



Capítulo 12

Impacto ambiental del aprovechamiento

- 12.1 Introducción
- 12.2 Cambios en el microclima y en el ciclo hídrico
 - 12.2.1 Microclima
 - 12.2.2 Ciclo hídrico
 - 12.2.3 Efectos sobre la cantidad de agua
 - 12.2.4 Efectos sobre la calidad del agua
- 12.3 Cambios en el suelo y en el ciclo de nutrimentos y efectos del aprovechamiento
 - 12.3.1 Suelos
 - 12.3.2 El ciclo de nutrimentos
 - 12.3.3 Efectos del aprovechamiento en el ciclo de nutrimentos
 - 12.3.4 Aprovechamiento y ciclo de carbono
- 12.4 Cambios en la vegetación
 - 12.4.1 Efectos del aprovechamiento en los árboles remanentes
 - 12.4.2 Remoción del dosel
 - 12.4.3 Efectos del aprovechamiento en los productos no maderables
 - 12.4.4 Madera muerta
- 12.5 Cambios en las poblaciones de la fauna
 - 12.5.1 Efectos directos
 - 12.5.2 Efectos indirectos
- 12.6 Mitigación de impactos
 - 12.6.1 Mitigación de impacto en los claros
 - 12.6.2 Red vial
 - 12.6.3 Arrastre
 - 12.6.4 Protección del recurso hídrico
- 12.7 Los estándares de manejo forestal y la reducción de impactos
- 12.8 Bibliografía

Bastiaan Louman

Impacto ambiental es cualquier cambio neto, positivo o negativo, que se provoca sobre el ambiente como consecuencia, directa o indirecta, de acciones antrópicas que puedan producir alteraciones susceptibles de afectar la salud y la calidad de vida, la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos.



12.1 Introducción

A partir de la década de 1950, los forestales y responsables del manejo forestal empezaron a preocuparse por el aumento de los impactos causados con la introducción de maquinaria pesada para el aprovechamiento. Los primeros estudios sobre los posibles impactos del aprovechamiento se hicieron en los años 50 en África y Asia y en los años 80 en América Latina; pero la mayor parte de estos estudios se han realizado en Asia. En general, el uso de maquinaria causa impactos sobre la vegetación y el suelo, aunque estudios más recientes hablan de posibles impactos sobre la fauna, pues la cacería aumenta y se reduce la cantidad y variedad de plantas alimenticias. Hay evidencias de que los impactos sobre la vegetación y el suelo se incrementan con la intensidad del aprovechamiento, y que el aprovechamiento controlado o de impacto reducido permite aprovechar un mayor volumen por hectárea sin aumentar los daños. Es claro, sin embargo, que todo aprovechamiento de madera lleva consigo algún nivel de impacto.

En este capítulo buscamos describir en detalle los impactos ambientales de las diferentes operaciones de aprovechamiento sobre el agua, suelo, viento y fauna; además, proponemos medidas para reducir esos impactos, aplicando muchas de las ya escritas en los capítulos anteriores, con énfasis en América tropical. El objetivo del capítulo es que los estudiantes tomen conciencia de los posibles impactos ambientales que las operaciones de aprovechamiento pueden causar, y que conozcan las herramientas principales para mitigarlos.

En primera instancia, sin embargo, es importante definir qué es un impacto ambiental. En Argentina, la definición legal dice que¹:

IMPACTO AMBIENTAL es cualquier cambio neto, positivo o negativo, que se provoca sobre el ambiente como consecuencia, directa o indirecta, de acciones antrópicas que puedan producir alteraciones susceptibles de afectar la salud y la calidad de vida, la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos.

También, el Consejo Mundial de Manejo Forestal (FSC, por sus siglas en inglés) considera muy importante el impacto ambiental causado por el manejo forestal y dedica un principio completo a su evaluación. El principio 6 considera que “*Todo manejo forestal deberá conservar la diversidad biológica y sus valores asociados, los recursos de agua, los suelos y los ecosistemas frágiles y únicos, además de los paisajes. Si estos objetivos se cumplen, se mantendrán las funciones ecológicas y la integridad del bosque.*” (FSC 2000). Como se ve, el principio se refiere sólo a cambios que pueden afectar la capacidad productiva de los recursos naturales y a procesos ecológicos, aunque esto también podría implicar efectos sobre la salud y la calidad de vida. El FSC especifica mejor lo que se entiende por ambiente: “*...la diversidad biológica y sus valores asociados, los recursos de agua, los suelos, y los ecosistemas frágiles y únicos, además de los paisajes.*”

¹ Ley no. 123 de Impacto Ambiental de Argentina, consultada en la página de la Comunidad de Arquitectura Americana (18 de julio 2002): http://1999.arqa.com/informa/imp_amb.htm



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

La definición del FSC habla de conservar, lo que implica que no debe haber cambios y que, entonces, todo cambio se considera negativo. Esto ha generado muchas discusiones sobre si se deben permitir cambios o no, y a veces ha resultado en exigencias demasiado estrictas para las condiciones locales. Su interpretación, sin embargo, se ha aclarado con la definición de los indicadores para medir los impactos, redacción de guías para el proceso de certificación (por ejemplo, las de Smartwood) y capacitación a los evaluadores. La idea ahora imperante es aceptar los cambios si no ponen en peligro las funciones ecológicas y productivas (incluyendo la provisión de servicios ambientales), ni la integridad del bosque.

En este sentido, es importante distinguir entre cambios de los cuales el bosque se recupera a corto o mediano plazo (por ejemplo, claros pequeños) y que afectan poco las funciones y la integridad del bosque, y cambios de los cuales el bosque no se recupera o lo hace muy lentamente, con lo que potencialmente se ponen en riesgo las funciones y la integridad (por ejemplo, los caminos forestales).

12.2 Cambios en el microclima y en el ciclo hídrico

12.2.1 Microclima

Los cambios en el microclima pueden afectar la capacidad de regeneración del bosque. El microclima en el bosque está regulado por la radiación solar, la cual influye en la temperatura del suelo y del aire y en la humedad del aire (Martínez-Ramos 1985, Dam 2001). En Guyana, la creación de claros afectaba estas condiciones a partir de 10 m de los bordes del claro, por lo que la temperatura aumenta y se reduce la humedad (Dam 2001). Este efecto entonces depende del tamaño del claro, pero también de su forma, ya que un claro irregular o rectangular tiene mayor borde que un claro regular de la misma superficie. Y, como consecuencia, una mayor parte del claro se encuentra dentro de la distancia de 10 m del borde. La radiación solar que llega hasta el suelo disminuye al ir creciendo la vegetación en el claro y, con el tiempo, el bosque recupera el microclima anterior.

12.2.2 Ciclo hídrico

Los efectos del aprovechamiento y conversión del bosque sobre el ciclo hídrico todavía no han sido claramente explicados, y a menudo resultan de exageraciones de fenómenos reales (Bruijnzeel y Critchley 1994). Tales efectos pueden ser diferentes en diferentes años y entre diferentes sitios debido a cambios en el clima, en las condiciones topográficas y en el suelo (Bruijnzeel y Critchley 1994). Es importante tomar siempre en cuenta el contexto de los bosques y su uso, antes de proyectar los posibles efectos del aprovechamiento sobre el ciclo hídrico. En este libro nos circunscribimos al contexto húmedo tropical de América Central, pero aún así los efectos del aprovechamiento sobre el ciclo hídrico podrían variar según el sitio y el año, por lo que hay que considerar los posibles efectos en cada caso particular.

Impacto ambiental del aprovechamiento

Para entender bien cómo el aprovechamiento podría afectar el ciclo hídrico es importante saber que en bosques tropicales de dosel cerrado, entre 75 y 90% de la precipitación total llega al suelo de manera directa (5-25%), por lavado de tallos (*'stemflow'*) (1-2%), o indirecta, por goteo del dosel (lavado foliar). Entre 10 y 25% de la precipitación es interceptada por la vegetación y luego se evapora (Bruijnzeel y Critchley 1994, Fassbender 1993). En bosques no intervenidos, la mayor parte de la precipitación que llega al suelo se infiltra y contribuye al flujo del agua en el subsuelo. Fassbender (1993) presenta un caso de los Andes venezolanos, a una altura de 2300 msnm: de los 1576 mm de precipitación anual, 1271 mm llegan al suelo por lavado foliar o lavado de tallos (78%); de esta cantidad, el 99% se infiltra al suelo. Esta agua fluye hacia abajo y contribuye al flujo base de los ríos, o es consumida por la vegetación y luego liberada a la atmósfera por transpiración. Sólo cuando el suelo ya está saturado (en tiempos de precipitación excesiva) o se encuentran capas no penetrables cerca de la superficie, es que ocurre escorrentía superficial (Stadtmüller 1994, Bruijnzeel y Critchley 1994).



12.2.3 Efectos sobre la cantidad de agua

Hay que aclarar que en América Central es poco probable que la deforestación afecte la cantidad de precipitación anual, ya que la influencia de las masas marítimas sobre el clima de los países centroamericanos es mucho mayor que la ejercida por la presencia (o ausencia) de bosques (Kaimowitz 2001). Sólo en grandes áreas continentales, como la Amazonia, donde se da un cambio masivo de uso de la tierra, se podría esperar que la precipitación se reduzca a causa de la disminución de la transpiración provocada por la deforestación.

El efecto inmediato de eliminar el bosque normalmente es una reducción en evapotranspiración y un aumento en el porcentaje de la lluvia que llega directamente al suelo, lo que sí podría afectar la disponibilidad de agua. Si el cambio de uso no afecta la tasa de infiltración del suelo, habría una mayor disponibilidad de agua en el suelo, lo que podría aumentar el flujo base de los ríos durante los periodos de lluvia, con flujos picos de hasta 50% mayor que el normal durante o después de tormentas tropicales (Bruijnzeel y Critchley 1994). No obstante, la diferencia relativa entre flujos picos de eventos extremos en cuencas forestadas y no forestadas es muy pequeña, ya que una vez que el suelo queda saturado toda el agua escurre, sin importar el uso actual del suelo (Kaimowitz 2001).

Estos efectos también ocurren, pero en menor escala, en bosques intervenidos. Un experimento en Costa Rica, por ejemplo, encontró mayor humedad en los 70 cm superiores del suelo en claros grandes que en claros pequeños, en bosques secundarios y bosques no disturbados (Bruijnzeel y Critchley 1994). Esto puede resultar en mayor escorrentía y formación de charcos en los claros que en el bosque no disturbado. Stadtmüller (1994), sin embargo, cita a varios autores que indican que su efecto sobre el caudal de los ríos no es significativo si el área basal eliminada es menor a 20% del área basal total.

El efecto del cambio de uso y aprovechamiento en la disponibilidad de agua depende del método de tala, del tipo de vegetación/ uso que se da a la tierra después de la remoción, del clima, características del suelo y topografía.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

En Guyana también encontraron mayor humedad en los suelos en claros grandes que en claros pequeños un año después del aprovechamiento, aunque las diferencias no eran significativas. Esas diferencias se invirtieron durante la estación seca, cuando los claros grandes mostraron suelos más secos que los claros pequeños (Dam 2001). Este mismo investigador atribuye la falta de diferencias significativas en cuanto a la humedad del suelo en claros grandes y pequeños a la existencia de raíces aún activas de los árboles eliminados, raíces de árboles cercanos a los claros que tratan de ocupar el espacio libre, presencia de hojarasca en algunas zonas del claro pero no en otras, y presencia de regeneración de árboles de rápido crecimiento en los claros grandes. Esta regeneración contribuye a la restauración del ciclo hídrico hasta niveles aproximados a los del ciclo original en 10 a 20 años (Saldarriaga 1994, citado por Steege *et al.* 1996).

En zonas húmedas tropicales con estación seca pronunciada, el cambio de uso puede tener como efecto la reducción del flujo base en los ríos durante la estación seca (Bruijnzeel y Critchley 1994); en suelos con buena infiltración, este efecto puede ser compensado al reducirse la evapotranspiración (Kaimowitz 2001). La compactación del suelo causada por el uso de maquinaria pesada durante el aprovechamiento o el cambio de uso aumenta la escorrentía y, por ende, reduce el efecto compensatorio. En consecuencia, los flujos picos tienden a aumentar en época lluviosa y el flujo base tiende a reducirse durante la época seca. El resultado final del cambio de uso y aprovechamiento, en cuanto al caudal durante diferentes épocas del año, dependerá del método de remoción de los árboles, del tipo de vegetación/uso que se da a la tierra después de la remoción, del clima y de las características del suelo y topografía.

Sánchez (1976) presenta datos de áreas bajo bosques, cultivos y descubiertas en África y Colombia, los cuales indican que la cobertura forestal es el mayor determinante en la tasa de escorrentía, a pesar de diferencias por pendiente (de 0 a 22%) y precipitación (de 850 a 1730 mm/año). Bajo bosques, la escorrentía fue menos de 5% de la precipitación total, contra 15 a 62% en áreas descubiertas. Una revisión bibliográfica publicada por Stadtmüller (1994) confirma esta información y atribuye las diferencias principalmente al uso inadecuado de los suelos después de la remoción de los bosques y/o árboles.

La situación es diferente en los bosques nubosos, que muestran una evapotranspiración mucho menor que los bosques de bajura y donde, además, la eliminación del bosque significa una reducción en captación de agua por precipitación horizontal. Ahí, entonces, los cambios de uso y aún el aprovechamiento pueden resultar en menor disponibilidad de agua durante todo el año (Stadtmüller 1994, Bruijnzeel 1999 citado en Kaimowitz 2001).



En resumen:

- La deforestación en América Central no influye en la cantidad de precipitación anual porque esta se debe principalmente a influencias de las masas marítimas.
- Los bosques tropicales con dosel cerrado consumen hasta 1000 mm/año de agua y evaporan unos 600 mm/año. Otros tipos de vegetación consumen menos pero podrían evaporar más. La remoción del bosque puede aumentar la disponibilidad total de agua.
- En los claros pequeños a medianos (hasta 400 m², según Dam 2001), la humedad en el suelo superficial es mayor que en el bosque no intervenido, por lo que durante la época lluviosa los charcos y escorrentía tienden a aumentar. En claros grandes, la humedad depende de la presencia de regeneración de árboles de rápido crecimiento y de hojarasca, pero tiende a ser mayor que en el bosque durante la época lluviosa y menor durante la época seca. Su efecto sobre los caudales, sin embargo, es mínimo si la intervención es moderada.
- Los bosques nubosos evaporan menos y captan agua de las nubes. Su remoción podría reducir la disponibilidad de agua.
- La capacidad de infiltración del suelo es importante para regular la disponibilidad de agua para el consumo del bosque mismo y para uso humano.
- La vegetación juega un papel importante en mantener la capacidad de infiltración de los suelos, sin tener que emplear técnicas costosas de conservación del suelo.
- Si se elimina toda o parte de la vegetación, la distribución de la cantidad de agua disponible pueden ser afectada negativamente si hay compactación del suelo y se reduce su capacidad de infiltración.
- En los claros, el establecimiento de vegetación secundaria puede restaurar el ciclo hídrico en 10-20 años.

12.2.4 Efectos sobre la calidad de agua

La calidad del agua es determinada por sus características físicas (turbidez, sedimentación), químicas (contenido de minerales y contaminantes químicos) y biológicas (contenido de organismos infecciosos, respiración de organismos). Asimismo, la calidad puede ser afectada por erosión (escorrentía), tipo de uso del suelo (contaminación) y sitio de donde viene el agua (organismos) (Stadtmüller 1994). La infiltración de la precipitación y el consecuente flujo de agua en el subsuelo son muy importantes para la calidad de agua porque, por un lado evitan la escorrentía, y por otro lado, evitan el contacto con otros organismos ya que el suelo actúa como filtro para retener organismos, posibles contaminantes o exceso de minerales en el agua.

El aprovechamiento puede provocar cambios en la calidad del agua (adaptado de Stadtmüller 1994):

- Aumento de la sedimentación por mayor escorrentía, particularmente si hay intervenciones a menos de 50 m de los ríos.
- Aumento de la temperatura del agua por tala cerca de los ríos; esto afecta los procesos biológicos en el agua y podría afectar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.
- Aumento de la sedimentación por escorrentía sobre la red vial y movimientos de suelos durante la extracción.
- Aumento de la sedimentación por mala ubicación y construcción de caminos y cruces de los ríos.

El bosque es el uso de la tierra que mejor y en forma más barata protege al suelo y mantiene la tasa de infiltración, contribuye directamente a mantener la calidad de agua y previene el uso de contaminantes como herbicidas, plaguicidas y desechos industriales.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Según el mismo autor, la ubicación y construcción de caminos provocan hasta 80% de los efectos totales del aprovechamiento sobre la calidad de agua.

En esta sección hemos:

- Establecido que los claros afectan la temperatura del suelo y del aire y la humedad del aire.
- Explicado como el aprovechamiento forestal puede afectar el ciclo hídrico.
- Indicado el efecto inmediato de eliminar el bosque sobre la disponibilidad del agua.
- Indicado la influencia del aprovechamiento forestal sobre la cantidad de agua en el suelo.
- Indicado el efecto del aprovechamiento en la calidad del agua.

12.3 Cambios en el suelo, en el ciclo de nutrientes y efectos del aprovechamiento

Algunos cambios que el aprovechamiento provoca en el suelo fueron mencionados en el acápite anterior: la compactación del suelo por la construcción de caminos y las actividades de extracción limitan la infiltración y aumentan la escorrentía. Esto puede causar fluctuaciones en el caudal de los ríos y en la cantidad de sedimentos en el agua, particularmente en áreas con mucha precipitación, pendientes y suelos frágiles.

Cabe mencionar, sin embargo, que estudios en los suelos arenosos de Guyana encontraron que allí los disturbios causados por la construcción de caminos y extracción resultaron en una mayor mezcla de materia orgánica con el suelo superficial, una mayor capacidad de retención de agua y una tasa mayor de infiltración (Steege *et al.* 1996). Estos resultados son una buena indicación de que la determinación de los impactos potenciales del aprovechamiento debe partir de la situación y conocimientos locales. Por otro lado, Dam (2001) afirma que el lavado de nutrientes en claros grandes (>400 m²) aumenta por falta de materia orgánica en los suelos de los claros y no porque la tasa de infiltración sea mayor. También, el aumento en el porcentaje de precipitación que llega al suelo directamente contribuye al lavado de nutrientes. Como se ve, los resultados obtenidos hasta ahora no son definitivos, por lo que aún debe investigarse más sobre los efectos y las consecuencias del aprovechamiento en los suelos.

Aparte de los efectos sobre el suelo, el aprovechamiento también puede afectar la presencia de nutrientes, sea por el aumento en el lavado de nutrientes antes mencionado, por la pérdida de nutrientes al eliminarse la vegetación, o por efectos sobre las tasas de descomposición y mineralización. Para entender estos efectos se debe tener un conocimiento básico sobre el ciclo de nutrientes en el sitio.

Impacto ambiental del aprovechamiento

En este acápite se presentan algunos resultados de estudios de suelos después del aprovechamiento, identificando los efectos más probables en suelos comunes en los bosques húmedos tropicales. Después, con base en una descripción limitada del ciclo de nutrimentos, se discuten posibles efectos del aprovechamiento sobre el ciclo, con el objetivo de que los lectores entiendan mejor la necesidad de reducir los efectos e impactos del aprovechamiento sobre el suelo y los nutrimentos, y tengan mejores criterios para planificar un aprovechamiento que cumpla con esta meta.



12.3.1 Suelos

La importancia de los suelos para la vegetación forestal ya se discutió en el libro “Silvicultura de bosques latifoliados húmedos” publicado en esta misma serie de textos didácticos (Louman *et al.* 2001). Igualmente, Sombroek (1966) en Brünig (1996) afirma que las diferencias en características de los bosques en áreas con condiciones climatológicas uniformes y sin intervenciones antropogénicas, muy probablemente se deban a diferencias en los suelos. Según el autor, la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de nutrimentos y la capacidad de penetración de las raíces son características muy importantes e indicativas de las posibilidades de un manejo sostenible.

Estas tres características pueden resultar afectadas por dos cambios en el suelo (compactación y disminución del pH) y un cambio en el microclima (temperatura y humedad), provocados por la extracción y la creación de claros. A continuación analizaremos los efectos de la compactación; los cambios en pH y en microclima se discuten en las secciones 12.3.3 y 12.2.1, respectivamente.

Compactación

La ocurrencia de la compactación depende del tipo de suelo (textura, estructura, densidad, contenido de materia orgánica), el clima (humedad del suelo durante el paso de la maquinaria), el patrón de raíces en el suelo, el tipo de maquinaria y su uso durante las operaciones del aprovechamiento (Hendrison 1990). En general, los tractores de ruedas causan un mayor grado de compactación que los de oruga (Hendrison 1990).

La mayoría de los suelos en bosques húmedos tropicales tienen una textura, estructura, densidad y humedad que les hacen susceptibles a la compactación (Hendrison 1990, Brünig 1996) y es lógico, entonces, tratar de reducir el área de tránsito de la maquinaria y/o reducir el número de pasadas. Hendrison (1990), en su estudio del sistema de aprovechamiento controlado sobre suelos arenosos en Surinam, encontró que la compactación se incrementa con las primeras cuatro pasadas de un tractor forestal de ruedas, pero la densidad de los suelos no aumenta con el número adicional de pasadas. Migunga (1996) ofrece información similar (primeras cinco pasadas con tractor forestal) en suelos gredosos en Tanzania. Los datos de Hendrison indican que después de 14 pasadas sobre el mismo tramo, la densidad aumenta un 13% en suelos secos (14% de humedad) hasta un 20% en suelos húmedos (28% de humedad). Además, desde la primera pasada del tractor, la capacidad de infiltración del suelo superficial se reduce hasta en 90% debido posiblemente al efecto ‘embarradero’ de las ruedas, más que al aumento en la densidad del suelo. En Guyana también se encontraron reducciones considerables en la capacidad de infiltración de suelos arenosos (Steege *et al.* 1996).



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

En suelos gredosos, por otro lado, los mismos autores no encontraron cambios significativos en la conductividad hidrológica (infiltración), ni en la capacidad de retención de agua, ni en la porosidad de los suelos. Esta falta de cambios se atribuye a la presencia de agregados estables de oxidados de hierro que resistieron a los cambios y evitaron que la superficie fuera sellada por partículas de arcilla y cieno.

Hay menos consenso en cuanto a la capacidad de retención de agua de los suelos compactados: Hendrison (1990) no encontró evidencia de que la capacidad de retención de agua de los suelos se reduzca a pesar de los cambios en la densidad de los suelos, pero Steege *et al.* (1996) informan que esta capacidad aumenta en suelos arenosos, posiblemente debido a la mayor incorporación de materia orgánica. Es claro que las actividades de extracción físicamente afectan la capacidad de infiltración del suelo, lo que -como se vio en secciones anteriores- puede afectar la escorrentía con consecuencias en la disponibilidad y calidad de agua. Además, este efecto puede perdurar por más de ocho años en suelos arenosos con un contenido de arcilla relativamente alto, a pesar de la presencia de regeneración natural en las vías de arrastre. Guariguata y Dupuy (1997) encontraron evidencia de compactación en suelos volcánicos jóvenes en Costa Rica, aún 12 a 17 años después del aprovechamiento.

La reducción de la infiltración y el sellado del suelo superficial pueden tener efectos en el ciclo de nutrimentos como se verá en la sección siguiente. La compactación puede limitar la penetración de las raíces e inhibir la regeneración y/o reducir el potencial de crecimiento de la vegetación en estos sitios. Si se toma una densidad de $1,30 \text{ g/cm}^3$ como límite superior para la penetración de raíces (Shetron *et al.* 1988 y Wästerlund 1992 citados por Migunga 1996), cuatro a cinco pasadas del tractor forestal pueden ser suficientes para reducir la regeneración, ya que la densidad del suelo aumenta hasta $1,50 \text{ g/cm}^3$ (Hendrison 1990, Migunga 1996).

Aparte de la compactación, la extracción puede crear zanjas en las vías, las cuales aceleran la erosión. Con el largo de las zanjas, se incrementa la fuerza del agua y la cantidad de sedimentos y partículas suspendidas en el agua, así como el riesgo de erosión.

12.3.2 El ciclo de nutrimentos

A continuación presentaremos un breve resumen del ciclo de nutrimentos, basado en Bruijnzeel y Critchley (1994). Se recomienda a los lectores interesados referirse a los libros de Sánchez (1976), Jordan (1985) y Fassbender (1993) para una descripción más detallada del ciclo de nutrimentos y las relaciones entre suelos, agua y nutrimentos.

El ciclo de nutrimentos del bosque húmedo tropical no intervenido muestra un balance entre ganancias desde arriba y desde abajo, por un lado, y pérdidas hacia arriba y hacia abajo, por el otro. El nitrógeno es el nutrimento más abundante de los importantes para la producción vegetativa del bosque. Algunos nutrimentos vienen con la lluvia, o con partículas de polvo y de aerosoles². Estos nutrimentos llegan al suelo con la precipitación (directa, por lavado foliar o lavado de los tallos) o con la caída de hojas y ramas muertas.

² aerosol = una suspensión de partículas ultramicroscópicas de sólidos o líquidos en el aire u otro gas.

Impacto ambiental del aprovechamiento

Desde abajo, los nutrientes son liberados por la mineralización de la roca madre, aunque su disponibilidad para los árboles depende de la profundidad a la cual ocurre: si es muy profundo, no quedan al alcance de las raíces. El nitrógeno, además, puede ser fijado en el suelo por microorganismos especializados, aunque también puede perderse por desnitrificación durante los procesos de descomposición. Los nutrientes absorbidos por la vegetación, al final vuelven a quedar disponibles para las plantas por el proceso de envejecimiento y descomposición, luego de pasar por las fases de hojarasca y materia orgánica.



En general, en los ecosistemas forestales sobre suelos pobres entran más nutrientes con la lluvia que los que salen del sistema por el flujo subterráneo de agua y escorrentía; por el contrario, en sistemas forestales sobre suelos fértiles ocurre una pérdida de nutrientes (Mabberly 1992). Las ganancias o pérdidas, sin embargo, son muy pequeñas en relación con la cantidad total existente en el sistema (Mabberly 1992, Fassbender 1993).

En bosques naturales tropicales de bajura, la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en la biomasa aérea. Por otro lado, excepto en bosques en suelos muy pobres, la mayor parte de los nutrientes N y P se encuentran en el suelo aunque no siempre en forma disponible para las plantas (Fassbender 1993). La reserva en el suelo da mayor estabilidad al sistema, pero el ciclo de nutrientes depende más de los nutrientes asociados a la materia orgánica.

12.3.3 Efectos del aprovechamiento en el ciclo de nutrientes

El aprovechamiento puede afectar la disponibilidad de nutrientes por cambios en la materia orgánica en los diferentes componentes del bosque. Los efectos del aprovechamiento sobre el ciclo de nutrientes han sido poco estudiados, y varios de los estudios existentes se realizaron en tipos de suelos similares, pero no necesariamente representativos de los bosques neotropicales: los suelos del escudo de Guyana en Surinam (Poels 1987) y Guyana (Steege *et al.* 1996, Dam 2001).

Los estudios de TROPENBOS en Guyana muestran que el aprovechamiento puede causar pérdidas considerables en los claros. Ellos midieron los flujos de Ca, K, Mg y N y encontraron que la principal pérdida se debe a la extracción de la madera, aunque también se pierden montos considerables por el lavado en claros grandes durante los primeros años después del aprovechamiento. A nivel del bosque o la microcuenca, sin embargo, las pérdidas son pequeñas, comparables con los ingresos por lluvia. A este nivel, el efecto del aprovechamiento sobre el ciclo de nutrientes se puede considerar insignificante (Steege *et al.* 1996), aunque en Surinam llegó a 2,5-3% de los nutrientes presentes en un bosque no intervenido (Jonkers 1987), cantidad recuperable en unos diez años mediante los ingresos de nutrientes con la lluvia y desde el suelo (Jonkers 1987, Fassbender 1993).



El aprovechamiento provoca pérdida directa de nutrientes y reduce el pH del suelo.

Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

A nivel de claros, sin embargo, las pérdidas sí son significativas, particularmente de los elementos Mg y N, de los cuales en Guyana se encontró que después de año y medio se había perdido 5,5 y 9,5% del total de estos elementos en la vegetación, ya fuera por la extracción misma (5,2% de N y 4,5% de Mg) o por lavado (0,3% y 5,0% respectivamente, Cuadro 12.1). La magnitud de pérdidas de Mg fue preocupante; Steege *et al.* (1996) piensan que el sitio no recuperará el Mg perdido en menos de 20 a 25 años. El lavado fue más alto en zonas dentro del claro con acumulación de materia orgánica y condiciones de humedad y temperatura apropiadas para una tasa de descomposición mayor.

Cuadro 12.1 Pérdidas de nutrientes N, K, Ca, Mg (% del total en suelo en los sitios estudiados) en claros, año y medio después del aprovechamiento en Guyana				
	N	K	Ca	Mg
Pérdidas por remoción de madera	5,2	2,8	1,7	4,5
Pérdidas por lavado	0,3	1,8	1,7	5,0

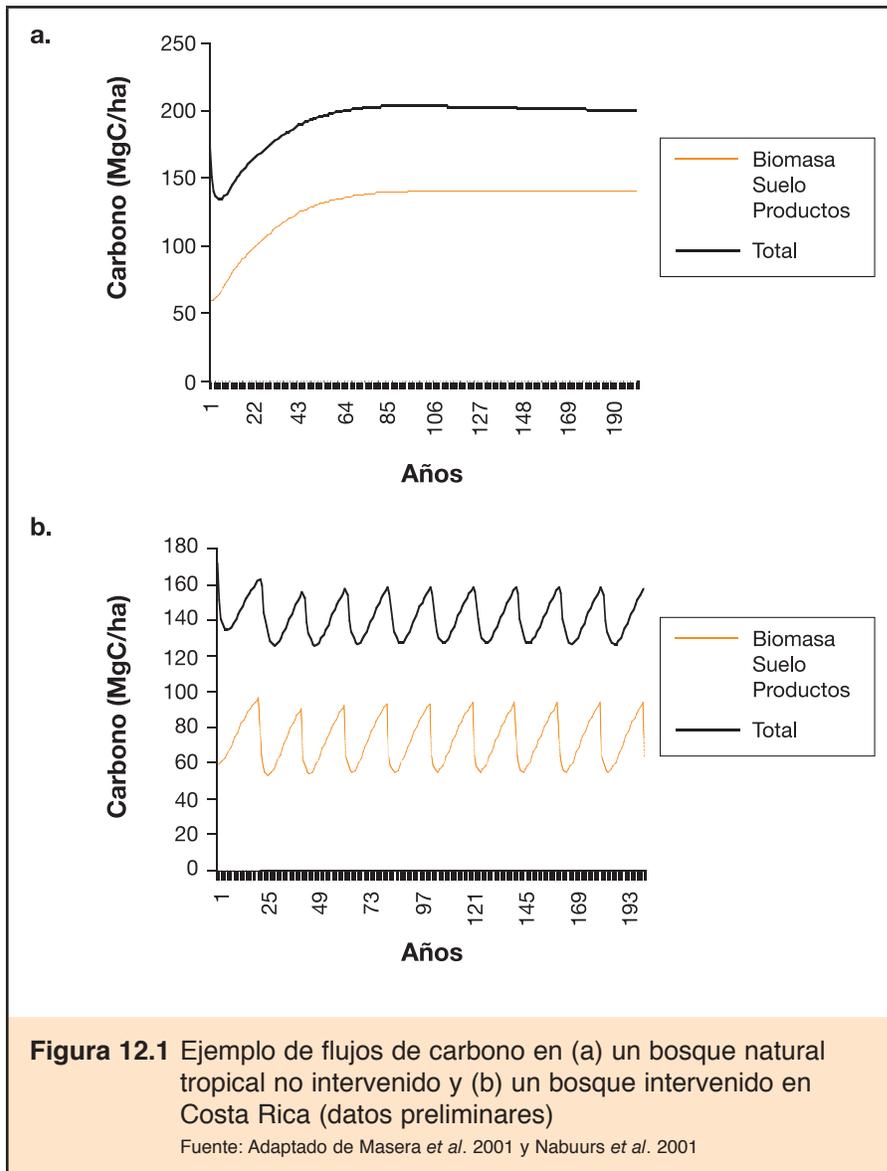
Fuente: Steege *et al.* 1996

Aparte de la pérdida directa de nutrientes, el aprovechamiento puede causar una reducción del pH debido al aumento en la concentración de aluminio en el suelo (Steege *et al.* 1996). El lavado y la concentración de Al aumentaron con el tamaño del claro a partir de 400 m²; en los claros más grandes (3200 m²) hubo un lavado mayor al del bosque no intervenido aún siete años después del aprovechamiento. En claros menores, el lavado volvió a los niveles previos al aprovechamiento y en claros pequeños (200 m²) el lavado no fue mayor que en el bosque no intervenido (Dam 2001). El lavado de nutrientes, el aumento en la concentración de Al y la reducción del pH pueden afectar la regeneración natural en los claros.

En general, sin embargo, el efecto de un aprovechamiento planificado y controlado (AIR) sobre el ciclo de nutrientes es temporal y reversible, siempre que las condiciones del sitio después del aprovechamiento faciliten la regeneración natural. El principal peligro para el ciclo de nutrientes es que, después del aprovechamiento, se decida hacer un cambio de uso que no tome en cuenta las características del suelo que contribuyen a mantener el ciclo de nutrientes (por ej. infiltración, capacidad de almacenamiento de agua, contenido de materia orgánica).

12.3.4 Aprovechamiento y ciclo de carbono

Mucho se ha discutido sobre el almacenamiento y secuestro de carbono en diferentes tipos de vegetación como medida para contrarrestar el efecto invernadero causado por la emisión de gases. Por la fotosíntesis, las plantas captan carbono para la formación de tejidos, aunque también liberan carbono por respiración y, al morir, por la descomposición de los tejidos. En los bosques naturales que han llegado a un equilibrio adaptado a las condiciones de su sitio, el secuestro neto de carbono es casi nulo, ya que el crecimiento está en equilibrio con la mortalidad y la respiración. Por otro lado, la cantidad de carbono almacenado en bosques naturales tropicales puede ser considerable: hasta varias toneladas por hectárea (Fig. 12.3a).



El aprovechamiento puede afectar tanto al almacenaje como al secuestro de carbono: al cortarse los árboles (reducción del carbono almacenado) las plantas remanentes responden aumentando su biomasa³ para ocupar el espacio abierto y, en consecuencia, aumenta el secuestro de carbono. Sin embargo, la cantidad de carbono secuestrado, por ejemplo, a lo largo de un ciclo de corta será muy similar a la cantidad eliminada con el aprovechamiento. El secuestro neto de carbono a largo plazo, entonces, dependerá no tanto del aprovechamiento y del crecimiento del bosque, sino más bien del uso de la madera después del aprovechamiento. Si el uso es duradero, como en construcciones permanentes, el carbono permanece almacenado durante el tiempo que la madera esté en uso. La Fig. 12.3b muestra esta acumulación en madera utilizada para construcción y muebles, tomando en cuenta que en el proceso de transformación también hay desperdicios. Si la madera se utiliza por ejemplo como moldura para construcción y luego se desecha o se quema como leña, casi no habrá almacenamiento y el secuestro fomentado por el mayor crecimiento del bosque después del aprovechamiento apenas será suficiente para reemplazar el carbono liberado por el mismo aprovechamiento.

El uso que se da a la madera aprovechada determina la tasa neta de secuestro de carbono.

³ Principalmente en forma de reclutamiento y crecimiento de nuevas reclutas (Sabogal *et al.* 2001, Acosta *et al.* 2001)



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Aunque falta estudiar mejor las relaciones entre diferentes tipos de uso de la tierra y el almacenamiento y secuestro de carbono, en forma preliminar se puede decir que el aprovechamiento de madera puede contribuir a incrementar el secuestro de carbono, siempre y cuando la madera se use para fabricar productos durables.

En esta sección hemos:

- Indicado los cambios que el aprovechamiento provoca en el suelo.
- Ilustrado los efectos más probables del aprovechamiento sobre los suelos.
- Discutido los posibles efectos del aprovechamiento sobre el ciclo de nutrimentos.

12.4 Cambios en la vegetación

Los cambios en la vegetación en bosques tropicales a causa del aprovechamiento son probablemente los más estudiados y publicados; los primeros estudios datan de 1950 y 1960: Nicholson (1958) y Wyatt-Smith y Foenander (1962) sobre daños por aprovechamiento en Indonesia y Malasia, respectivamente. Aunque la mayor parte de los estudios se han hecho en el sureste asiático, a partir de los años 90 se iniciaron investigaciones en América Latina: Uhl y Vieira (1989), Hendrison (1990), Koppelman (1990), Méndez (1992), Quesada (1992), Verissimo *et al.* (1992), López (1994), Steege *et al.* (1996), Johns *et al.* (1996), Méndez y Maginnis (1997), Camacho y Finegan (1997), Delgado *et al.* (1997), FAO (1997), Cruz (1998), Hout (1999), Armstrong y Inglis (2000), Hout (2000), Putz *et al.* (2000), Louman y Pereira (2001), Sabogal *et al.* (2001), Venegas y Louman (2001), Pereira *et al.* (2002). No obstante, estos estudios son difícilmente comparables, pues han sido realizados en bosques diferentes, bajo distintas condiciones y situaciones, aplicando diferentes metodologías y posiblemente diferentes definiciones de daños y claros. En el Cuadro 12.2 se presenta un resumen de daños reportados en varios de estos estudios.



Cuadro 12.2 Resumen de efectos sobre la vegetación causados por el aprovechamiento convencional (AC) y el aprovechamiento de impacto reducido (AIR), con énfasis en operaciones en América Latina (continúa)

Lugar/Fuente/Casos	Árboles extraídos			No. de árboles dañados por árbol talado			Claros por tala ⁴		Área en caminos (%)	
	Tamaño promedio/ árbol	No. de árboles/ ha	Área basal	Leve	Severo	m ² /claro	%	Caminos Vías arrastre Pátios		
Malasia (1) AC		2%			35% ¹		30		9	
Indonesia (2) AIR, DMC=50 AIR DMC = 50 cm AC DMC = 60 cm		15		29%	27,1%		26,5		26	
		8-10		15,4%	12,2%		16,4		13,9	
		8-10		24,9%	19,7%		12,9		27,8	
Queensland, Australia (3)	5,6 m ³	6,6	4,9 m ²		22,2		22		5	
Paragominas, Brasil (4) ² AC	87 cm	8 (1,7%)	16%		15 (28%)				8	
Paragominas, Brasil (5) AC	5,9 m ³	6,4			27	445	28,5		14	
Paragominas, Brasil (6) AIR AC	79 cm (8,1 m ³)	4,5	2,2 m ²	5,6 t 3,7 e	8,6 t + 8,3 e ³	166	7,5	9,5		
	72 cm (5,3 m ³)	5,6	2,3 m ²	7,5 t 5,8 e	14,6 t + 7,8 e ³	355	7,8	15,0		
Paragominas, Brasil (7) AIR AC	8,4 m ³	3,0					10,9	0,6	3,6	
	7,1 m ³	3,7					21,6	1,2	6,8	
Manaus, Brasil (8) AIR AC	8,1 m ³	5			22,2% (AFC)		10,8	0,63	4,2	
	5,0 m ³	23			51,5% (AFC)		24,7	0,63	19	
Surinam (9) AIR AIR con tala dirigida AIR con cable AC	53 cm					115	6,4		6,9	
	59 cm	12		12	22 t + 4,5 e	121	7,3		7,3	
	62 cm					141	6,8		5,6	
	62 cm	11		15	23 t + 12,6 e	249	14		15,2	



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Lugar/Fuente/Casos		Árboles extraídos			No. de árboles dañados por árbol talado		Claros por tala ⁴		Área en caminos (%)	
		Tamaño promedio/árbol	No. de árboles/ha	Área basal	Leve	Severo	m ² /claro	%	Caminos Vías arrastre Patios	
Guyana (10) AIR (53% <i>Chlorocardium rodiei</i>) AC (sólo <i>Chlorocardium rodiei</i> , en manchas)		55,7 cm	8			13	216		15,7	
		56,4 cm	16			9	370		30,1	
			8			16	319		15,8	
			16			10	502		24,5	
Costa Rica, bajura (11) AIR				14,9%	5,6% ab			15,5		
Costa Rica, altura (12) AIR				22,1% 29,3%	2,5% ab 5,8% ab					
Nicaragua (13) AIR AC		105 cm	3,8			3,0 (>20 cm)	358	13,5	2,5	3,8
		82,5 cm	3,0			4,6 (>20 cm)	353	10,6	1,2	3,1
Guatemala (14) AIR		3,8 m ³	1,5	1,6%		14,3 (1,9% ab)	344	5	0,68	2,2

AFC = árboles de futura cosecha

ab = área basal

t = tala

e = extracción

Fuentes: (1) Wyatt-Smith y Foennander 1962 (2) Bertault y Sist 1995 (3) Crome et al. 1992 (4) Uhl y Vieira 1989 (5) Verissimo et al. 1992 (6) Johns et al. 1996 (7) Pereira et al. 2002

(8) FAO 1997 (9) Hendrison 1990 (10) Hout 2000 (11) Koppelman 1990 (12) Venegas y Louman 2001 (13) Sabogal et al. 2001 (14) Marmillod y Gálvez (1997).

¹ incluye daños por construcción de caminos

² aprovechamiento en manchas

³ daños por tala en copa y fuste (por extracción principalmente en fustes)

⁴ tamaño del claro depende más del tamaño del árbol talado y del número de árboles por claro que del método de aprovechamiento

Impacto ambiental del aprovechamiento

Hay que tener presente que la magnitud de los daños causados por un aprovechamiento mejorado tiene que ver con el tipo de bosque y el volumen a extraer, lo cual hace aún más difícil su comparación en regiones geográficas distintas. Así tenemos que, mientras que en Asia se extraen más de 100 m³/ha (Putz *et al.* 2000), en Paragominas (Brasil) no pasan de 30 m³/ha (Johns *et al.* 1996), 15 m³/ha en la zona norte de Costa Rica (observación personal) y apenas 5 m³/ha en los bosques de Guyana (Steege *et al.* 1996) y del Petén, Guatemala (observación personal). No obstante, en casos comparables, la literatura señala que el AIR causa daños menores en número de árboles remanentes dañados, en tamaño de claros individuales y/o en área bajo caminos. Sólo en el área total de claros creados por la tala, el aprovechamiento convencional (AC) puede tener un mejor desempeño, como en los casos de Guayana y Nicaragua. Esto se debe principalmente a que en el AC, los claros son formados por varios árboles, mientras que el AIR busca una mejor distribución de los árboles a talar y una reducción del número de árboles a talar por claro.



El Cuadro 12.2 muestra que los efectos del aprovechamiento en la vegetación pueden ser de diferentes tipos, aunque los más destacados son los efectos sobre los árboles remanentes y la remoción del dosel por tala o para la construcción de caminos. Ambos pueden influir en la fauna, el potencial productivo del bosque y los ciclos hídricos y de nutrientes. A continuación se describen en mayor detalle las dos formas de efectos. Otro aspecto importante que se desprende del cuadro es la necesidad de uniformizar los métodos de medir los efectos del aprovechamiento, para poder comparar los resultados entre diferentes estudios en diferentes sitios. En el Capítulo 13 se discutirán algunas pautas sobre monitoreo y control.

12.4.1 Efectos del aprovechamiento en los árboles remanentes

Los efectos sobre los árboles remanentes pueden ser positivos (mayor potencial de crecimiento), o negativos (reducción del crecimiento o mortalidad por daños durante la tala y/o extracción de la madera).

Cambios positivos

Los efectos positivos han sido estudiados por Camacho y Finegan (1997) en Costa Rica y Sabogal *et al.* (2001) en Nicaragua. Los últimos reportan un mejor estado silvicultural de los árboles de futura cosecha después del aprovechamiento. En Tirimbina, Camacho y Finegan (1997) mostraron que los tratamientos después del aprovechamiento aumentaron el crecimiento de los árboles comerciales, aunque ya 42% de esos árboles con dap > 10 cm tenían buena iluminación después del aprovechamiento y antes de los tratamientos (Quirós y Finegan 1994). El crecimiento de estos árboles después del aprovechamiento (tratamiento testigo), sin embargo, no mostró diferencias en relación con el crecimiento dos años antes del aprovechamiento. La misma situación se manifestó en el conjunto de todos los árboles y en los grupos de árboles comerciales y de futura cosecha por aparte.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Venegas y Louman (2001) citan un estudio de Camacho en bosques de altura que compara el crecimiento de los árboles después de diferentes intensidades de aprovechamiento. A diferencia de los dos casos antes mencionados, el aprovechamiento en el bosque nuboso tenía principalmente fines silviculturales. A pesar de esta diferencia, sólo se reporta un aumento pequeño en el crecimiento de algunos de los árboles comerciales.

Los resultados de los tres estudios indican que, aunque en teoría el aprovechamiento puede influir en el crecimiento de los árboles remanentes y de futura cosecha, en la práctica no parece ser el caso. Lo anterior se puede explicar por el hecho de que el área afectada por claros en estos casos nunca superó el 25% del área total del bosque. Entonces, asumiendo una buena distribución espacial de los árboles, la mayoría de los árboles de futura cosecha no mostraron ningún efecto de los claros pero sí contribuyen al promedio del crecimiento. Por otro lado, Sabogal *et al.* (2001) sí encuentran un cambio en la dinámica del bosque, con mayor reclutamiento en las clases de latizales, el cual más que compensa las pérdidas por mortalidad. Un cambio similar en la dinámica del bosque se encontró en los bosques afectados por el huracán Mitch en el norte de Honduras, donde se observó un reclutamiento mayor que la mortalidad en claros nuevos (Acosta *et al.* 2001).

Cambios negativos

En el Cuadro 12.2 se muestra el número de árboles o el área basal dañada por el aprovechamiento. Algunos árboles se dañan durante la tala misma, otros durante las actividades extractivas. Johns *et al.* (1996) presentan mayor detalle de los daños causados durante las diferentes fases del aprovechamiento (Cuadro 12.3). Estos datos y los del Cuadro 12.2 muestran que AIR en general daña menos árboles que el AC y, con excepción de los daños causados por el movimiento del tractor de orugas cerca del tocón y entre tocón y patio, esta reducción alcanza hasta el 50% de los daños causados por el AC en el caso estudiado por Johns *et al.* (1996). El uso de un tractor de ruedas también logra reducir los daños cerca del tocón y entre tocón y patio, pero comparado con el número de árboles dañados con AIR, esta reducción es pequeña (6%).

La tala puede dañar tanto la copa como el fuste de los árboles, aunque los daños causados por las otras actividades se dan principalmente en el fuste. En cada fase del aprovechamiento se daña un número parecido de árboles (Cuadro 12.3). Revisando los daños causados por el aprovechamiento en diferentes partes del mundo, Sist (2000) concluye que la intensidad del aprovechamiento es un factor importante en la magnitud de los daños causados a los árboles remanentes. En Indonesia, las técnicas de AIR no son efectivas para reducir los daños, en relación con el aprovechamiento convencional cuando se aprovechan más de ocho árboles por hectárea.



Cuadro 12.3 Número de árboles dañados por hectárea en aprovechamientos planificados y no planificados, utilizando tractor de oruga para la extracción. Fazenda Sete, Paragominas, Pará, Brasil

	Aprovechamiento planificado				
	Leve en copa	Severo en copa	Leve en fuste	Severo en fuste	Total
Tala	18,1	20,8	7,3	17,7	63,9
Área de tocón	0,9	0,1	3,1	6,6	10,7
Arrastre hasta patio	1,6	0,2	5,6	17,4	24,8
Construcción patio	0,06	0	0,16	3,4	3,6
Construcción caminos	2,7	0,76	2,6	9,0	15,1
Total	23,4	21,9	18,8	54,1	118,1
	Aprovechamiento no planificado				
	Leve en copa	Severo en copa	Leve en fuste	Severo en fuste	Total
Tala	25,8	41,4	16,2	40,9	124,3
Área de tocón	1,0	0	4,1	8,7	13,8
Arrastre hasta patio	2,5	0,3	8,9	12,7	24,4
Construcción patio	0,33	0,16	0,47	6,0	6,96
Construcción caminos	4,8	1,8	10,3	15	31,9
Total	34,4	43,7	40,0	83,3	201,4

Fuente: Adaptado de Johns *et al.* 1996

El número de árboles remanentes dañados y la magnitud de los daños determinan la reacción del bosque después del aprovechamiento. Si muchos árboles fueron dañados⁴, se podría presentar un fuerte crecimiento de especies heliófitas efímeras y durables. Generalmente los árboles pequeños resultan más afectados que los árboles con diámetros mayores (Wyatt-Smith y Foerner 1962, Putz *et al.* 2000). Así, los daños a árboles remanentes podrían causar un cambio en la composición florística y en la estructura del bosque. También se ha encontrado que un alto grado de daños alarga el periodo de recuperación del bosque debido a que la mortalidad es mucho mayor que el crecimiento y reclutamiento. Parte de la mortalidad puede deberse a que los árboles dañados son más susceptibles a organismos patógenos e insectos (Putz 1993 citado por Frumhoff 1995). Reducir los daños mediante la aplicación de técnicas de AIR podría facilitar la recuperación y mantener el ciclo de corta dentro de rangos aceptables (Sist 2000).

Los daños a árboles remanentes podrían causar un cambio en la composición florística y en la estructura del bosque.

La revisión de literatura sobre impactos del manejo forestal en la diversidad biológica, elaborada por Putz *et al.* (2000), encontró que en muchas ocasiones la magnitud de daños a árboles remanentes puede afectar la fructificación de especies dioicas especialmente, debido al aumento de las distancias entre árboles para la polinización.

⁴ Por ejemplo, en Papua Nueva Guinea se informa de hasta 70% de árboles remanentes dañados (Cameron y Vigus 1993).



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Los daños también pueden causar un impacto económico directo. Con la tala dirigida se trata de evitar daños a individuos de especies comerciales y protegidas; con la tala convencional no se busca el sitio de caída más conveniente y, entonces, cualquier árbol resulta dañado. FAO (1997) muestra un caso en el que la reducción de daños a árboles de futura cosecha es de más de 50% (Cuadro 12.2); el mismo caso, sin embargo, también muestra que no es posible evitar todos los daños. Los árboles afectados significan una oportunidad perdida, pues se pierde la madera que ya se había formado; aún si los daños no ocurren en el fuste, el crecimiento del árbol se reduce y no alcanza dimensiones comerciales.

12.4.2 Remoción del dosel

La remoción del dosel ocurre por dos razones: la tala misma, que crea claros similares a los claros naturales, aunque generalmente son más grandes (Hendrison 1990), y la construcción de la red vial, que crea aberturas en el dosel y altera la superficie del suelo por la construcción misma (remoción y alteración del suelo) y el paso de maquinaria (compactación). Las alteraciones causadas por la red vial son más permanentes que los claros.

El efecto de los diferentes tipos de claros sobre la composición y diversidad de la vegetación fue estudiado por Delgado *et al.* (1997). Sus resultados muestran que, por ejemplo, las especies indicativas de sitios no disturbados casi sólo se encuentran en sitios con un sotobosque no disturbado, aunque también pueden encontrarse algunos individuos en claros y orilla de caminos. Por otro lado, las especies indicativas de disturbios ocurren con mayor abundancia en sitios que fueron caminos, aunque también se encuentran en sitios no disturbados. El número de especies en general fue menor en sitios de caminos que en claros y bosque no perturbado. En su estudio sobre la regeneración en las vías de arrastre, Hendrison (1990) encontró que la abundancia de la regeneración fue menor en vías con mayor compactación. Guariguata y Dupuy (1997) confirmaron estos resultados en su estudio de cuatro caminos forestales en sitios aprovechados de manera convencional en Costa Rica. Para los individuos con diámetros menores a 5 cm, ellos encontraron menos especies, una mayor dominancia de algunas especies y una mayor compactación en los caminos que en los bosques adyacentes. Con base en un levantamiento de datos estructurales de individuos con dap entre 5 y 20 cm, los mismos autores estimaron en 80 años el tiempo requerido para que la vegetación en los caminos recupere un área basal similar a la encontrada en un bosque no intervenido y con las mismas clases de tamaño, y aún más para recuperar su composición y diversidad florística.

Los efectos de los claros sobre todo el bosque, sin embargo, dependerán de la proporción del espacio que ocupan, en particular los causados por los caminos con mayor tránsito. El Cuadro 12.2 muestra que la proporción de claros causados por la construcción de la red vial se puede reducir considerablemente si se usan técnicas de AIR.

Impacto ambiental del aprovechamiento

Delgado *et al.* (1997) muestran que los cambios en la vegetación de los claros creados por la tala son menores cuando se emplean técnicas de aprovechamiento de impacto reducido. Estudios en los bosques de Guyana muestran que en claros a partir de 800 m² aumenta la abundancia de especies heliófitas (Rose 2000); asimismo, los procesos hidrológicos, la descomposición y el ciclo de nutrimentos se ven afectados en claros de más de 400 m² (Dam 2001), aunque las consecuencias de estos últimos cambios probablemente aparezcan hasta mucho después del aprovechamiento. Webb (1998) también encontró que seis años después del aprovechamiento de un bosque de *Carapa* y *Pentaclethra* en Costa Rica, la composición florística en claros de varios árboles difiere de la composición en claros de árboles individuales en bosques no intervenidos, con una mayor dominancia de especies heliófitas en los claros más grandes. Aunque estos aspectos no han sido investigados en otros tipos de bosque, los resultados indican que se debe tener cuidado con el tamaño, así como con la forma de los claros. Dam (2001) recomienda asegurarse de que el ancho del claro no supere los 20 m.

El Cuadro 12.2 confunde un poco en cuanto al tamaño de los claros individuales. Por un lado, el estudio de Pereira *et al.* (2002) en Brasil confirma que el área total bajo claros creados por la tala puede ser menor si se usan técnicas de AIR (21,6% del área total de bosque intervenido después de una corta convencional, 10,9% después de AIR). No obstante, Hout (1999), en su estudio en Guyana, afirma que algunos claros grandes creados por un aprovechamiento convencional resultan en una menor área del bosque aclarada, debido a la concentración de árboles aprovechados en ciertos sitios, mientras que otros sitios quedan intocados. Así, según el autor, es mejor tener pocos claros formados por la tala de varios árboles vecinos, que varios claros pequeños creados por la tala de árboles individuales. Esta posición es poco recomendable por varias razones:

- 1) Los claros son los principales facilitadores de la dinámica del bosque tropical; es preferible estimular esa dinámica en toda el área para mejor simular la dinámica natural de estos bosques.
- 2) Los claros de mayor tamaño aumentan la probabilidad de cambios en la composición florística (Webb 1998, Rose 2000).
- 3) Los claros grandes influyen en el microclima (Dam 2001); por eso, las poblaciones de invertebrados pueden ser afectadas si el microclima no se restablece en poco tiempo (McGinley 2000).
- 4) Como consecuencia del punto anterior (aumento de la temperatura en claros grandes), en los bosques con claros grandes aumenta el riesgo de incendios forestales (Holdsworth y Uhl 1997).

El AIR puede hacer muy poco por reducir el tamaño de los claros de árboles individuales, ya que el claro depende principalmente del tamaño del árbol, tamaño de la copa y topografía (Sist 2000). La diferencia entre claros (Cuadro 12.2) probablemente se debe más al número de árboles talados por claro que a las técnicas de aprovechamiento empleadas. La corta de lianas antes del aprovechamiento es una actividad recomendada para reducir el número de árboles caídos durante la tala; sin embargo, su efecto depende de la densidad de las lianas. Sist (2000) encontró en Indonesia que la corta de lianas en un bosque con alta densidad (376 lianas/ha) tuvo efectos positivos, y negativos en un bosque con una densidad menor (189 lianas/ha). En la Amazonia oriental de Brasil, Vidal *et al.* (1998) reportaron resultados similares. El AIR puede contribuir a mantener bajo control el tamaño de los claros, pues durante el proceso de selección de los árboles a talar se busca que estos queden distribuidos en toda el área (ver Capítulo 3).



El tamaño y forma de los claros incide en el impacto del aprovechamiento sobre el bosque remanente.



12.4.3 Efectos del aprovechamiento en los productos no maderables

Un aspecto importante después de la apertura del dosel es la reacción de las plantas que producen bienes no maderables. Particularmente en ámbitos de manejo diversificado del bosque, hay que conocer este comportamiento antes de definir la intensidad de corta y la distribución de los árboles a cortar y, en consecuencia, el tamaño y distribución de los claros. Lo más probable es que estas plantas reaccionen de manera similar a otras plantas en el bosque; es decir que si no fueron dañadas o destruidas por la tala, mostrarán un aumento en el crecimiento vegetativo al ser expuestas a mayores cantidades de luz. Marmillod y Gálvez (1997), por ejemplo, encontraron en su estudio de impactos del aprovechamiento sobre el bayal (*Desmoncus* sp.) en Guatemala que las poblaciones pierden algunos tallos maduros por daños directos del aprovechamiento, pero se recuperan rápidamente mediante formación de retoños y mayor crecimiento de tallos al mejorar las condiciones de luz. Un comportamiento similar se encontró para las especies de bambú (*Chusquea* spp.) en el bosque nublado de Talamanca, Costa Rica (Berner 1989).

Sin embargo, no necesariamente es el crecimiento vegetativo lo que uno busca en las plantas de productos no maderables. Para el hombre grande (*Quassia amara*), por ejemplo, se encontró que la regeneración y crecimiento vegetal responden bien a una mayor iluminación (Villalobos *et al.* 1997), y que en Talamanca, sur-este de Costa Rica, las intervenciones humanas tenían una influencia positiva sobre la abundancia y dinámica de las poblaciones (Villalobos *et al.* 1995). No obstante, la producción de cuasina y neocuasina, componentes utilizados para la elaboración de insecticidas naturales, parece reducirse a favor de la producción vegetativa en sitios con condiciones óptima para el desarrollo vegetativo del hombre grande (Villalobos 1995).

Como lo demuestran los ejemplos del bayal, bambú y hombre grande, el aprovechamiento de madera puede ser compatible con el aprovechamiento (y manejo) de productos no maderables. Sin embargo, para reducir los impactos negativos sobre estos productos, hay que definir en detalle las características del producto requerido, ya que estas pueden cambiar con la apertura del dosel que el aprovechamiento de madera crea.

12.4.4 Madera muerta

La madera muerta cumple un papel importante en los procesos ecológicos del bosque pues es un eslabón en el ciclo de carbono y de nutrientes, es fuente de alimento y ofrece hospedaje a muchos insectos y animales y a otros organismos. En algunos países templados se están implementando medidas que mantienen o aumentan la masa de madera muerta en el bosque manejado. En Suecia, por ejemplo, se pueden observar áreas de tala rasa de hasta 4,5 ha, donde algunos árboles fueron cortados a 5 m de altura para dejar fustes muertos que alberguen insectos importantes para la descomposición y polinización (observación personal).

Impacto ambiental del aprovechamiento



En países con un clima más seco, o una época seca prolongada, la madera muerta puede ser fuente de combustible para incendios. Aunque los incendios son fenómenos naturales y en estos países pueden ser parte integral de la dinámica del bosque, sus efectos sobre el ecosistema pueden ser desastrosos, particularmente cuando aumenta la frecuencia e intensidad de las conflagraciones. Entre los efectos directos de los incendios están la pérdida de vegetación y nutrientes (Bruijnzeel y Critchley 1994) -mayor en cuanto más intenso sea el incendio pues se queman combustibles más energéticos (por ejemplo madera versus ramas y hojas). Cuando aumenta la frecuencia de incendios, se reduce el periodo de recuperación de la composición, estructura y biomasa de la vegetación original; se inicia, entonces, un proceso de sucesión 'desviada' hacia una vegetación mejor adaptada a los incendios u otros disturbios frecuentes, pero muy diferente a la vegetación original (Louman 1987, Holdsworth y Uhl 1997).

El aprovechamiento generalmente no aumenta la frecuencia de los incendios, por lo menos no en forma directa. Lo que puede pasar -y a menudo ocurre en los países latinoamericanos- es que la construcción de la red vial facilita el acceso al bosque a otras personas que, ante la ausencia de un buen control, inician incendios por razones agrícolas o de caza (Uhl y Buschbacher 1985). Por otro lado, una vez que un incendio ha sido provocado en forma natural o antropogénica, la acumulación de madera muerta provee más material combustible que facilita la ocurrencia de nuevos incendios y más intensos, que podrían causar la muerte de muchos árboles remanentes. Este efecto puede darse de 6 a 15 días después del aprovechamiento, pero la susceptibilidad disminuye con la recuperación de la vegetación en los claros. En claros grandes (>700 m²), la susceptibilidad es mayor que en claros medianos (200-700 m²) debido a la mayor disponibilidad de energía solar (Holdsworth y Uhl 1997).

Otro de los efectos de la acumulación de materia muerta, particularmente las copas, es un mayor lavado de nutrientes (Steege *et al.* 1996). La magnitud del lavado depende, sin embargo, de la precipitación, las características del suelo y de la cercanía de las raíces de otros árboles que podrían absorber los nutrientes.

El aprovechamiento convencional puede dejar más de 25% del volumen aprovechable en el bosque, lo que en Brasil significa hasta 8 m³/ha (Gerwing *et al.* 1996). Aunque esto es una pérdida significativa de ingresos, en términos de materia muerta es poco en comparación con las 56 a 180 toneladas de materia muerta que dejan los daños del aprovechamiento (Putz *et al.* 2000). Ambos se pueden reducir por medio de prácticas de AIR.

En esta sección hemos:

- Ilustrado los efectos sobre la vegetación causados por el aprovechamiento convencional y el aprovechamiento de impactos reducido con énfasis en operaciones en América Latina.
- Indicado que la magnitud de los daños causados por el aprovechamiento mejorado tiene que ver con el tipo de bosque y el volumen a extraer.
- Descrito los efectos más destacados del aprovechamiento en la vegetación:
 - en los árboles remanentes
 - remoción del dosel
 - en los productos no maderables
 - madera muerta



12.5 Cambios en las poblaciones de la fauna

Los efectos del aprovechamiento sobre las poblaciones de la fauna han sido mucho menos estudiados, básicamente por las dificultades que entraña establecer el estado y la dinámica de una población de animales con suficiente confiabilidad como para detectar cambios reales en la población. Otra razón es que los efectos sobre la fauna son mucho menos visibles que los efectos sobre la vegetación. A pesar de la escasez de estudios con resultados claros sobre los efectos del aprovechamiento en la fauna, se han podido establecer dos tipos de efectos principales: 1) efectos directos causados por el aumento de la caza para consumo y comercio, como consecuencia del mejor acceso al bosque; 2) efectos indirectos causados por cambios en los hábitats y en la disponibilidad de alimento para los animales. Los primeros efectos afectan principalmente a poblaciones de algunas especies de vertebrados; los segundos afectan, además de los vertebrados, a poblaciones de invertebrados (McGinley 2000, Putz *et al.* 2000) y aves insectívoras (Frumhoff 1995, Fredericksen 1998).

12.5.1 Efectos directos

La influencia del aprovechamiento sobre las poblaciones de mamíferos, aves y reptiles fue estudiada extensivamente por investigadores relacionados con el proyecto BOLFOR en el oriente de Bolivia. Rumiz *et al.* (1998) resumen los resultados de estos estudios, indicando que los impactos directos pueden ser por la cacería para la alimentación por parte de los trabajadores forestales o para la comercialización como mascotas. Los dos tipos de cacería afectan a diferentes grupos de animales, como dantas (*Tapirus terrestris*), huasos (*Mazama americana*) y mutunes (*Mitu tuberosa*), especies apreciadas por su carne y que ya han desaparecido de los alrededores de aserraderos y campamentos forestales. Por otro lado, algunas aves (las del género *Ara*) y monos (como el *Ateles chamek*) son muy buscados como mascotas o para usos de laboratorio. A menudo, los cazadores utilizan los mismos vehículos del aprovechamiento forestal para llevar sus cosechas al mercado (Frumhoff 1995).

12.5.2 Efectos indirectos

Los efectos indirectos pueden ser negativos (reducción de las poblaciones de ciertas especies) o positivos (aumento de la riqueza y abundancia de algunas especies). Estos últimos efectos, sin embargo, puede que no sean tan positivos, ya que a menudo un aumento en la abundancia de una especie, o la introducción de especies nuevas, puede significar el reemplazo de especies propias de los bosques no intervenidos (Frumhoff 1995). Esto ha sucedido con algunas mariposas en África y polillas en Malasia (Frumhoff 1995), aunque en los bosques de la zona norte de Costa Rica (Aguilar 1999) y en Petén en Guatemala (Jolón 1999) no se logró establecer reducciones en abundancia ni en el número de especies de mariposas típicas de los bosques no intervenidos.

Los animales silvestres son afectados por el aprovechamiento, ya sea por pérdida de fuentes de alimento, nichos o por ingreso de cazadores.

Impacto ambiental del aprovechamiento



El aprovechamiento puede afectar a la fauna por su efecto sobre la vegetación. Aparte de reducir la abundancia de plantas útiles como fuentes de alimentación, también puede alterar los microambientes y cambiar el hábitat o la calidad y cantidad de alimentos producidos. Un cambio así, afecta principalmente a las especies de animales que dependen de una o pocas especies de la flora para su alimentación, o bien a muchas especies animales cuando faltan plantas que son muy apreciadas por varios grupos de animales. La especie *Manilkara huberi* es un ejemplo de una planta maderable amazónica que produce frutos consumidos por muchos animales (Uhl y Viera 1989). *Ficus* spp. a menudo producen frutos en periodos de escasez de otros recursos alimentarios (Frumhoff 1995, Rumiz *et al.* 1998). Otras especies importantes para la alimentación de los animales son las palmeras *Attalea phalerata*, *Euterpe precatoria*, *Astrocaryum* sp. y *Acrocomia aculeata* y árboles de los géneros *Spondias*, *Hymenaea*, *Brosimum* (Rumiz *et al.* 1998). Las lianas también pueden cumplir con un papel importante en la alimentación de ciertas especies de primates (Vidal *et al.* 1998).

La cosecha o tala de individuos de estas especies puede tener efectos marcados sobre la fauna. Estos efectos pueden ser temporales, si la especie es abundante o muestra buena regeneración, y si además existen refugios cercanos donde los animales pueden permanecer mientras el bosque intervenido se recupera. Experiencias con un aprovechamiento silvicultural de hasta 30% del área basal en el bosque nuboso de Villa Mills, Costa Rica indicaron que los roedores casi desaparecieron durante varios años después del aprovechamiento (Lanzewitzki 1991), pero volvieron después, probablemente porque el sitio aprovechado era pequeño y los bosques alrededor no fueron afectados por el aprovechamiento. La presencia de dantas (*Tapirus bairdii*) tampoco resultó afectada por el aprovechamiento. Los animales que consumen partes de muchas especies diferentes (la danta entre ellos) generalmente son menos susceptibles a cambios en la composición florística o en la diversidad (Rumiz *et al.* 1998).

Otro efecto indirecto puede ser la eliminación de hábitats de plantas o insectos. Los cambios en el dosel superior pueden afectar a insectos susceptibles a variaciones en el microclima (luz, viento, humedad) y así afectar a aves insectívoras (Frumhoff 1995), pero también a los insectos polinizadores de especies arbóreas, con lo que se reduce la fructificación de estas especies y, en consecuencia, la reproducción de las especies y las fuentes de alimento de los animales que dependen del fruto de esos árboles (Terborgh 1992). Igual que en el caso anterior, estos efectos pueden ser temporales si los insectos no son especialistas –sea en alimentación o en hábitat– o si logran desplazarse a bosques cercanos no intervenidos.

Los efectos en la fauna también dependen de las necesidades de espacio de los diferentes animales. Una colonia de hormigas puede sobrevivir en menos de 100 m² como unidad reproductiva; un jaguar necesita hasta 5000 ha (Terborgh 1992). Así, las actividades de aprovechamiento pueden eliminar una colonia de hormigas en un lugar, pero dejar colonias intactas en otros. El mismo aprovechamiento, sin embargo, podría reducir el territorio del jaguar en varios cientos de hectáreas si se realiza al margen de su territorio, pero si el área aprovechada forma una barrera para pasar a otras partes de su territorio, la reducción se vuelve crítica.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Los cambios en la hidrología de un sitio también pueden afectar a la fauna. Los sitios húmedos a menudo son visitados por diferentes especies, ya sea porque hay depósitos de minerales (¿quién no ha visto la acumulación de mariposas cerca de charcos en caminos forestales?), o por la presencia del agua misma.

En general, es importante tener fuentes de alimento cerca de las fuentes de agua, aunque algunas especies de mamíferos necesitan desplazarse entre diferentes tipos de hábitats para asegurar su alimentación durante todo el año (Rumiz *et al.* 1998). En consecuencia, si hay cambios en uno de los hábitats frecuentados, el efecto se sentirá en otros hábitats también (Frumhoff 1995).

Las especies adaptadas a hábitats con disturbios naturales severos, como los bosques del norte de Honduras adaptados a la ocurrencia de huracanes, probablemente son menos susceptibles a los cambios, que las especies de bosques donde el único disturbio natural es la caída de árboles muertos (Frumhoff 1995).

Por la variedad de efectos indirectos que el aprovechamiento puede tener sobre la fauna, es difícil predecir exactamente cuáles van a ser los efectos de un aprovechamiento particular en un sitio específico. En general, sin embargo, se debe aplicar el principio precautorio: para mantener las características de las poblaciones de fauna dentro de límites aceptables, durante el aprovechamiento se deben proteger las fuentes de agua, los sitios húmedos, franjas de vegetación intacta alrededor de estos sitios y hábitats similares a los que existían antes de las intervenciones. Además, es recomendable controlar la cacería y mantener sitios donde los animales puedan refugiarse durante el aprovechamiento.

En esta sección hemos:

- Explicado los efectos principales que el aprovechamiento causa sobre la fauna:
 - efectos directos causados por el aumento de la caza para consumo y comercio
 - efectos indirectos causados por cambios en los hábitats y en la disponibilidad de alimento para animales.

12.6 Mitigación de impactos

En las secciones anteriores se discutieron los efectos del aprovechamiento sobre diferentes componentes del bosque: el microclima, los ciclos hídricos, de nutrientes y de carbono, el suelo, la vegetación y la fauna. Se indicó que los efectos son variados y pueden ser reversibles bajo ciertas condiciones, pero un efecto sobre un componente también puede causar efectos negativos sobre otros, y así empezar una cadena de efectos que resultará en la degradación permanente del bosque. Como degradación se entiende cuando el bosque ya no es capaz de cumplir con sus funciones productivas y reproductivas y cuando pierde integridad y capacidad de recuperarse de las intervenciones.

Impacto ambiental del aprovechamiento

De las actividades de aprovechamiento discutidas, las dos más notables son la creación de claros por la tala y por la construcción de la red vial y la compactación de los suelos por el arrastre con maquinaria pesada. Estas actividades, mal planificadas y ejecutadas, pueden causar efectos negativos severos y de largo plazo. Sin embargo, se ha demostrado que el uso de técnicas de aprovechamiento de impacto reducido puede disminuir los efectos hasta niveles de recuperación en un tiempo razonable (10 a 15 años para ciclos de nutrientes, suelos y funciones ecológicas en claros), dependiendo de lo que se hace en el bosque después del aprovechamiento.

A continuación presentamos algunas de las acciones más importantes que se deben realizar antes, durante y después del aprovechamiento, para asegurar la reducción de impactos.

12.6.1 Mitigación de impactos en los claros

Los claros son una parte esencial en la dinámica del bosque (Webb 1998). Si la frecuencia de claros aumenta, también aumenta la dinámica del bosque; pero si el tamaño de los claros aumenta, los efectos se manifiestan en el microclima, en la estructura y la composición florística del bosque, en el lavado de nutrientes, en la acumulación de agua en ciertos sitios y en el riesgo de daños por incendios. Estos efectos también pueden reflejarse en las poblaciones de fauna, en particular de insectos y animales insectívoros. Los efectos negativos de los claros grandes son mayores en bosques adaptados a disturbios naturales frecuentes pero de escala pequeña. Si aumenta la frecuencia de claros grandes en bosques habituados a disturbios fuertes, como los afectados por huracanes en Honduras, o por incendios en Guatemala, se reduce su capacidad de recuperación de los disturbios naturales y antropogénicos. Un estudio de la recuperación de sitios después del paso del huracán Mitch en Honduras mostró, por ejemplo, que la presencia de árboles semilleros es determinante en la recuperación de la composición florística (Acosta *et al.* 2001). Los disturbios grandes y frecuentes podrían reducir el número de semilleros disponibles para la regeneración en los sitios disturbados.

En general, entonces, se recomienda mantener el tamaño de los claros dentro de límites aceptables; pero, ¿cuáles límites son aceptables?, y ¿cómo asegurarnos de que no sean traspasados? Hay pocos estudios sobre el tamaño óptimo de los claros, pero lo que sí sabemos es que el tamaño varía con el sitio. Los estudios del programa TROPENBOS en Guyana indican que aparte del tamaño, también la forma es importante (Dam 2001, Rose 2000). Los bosques de Guyana crecen sobre terrenos arenosos y están formados por árboles de lento crecimiento, con semillas grandes dispersadas por mamíferos. Los autores recomiendan crear claros con un tamaño máximo de 400 m² para evitar cambios en las características del microclima y de los ciclos de nutrientes y agua (Dam 2001), aunque la regeneración se ve afectada a partir de 800 m², principalmente por la mayor proporción de especies pioneras (Rose 2000). Tan importante como el tamaño es el radio de apertura: a partir de 10 m desde el borde comienzan los efectos negativos sobre el ambiente. Entonces, puede ser más importante no aumentar el ancho del claro a más de 20 m, que reducir el tamaño total a menos de 400 m².



Los claros, naturales o antropogénicos, son esenciales para mantener la dinámica del bosque.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Por otro lado, revisando los datos del Cuadro 12.2, uno se da cuenta de que el tamaño promedio de los claros rara vez sobrepasa esta superficie, tanto en AIR como en aprovechamientos convencionales. En la práctica, sin embargo, muchas veces se encuentran claros de mayor tamaño, causados principalmente por la tumba de varios árboles vecinos. La buena planificación de la tala, de tal forma que cada claro sea causado por un solo individuo, y la distribución de los claros en toda el área de corta son condiciones básicas para evitar aperturas de gran tamaño.

El movimiento del 'skidder' cerca del tronco durante la preparación para el arrastre a menudo agranda el claro. Esto se puede evitar utilizando un cable, preferiblemente colgado de una torre armada en el 'skidder'.

La reducción del tamaño del claro podría tener, sin embargo, consecuencias negativas: un mayor número de árboles dañados por la tala, ya que cada árbol talado caerá dentro de áreas de bosque aún no intervenido. No obstante, si empleamos técnicas de tala dirigida lograremos orientar el árbol hacia el sitio de menor densidad, o donde haya menos individuos de futura cosecha o de especies protegidas. Aunque el daño a los árboles remanentes puede ser considerable, aún aplicando técnicas de AIR, generalmente el bosque se recupera de estos daños, siempre que no se concentren en un solo sitio y no contribuyan a una mayor apertura de los claros.

La corta de lianas antes del aprovechamiento puede ayudar a reducir los daños, particularmente en bosques con alta densidad de lianas, con lo que se reduce el número de árboles jalados por el árbol talado. Sin embargo, hay que considerar la importancia de algunas de estas lianas para la fauna o como producto no maderable para los pobladores locales (Vidal *et al.* 1998). En las Guayanas, por ejemplo, lianas de los géneros *Heteropsis* y *Clusia* son muy apreciadas para la elaboración de artesanías y muebles respectivamente.

12.6.2 Red vial

Los datos de impactos sobre el bosque presentados en el Cuadro 12.2 muestran que la red vial puede causar aperturas considerables, pero también que estas aperturas se pueden reducir a la mitad aplicando técnicas de AIR. El Capítulo 4 entra ampliamente en la planificación de la red vial, la principal técnica que ayuda a reducir la superficie bajo caminos.

Los problemas principales de los caminos son su ubicación (pendiente, cercanía a cursos de agua); su compactación que no permite una regeneración prolífera, reduce la tasa de infiltración y aumenta el riesgo de erosión; la apertura misma, que permite la entrada de otras especies más competitivas, o bloquea el paso a algunas especies de la fauna, obstaculizando su desplazamiento entre diferentes hábitats y creando efectos de fragmentación del bosque. A menudo, los caminos también facilitan el acceso a personas ajenas al manejo forestal, lo que puede generar mayor cambio de uso y mayor frecuencia de incendios y caza.

La reducción de áreas bajo caminos es la más beneficiosa de las medidas de mitigación de impactos. En el diseño de la red vial es importante tomar en cuenta no sólo los

Impacto ambiental del aprovechamiento

caminos y vías de extracción para la cosecha actual, sino también garantizar que las vías principales sirvan para próximas cosechas. El drenaje de los caminos y vías debe cuidarse durante y después del aprovechamiento; hay que tratar de reducir el paso de maquinaria sobre las vías de arrastre hacia los tocones para reducir la compactación.

Por supuesto, las formas de extracción y arrastre que casi no requieren de la construcción de una red vial, como helicópteros, globos o tracción animal, reducen los impactos de la red vial a un mínimo (ver Capítulo 6).

12.6.3 Arrastre

El arrastre controlado se discute en detalle en el Capítulo 6 (Sección 6.4). Es importante tener presente que la selección del equipo de arrastre puede ayudar a reducir los impactos sobre el ambiente. Los tractores de oruga causan menos compactación que los tractores de ruedas, aunque es posible conseguir llantas especiales o utilizar llantas menos infladas para reducir el peso por centímetro cuadrado de contacto con el suelo. Esta técnica, sin embargo, puede causar un desgaste acelerado de las llantas.

El arrastre con bueyes también pueden causar una compactación considerable, pero por lo general, la superficie compactada es menor que con tractores. El uso de tractores puede causar mucho daño a los árboles remanentes. Si se usan cables y poleas para el arrastre, el daño se reduce, así como el área bajo vías de arrastre. Extraer fustes de menor tamaño también reduce los daños a los árboles remanentes, pero aumenta la compactación, ya que se incrementa el número de viajes sobre las vías de arrastre. Si la red vial es permanente, esta podría ser una opción, pero hay que considerar los costos adicionales que significa extraer trozas en vez de fustes.

12.6.4 Protección del recurso hídrico

Los recursos hídricos se ven directamente afectados por la contaminación que ocurre cuando la escorrentía llega a los cursos de agua llevando nutrimentos, sedimentos y hasta desechos del aprovechamiento. La apertura del dosel sobre o cerca de los cursos puede afectar la calidad del agua, pues la temperatura aumenta y con ella, la respiración de los organismos en el agua, lo que reduce la concentración de oxígeno por lo que los peces podrían morir.

Por estas razones es importante mantener una franja de bosque no intervenido alrededor de los cuerpos de agua. Esta franja de protección permite la infiltración de la escorrentía antes de llegar al curso, aumenta la evapotranspiración y reduce la cantidad de sedimentos, nutrimentos y otros contaminantes que podrían llegar al río o quebrada. El tamaño óptimo de esta franja aún no está claramente establecido, pero depende de la pendiente, el tipo de suelo y de vegetación y puede variar de 10 a 50 m (Stadtmüller 1994, Obando 2001).



La compactación del suelo causada por la extracción y arrastre es un impacto serio que debe mantenerse bajo control.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Aparte de las franjas, un buen sistema de drenaje también ayuda a reducir la escorrentía y la cantidad de sedimentos que llegan a los cursos hídricos. Además, la revegetación de las vías de arrastre después del aprovechamiento y la reducción de movimientos de suelo durante la construcción de caminos y el arrastre contribuyen a reducir la escorrentía y la erosión.

En esta sección hemos:

- Presentado algunas de las acciones más importantes que se deben realizar antes, durante y después del aprovechamiento para asegurar la reducción de impactos:
 - mitigación de impactos en los claros
 - red vial
 - arrastre
 - protección del recurso hídrico

12.7 Los estándares de manejo forestal y la reducción de impactos

La certificación forestal es uno de los instrumentos más reconocidos a nivel internacional para evaluar los impactos del aprovechamiento sobre el ambiente. El principio 6 del esquema del FSC busca evaluar la certificación mediante **criterios**, que son como los objetivos específicos del manejo, e **indicadores**, los cuales se elaboran a través de un proceso participativo a nivel de una región, país o tipo de bosque. El FSC ha establecido los criterios que deben ser cumplidos por el manejo forestal para que sea reconocido como buen manejo.

La certificación forestal permite valorar y controlar los impactos negativos del aprovechamiento.

El criterio 6.3 del FSC es de importancia particular para el aprovechamiento: “*Las funciones ecológicas vitales deberán mantenerse intactas, aumentarse o reponerse. Estas incluyen: a) la regeneración natural y la sucesión de los bosques; b) la diversidad genética de las especies y de los ecosistemas; c) los ciclos naturales que afectan la productividad del ecosistema forestal*” (FSC 2000). En Costa Rica, este criterio se modificó para dar énfasis a la diversidad genética necesaria para mantener las funciones de producción; además se agregaron las funciones y procesos del sistema natural de drenajes (CNCF 1999). Para evaluar el desempeño del manejo en relación con este criterio, se definieron 12 indicadores: cuatro se refieren directamente al aprovechamiento y los otros ocho al marco silvicultural del aprovechamiento (Recuadro 12.1).

Tres preguntas obvias son: *¿Ofrecen estos indicadores suficiente información sobre el aprovechamiento como para poder decir que se trata de un AIR?, ¿Ofrecen los indicadores suficiente información como para afirmar que las funciones ecológicas se mantienen?; o al revés, ¿Contribuyen las prácticas de AIR a cumplir con los estándares del manejo forestal sostenible?*



En el contexto de este documento no es factible, ni apropiado, pretender evaluar el estándar. Además, ya se realizó una evaluación de los criterios e indicadores ecológicos del estándar de Costa Rica, la cual concluyó que el estándar funciona bastante bien en la evaluación del desempeño de las actividades, pero que se podría mejorar la evaluación directa de los impactos. Los métodos empleados para esa última evaluación, sin embargo, son demasiado caros o laboriosos como para poder aplicarlos en forma eficiente dentro del contexto de la certificación y el monitoreo frecuente (McGinley y Finegan 2002). Las dificultades del monitoreo y evaluación, y la determinación de los aspectos del aprovechamiento a los que debe darse seguimiento, serán discutidos en detalle en el Capítulo 13.

Recuadro 12.1 **Indicadores del Criterio 6.3 de los Estándar de Manejo Forestal de Costa Rica**

Criterio 6.3 El manejo deberá orientarse a mantener las funciones ecológicas vitales del ecosistema forestal. Estas incluyen:

- a. La regeneración natural y la sucesión
- b. La diversidad genética suficiente para mantener el sistema de producción
- c. Los procesos naturales que afectan la productividad del ecosistema forestal
- d. Las funciones y procesos del sistema natural de drenajes

Indicadores:

- 6.3.1 Los tratamientos silviculturales, si se aplican, mantienen la estructura disetánea del bosque.
- 6.3.2 La intensidad del aprovechamiento y los tratamientos silviculturales se determinan proporcionalmente a la abundancia de cada especie. La intensidad del aprovechamiento no superará el 60% del número de árboles por especie con un diámetro a la altura del pecho (dap) igual o mayor a 60 cm. Para las especies que no alcanzan un dap de 60 cm, se tomará un dap de referencia menor, previa justificación técnica.
- 6.3.3 La tasa de cosecha de productos forestales no excede la tasa de crecimiento del recurso.
- 6.3.4 Existen medidas de mitigación para evitar la erosión hídrica y la alteración del sistema natural de drenajes.
- 6.3.5 Se distribuye proporcionalmente el número de árboles de la cosecha entre el mayor número de especies actualmente comerciales.
- 6.3.6 El profesional podrá determinar el ciclo de corta en función de la información disponible sobre crecimientos de los bosques naturales y tomando en cuenta la dinámica particular del bosque.
- 6.3.7 En bosques intervenidos no se ejecutan aprovechamientos antes de 15 años de la última intervención.
- 6.3.8 Las especies con una abundancia menor a un árbol cada tres hectáreas (0,3 árboles por hectárea), según el inventario preliminar de los árboles



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

con dap mayor o igual a 30 cm, se consideran como poco frecuentes en el ecosistema y no se pueden aprovechar.

6.3.9 Los árboles con dap igual o mayor a 60 cm de las especies vedadas y restringidas se marcan en el campo y se ubican en el mapa. Estos cumplen la función de árboles semilleros, pero no están contemplados dentro del 40% de los árboles portadores (AP), reservados en el aprovechamiento.

6.3.10 Los árboles secos en pie y caídos podrán ser aprovechados si se justifica técnicamente que su remoción no afecta negativamente las funciones ecológicas del bosque.

6.3.11 En la ejecución del aprovechamiento y el manejo se procura el mínimo impacto en el suelo, agua y aire que contempla los siguientes aspectos y correspondientes niveles aplicables:

- a) El área de claros ocasionada por la corta no sobrepasa el 15% del área definida como bosque productor.
- b) El área de patios de acopio no ocupa más del 1%, del área de bosque productor.
- c) Los caminos primarios, por los que circulan camiones, no ocupan más del 2% del área de bosque productor; asimismo, las rondas de estos caminos no sobrepasan el 2% de dicha área. Estos caminos tienen pendientes menores al 20% y tienen las obras de conservación necesarias para minimizar la erosión y los daños al suelo y aguas. Al concluir la operación se asegura el mantenimiento de los caminos primarios con las medidas necesarias para evitar la erosión.
- d) Los caminos secundarios, donde circula el tractor o 'skidder', no sobrepasan el 8% del área de bosque productor. En estos caminos no existen pendientes mayores al 40% y los pasos de agua son funcionales. Al final de la operación, estos caminos se clausuran y se toman medidas para evitar la erosión y restituir las funciones y procesos del sistema natural de drenajes.
- e) Las pistas de arrastre ocupan un máximo de 3% del área de bosque productor.
- f) En todo caso, la sumatoria del impacto del aprovechamiento no sobrepasará el 25% del área efectiva.
- g) El muestreo (diagnóstico y silvicultural) después del aprovechamiento mostrará que la combinación del aprovechamiento más los daños no sobrepasa el 15% del área basal original.

6.3.12 Las operaciones de arrastre mecanizadas utilizarán únicamente cables; el tractor o 'skidder' no saldrá de las pistas.

Fuente: (CNCF 1999)

Para contestar la última pregunta, ¿Contribuye el AIR a cumplir con los estándares en términos de reducción de impactos?, revisemos los indicadores que se refieren al aprovechamiento.



Indicador 6.3.4 Medidas de mitigación contra la erosión hídrica

Aquí es importante aplicar las prácticas de planificación y construcción de caminos (Capítulo 4), asegurando una buena ubicación de los caminos (cimas, pendientes moderadas, alejados de cursos de agua) e instalando los sistemas de drenaje recomendados. Las actividades de cierre de caminos (Capítulo 8) también ayudan a cumplir con este indicador. En el criterio 6.3 no se menciona la necesidad de mantener franjas de protección a los cursos de agua; sin embargo, está implícitamente incorporado en este indicador pues, como vimos anteriormente, estas franjas ayudan a reducir la escorrentía que llega a los cuerpos de agua, y así ayudan a reducir la erosión hídrica y sus efectos.

Indicador 6.3.10 Corta de madera muerta

La presencia de madera muerta en el bosque es un aspecto importante para las funciones ecológicas del bosque, razón por la cual siempre debe quedar madera muerta en los bosques aprovechados. El AIR no provee lineamientos que justifiquen su corta, pero el censo y el mapa de ubicación de árboles censados (Capítulo 3) proveen un instrumento útil para ubicar los árboles muertos e incorporarlos en la planificación del aprovechamiento de manera conciente. La extracción de árboles muertos es de particular importancia en bosques sujetos a incendios forestales y/o huracanes o cuando se trata de maderas preciosas. Sin embargo, es más un asunto de planificación del marco general de manejo que del aprovechamiento.

Indicador 6.3.11 Reducción de impactos al vuelo, suelo y agua

Este es el indicador más directamente relacionado con la aplicación del AIR. El Cuadro 12.2 muestra que el AIR no necesariamente resulta en una menor área de claros, pero que la planificación del aprovechamiento (Capítulo 3) permite asegurar que no se sobrepasen los límites establecidos.

El AIR sí contribuye sustancialmente a reducir el área bajo caminos. Como se aprecia en el Cuadro 12.2, los márgenes dados por el indicador (1% para patios de acopio, 4% para caminos primarios y secundarios según la definición en Capítulo 4, y 11% para las vías de arrastre) se cumplen con el AIR, y podrían aún bajarse. En todos los casos de AIR (excepto el aprovechamiento de 16 árboles por hectárea en Guyana) se logra mantener la sumatoria de las aperturas en el bosque dentro del 25%, y el área basal eliminada dentro del 15% sugerido en el estándar de Costa Rica.

Indicador 6.3.12 Uso de cables

Este es un asunto de planificación de caminos y capacitación del personal que implícitamente está incorporado en el AIR (ver capítulos 3 y 6), aunque no necesariamente el AIR implica un uso de 100% de cables.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

Con esta breve comparación del estándar costarricense y los lineamientos del AIR podemos concluir que el AIR contribuye sustancialmente a cumplir con el estándar, y que, además, el estándar evalúa los aspectos del AIR que más podrían causar daños (creación de claros, árboles remanentes dañados, área bajo caminos), y que, por ende, los lineamientos del AIR ayudan a reducir los daños al vuelo, suelo y agua.

En esta sección hemos:

- Revisados los indicadores del Estandar de Manejo Forestal de Costa Rica referidos al aprovechamiento.
- Concluido que el AIR contribuye sustancialmente a cumplir con el estándar.

12.8 Bibliografía

- Acosta, L; Louman, B; Galloway, G. 2001. Regeneración de especies arbóreas después del huracán Mitch en bosques manejados de la costa Norte de Honduras. *Revista Forestal Centroamericana* 34:61-65.
- Aguilar, NA. 1999. Criterios e indicadores de sostenibilidad ecológica: caracterización de la respuesta de dos grupos de insectos propuestos como verificadores. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Armstrong, S; Inglis, CJ. 2000. RIL for real: introducing reduced impact logging techniques into a commercial forestry operation in Guyana. *International Forestry Review* 2(1):17-23.
- Berner, P. 1989. Canopy gaps in a tropical montane oak-bamboo forest in Costa Rica. *Supplement to the Bulletin of the Tropical Ecological Society of America (EE.UU.)* 70(2):62.
- Bertault, J-G; Sist, P. 1995. The effects of logging in natural forests. *Bois et Forêts des Tropiques* 245:5-20.
- Bruijnzeel, LA; Critchley, WRS. 1994. Environmental impacts of logging moist tropical forests. Paris, Francia, UNESCO. 48 p. (IHP Humid Tropics Programme Series no. 7).
- Brünig, EF. 1996. Conservation and management of tropical rainforests: an integrated approach to sustainability. Wallingford, England, CAB International. 339 p.
- Camacho, M; Finegan, B. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: el crecimiento diamétrico con énfasis en el rodal comercial. Turrialba, CR, CATIE. 38 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 295; Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 11).
- Camaron, AL; Vigus, TR. 1993. Regeneration and growth of the moist tropical forest in Papua New Guinea and the implications for future harvest. A series of reports prepared for the World Bank. Canberra, Australia, CSIRO.
- CNCF (Comisión Nacional de Certificación Forestal). 1999. Estándares y procedimientos para el manejo sostenible y la certificación forestal en Costa Rica. Turrialba, CR, PNUD/CATIE. 54 p.
- Crome, FHJ; Moore, LA; Richards, GC. 1992. A study of logging damage in upland rainforest in north Queensland. *Forest Ecology and Management* 49:1-29.
- Cruz, M. 1998. Validación financiera, técnica, ecológica y social del sistema de aserrío con motosierra y marco. Informe Proyecto PD 47/94 Rev. 3(1) "Utilización industrial de especies forestales menos conocidas en los bosques bajo manejo forestal sostenible". La Ceiba, Honduras, PROINEL-OIMT/COHDEFOR. 64 p.
- Dam, O, van. 2001. Forest filled with gaps. Effects of gap size on water and nutrient cycling in tropical rain forest. A study in Guyana. Georgetown, Guyana, TROPENBOS Guyana Programme. 208 p. (TROPENBOS Guyana Series 10).
- Delgado, D; Finegan, B; Zamora, N; Meir, P. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica: cambios en la riqueza y composición de la vegetación. Turrialba, CR, CATIE. 43 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no 298; Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 12).
- Dykstra, DP; Heinrich, R. 1992. Sustaining tropical forests through environmentally sound harvesting practices. *Unasylva* 169(43):9-15.
- FAO. 1997. Environmentally sound forest harvesting. Testing the applicability of the FAO Model Code in the Amazon in Brazil. Forest harvesting case-study. Roma, Italia, FAO. 78 p.

Impacto ambiental del aprovechamiento



- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Turrialba, CR, CATIE. 491 p.
- FSC (Forest Stewardship Council). 2000. Principios y criterios para el manejo forestal. Revisado Febrero 2000. Consultado en Internet el 18/07/02: http://www.fsoax.org/pag_esp.htm (Documento no. 1.2)
- Fredericksen, TS. 1998. Limitations of low-intensity selection and selective logging for sustainable tropical forestry. *Commonwealth Forestry Review* 77(4):262-266.
- Frumhoff, PC. 1995. Conserving wildlife in tropical forests managed for timber to provide a more viable complement to protected areas. *Bioscience* 45(7):456-463.
- Gerwing, JJ; Johns, JS; Vidal, E. 1996. Reducción de desechos en la extracción y elaboración de la madera: la conservación del bosque en la Amazonia oriental. *Unasyva* 187(47):17 – 25.
- Guariguata, MR; Dupuy, JM. 1997. Forest regeneration in abandoned logging roads in lowland Costa Rica. *Biotropica* 29(1):15-28.
- Hendrison, J. 1990. Damage-controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname. Wageningen, Holanda, Universidad Agrícola. 204 p.
- Holdsworth, AR; Uhl, C. 1997. Fire in amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7(2):713-725.
- Hout, P Van der. 1999. Reduced impact logging in the tropical rain forest of Guyana; ecological, economic and silvicultural consequences. Georgetown, Guyana, TROPENBOS Guyana Programme. (TROPENBOS-Guyana series no 6).
- _____. 2000. Testing the applicability of reduced impact logging in green heart forest in Guyana. *International Forestry Review* 2(1):24-32.
- Johns, JS; Barreto, P; Uhl, C. 1996. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 89:59-77.
- Jolón, MR. 1999. Establecimiento de la línea base de información de biodiversidad del bosque manejado en San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala y su aplicación en el monitoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 77 p + 8 anexos.
- Jonkers, WBJ. 1987. Vegetation structure, logging damage and silviculture in a tropical rain forest in Suriname. Wageningen, Holanda, Universidad Agrícola. 172 p.
- Jordan, CF. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Chichester, England, John Wiley & Sons. 190 p.
- Kaimowitz, D. 2001. Cuatro medio verdades: la relación bosques y agua en Centroamérica. *Revista Forestal Centroamericana* 33:6-10.
- Koppelman, R. 1990. Damage caused by selective logging in a neotropical rainforest. Tesis Mag. Sc. Wageningen, Holanda, Universidad Agrícola. 58 p.
- Lanzewitzki, T. 1991. Populationsökologische Untersuchungen an Kleinsäugern in einem Eichen-Wolkenwald (*Quercus* sp) Costa Ricas. Tesis PhD. Alemania, Universidad de Marburg. 87 p.
- López, C. 1994. Daños causados por un aprovechamiento mejorado a los árboles de futura cosecha en un bosque de la Zona de Río San Juan, Nicaragua. Trabajo de Diploma. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. Escuela de Ciencias Forestales. 42 p.
- Louman, B. 1987. Subsistence use of fallow vegetation in the highlands of Papua New Guinea. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 35:546-549.
- _____; Pereira Jr., R. 2001. Aprovechamiento y manejo del bosque en el área demostrativa “finca Cauaxi” de la Fundación Forestal Tropical (FFT). *Manejo Forestal Tropical* no. 20. 8 p.
- _____; Valerio, J; Jiménez, W. 2001. Bases ecológicas. In Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. eds. 2001. *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Turrialba, CR, CATIE. pp 19-78. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 46).
- Mabberly, DJ. 1992. *Tropical rain forest ecology*. 2nd ed. New York, U.S., Blackie/Chapman and Hall. 300 p.
- Marmillod, D; Gálvez, J. 1997. Efecto del aprovechamiento maderero sobre la población de bayal, una especie no maderable del bosque petenero. Implicaciones para una silvicultura con fines de producción diversificada de este bosque. In Simposio Internacional sobre Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. (1998, Santa Cruz, Bolivia). Memoria. Santa Cruz, BO, BOLFOR/CIFOR/IUFRO Consultado en Internet (30/07/02): <http://www.cadex.org/bolfor/Publicaciones/Simposio/inicio.htm>
- Martínez-Ramos. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural en selvas altas perennifolias. In Gomez-Pompa, A; del Amo, R.S. Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz – México. Vol 2. Alambra Mexicana. pp 191 –239.
- Masera, O; Garza-Caligaris, JF; Kanninen, M; Karjalainen, T; Nabuurs, GJ; Pussinen, A; Jong, BJ. de. 2001. Modelling Carbon Sequestration in Afforestation and Forest Management Projects: The CO2FIX V.2 Approach. (in prep.). Consultado en mayo 2002: <http://www.efi.fi/projects/casfor/>
- McGinley, K. 2000. El manejo del bosque natural tropical y su impacto en la diversidad de la fauna. Una visión general integrada. *Revista Forestal Centroamericana* 32:34-38.



Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales

- _____; Finegan, B. 2002. Evaluación de la sostenibilidad para el manejo forestal, determinación de un estándar integrado y adaptativo para la evaluación de la sostenibilidad ecológica del manejo forestal en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 75 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 330; Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 26).
- Méndez, J. 1992. Análisis silvicultural del impacto del aprovechamiento mejorado. *In* Segundo Congreso Forestal Nacional (2, 1992, San José, CR). Resúmenes de ponencias. San José, Costa Rica. pp. 126-127.
- _____; Maginnis, S. 1997. Evaluación del impacto del aprovechamiento mejorado en fincas de tierras bajas de la Zona Norte y la vertiente Atlántica de Costa Rica. *In* III Congreso Forestal Nacional (3, 1995, San José, CR). pp. 45-46.
- Migunga, G.A. 1996. Tropical forest soil compaction: effects of multiple log skidding tractor passes on surface soil bulk density at Sao Hill, Tanzania. *In* Dykstra, DP. ed 1996. Forest operations for sustainable forestry in the tropics. Proceedings of a symposium organised by IUFRO Subject group S3.05-00, "Forest operations in the Tropics" at the XX IUFRO World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland. Vienna, Austria, IUFRO-CIFOR. pp. 1-3.
- Nabuurs, GJ; Garza-Caligaris, JF; Kanninen, M; Karjalainen, T; Lapvetelainen, T; Liski, J; Masera, O; Mohren, GMJ; Pussinen, A; Schelhaas, MJ. 2001. CO2FIX V2.0 – Manual of a modelling framework for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. Wageningen, Holanda. 45 p. Consultado mayo 2002: <http://www.efi.fi/projects/casfor/> (ALTERRA Report 445).
- Nicholson, DI. 1958. An analysis of logging damage in tropical rain forest in North Borneo. *Malayan Forester* 21:235-245.
- Obando, G. 2001. El uso de computadoras, programas e instrumentos electrónicos en la planificación y seguimiento de planes de manejo del bosque húmedo tropical. Un caso en Costa Rica. Roma, IT, FAO. 58 p. (FAO Estudio de Caso de Ordenación Forestal, documento de trabajo FORM/DT/01).
- Pereira, R. Jr; Zweede, J; Asner, GP; Keller, M. 2002. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. *Forest Ecology and Management* 168:77-89.
- Poels, RLH. 1987. Soils, water and nutrients in a forest ecosystem in Suriname. Wageningen, Holanda, Universidad Agrícola. 253 p.
- Putz, FE; Redford, KH; Robinson, JG; Finbel, R; Blate, GM. 2000. Biodiversity conservation in the context of tropical forest management. Washington DC, World Bank. 80 p. (Environment Department Papers no 75. Biodiversity series – impact studies).
- Quesada, R. 1992. Evaluación del aprovechamiento mejorado a través de parcelas permanentes de muestreo en Boca Tapada de Pital, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. *In* Segundo Congreso Forestal Nacional. (2, 1992, San José, CR). Resúmenes de ponencias. San José, Costa Rica. pp. 131-133.
- Quirós, D; Finegan, B. 1994. Manejo sustentable de un bosque natural tropical en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 25 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no 225. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales no. 9).
- Rose, SA. 2000. Seeds, seedlings and gaps – size matters. A study in the tropical rain forest of Guyana. Georgetown, Guyana, TROPENBOS Programme Guyana. 175 p. (TROPENBOS – Guyana Series 9).
- Rumiz, D; Painter, L; Wallace, R; Guinart, D; Herrera, JC. 1998. La fauna silvestre y sus recursos: ¿Qué sabemos y cómo podemos aplicarlo al manejo sostenible de bosque en Bolivia?. *In* BOLFOR; CIFOR; IUFRO. 1998. Memorias del Simposio Internacional sobre Posibilidades de Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. 5 p. Consultado en Julio, 2002 <http://www.cadex.org/bolfor/Publicaciones/Simposio>.
- Sabogal, C; Castillo, A; Carrera, F; Castañeda, A. 2001. Aprovechamiento forestal mejorado en bosques de producción. Estudio de caso Los Filos, Río San Juan, Nicaragua. Turrialba, CR, CATIE. 56 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 323).
- Saldarriaga, JG. 1994. Recuperación de la selva de "Tierra Firme" en el alto río Negro Amazonia colombiana-venezolana. Santafé de Bogotá, Colombia. TROPENBOS Colombia. (Estudios en la Amazonia Colombiana no V).
- Sánchez, PA. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York, U.S., Wiley & Sons. 618 p.
- Sist, P. 2000. Reduced impact logging in the tropics: objectives, principles and impacts. *International Forestry Review* 2(1):3-10.
- Sombroek, WC. 1966. Amazon soils. Wageningen, Holanda, Center for Agricultural Publication and Documentation.
- Stadtmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales, medidas para mitigarlo. Turrialba, CR, CATIE. 62 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 246. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales no. 10).