpa Schiede en la República de Honduras*. Siguatepeque: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Publicación Miscelánea 4.
114. Wright, Joseph, Osvaldo Calderón, Andres Hernández y Steven Paton. 2004. Are Lianas Increasing in Importance in Tropical Forests? A 17-year Record from Panamá. *Ecology* 85: 484-489
115. Yeh, Francis. 2000. Population Genetics. En *Forest Conservation Genetics*, eds. Andrew Young, David Boshier y Timothy Boyle, 21-37. Wallingford: CABI Publishing.

