

# Procedimientos hidrológicos prácticos para la protección de los bosques tropicales: la experiencia de Malasia

*N.A. Chappell y H.C. Thang*

*Las acciones concertadas en los campos de la investigación hidrológica y de la certificación en materia de ordenación de bosques naturales dan origen a normas de protección hídrica que también son parcialmente aplicables a las plantaciones forestales y a los sistemas agroforestales.*

**Estructura para medir las propiedades de la corriente, ubicada en la zona tampón de la cuenca hidrográfica experimental de aprovechamiento selectivo, Baru (Malasia oriental)**



N.A. CHAPPELL

Tanto en las zonas arboladas como en las no arboladas, los recursos hídricos desempeñan una función indispensable en beneficio de las poblaciones humanas, la ecología y el desarrollo económico. Como la mayor parte de los bosques tropicales naturales es inmune a la contaminación por sustancias químicas artificiales –tales como la contaminación urbana o la contaminación por lixiviación ocasionada por actividades agrícolas intensivas–, la calidad de las aguas provenientes de dichos bosques es a menudo muy poco dañina para la salud del ser humano. Resulta paradójico que, en virtud de la calidad inherente de los ambientes forestales naturales, las normas de protección medioambiental aplicables en bosques naturales que se ordenan con arreglo a criterios de selección sean a menudo mucho más rigurosas que las que rigen en tierras no forestales.

La literatura mundial sobre hidrolo-

gía y actividades forestales abunda en orientaciones sobre protección hidrológica durante las operaciones forestales (por ejemplo, Megahan, 1977; Cassells, Gilmour y Bonell, 1984; FAO, 1996, 1999; Departamento Forestal de Sabah, 1998; Hamilton, 2004; Thang y Chappell, 2004). Las orientaciones comprenden medidas de protección del agua del suelo y la situación de nutrientes, la recarga de los principales acuíferos, el microclima y la evaporación, y los recursos fluviales. Sin embargo, algunas de las orientaciones publicadas carecen de un fundamento científico efectivo; otras son contradictorias, o económicamente no viables, o aplicables exclusivamente en ambientes templados, o tan complejas que requerirían una formación doctoral de quien pretendiese aplicarlas, y otras aun tendrían incluso repercusiones negativas en ciertos aspectos del sistema hidrológico.

Este artículo estudia los fundamentos hidrológicos que gobiernan las normas del

**Nick A. Chappell**, hidrólogo forestal de la Universidad de Lancaster, Lancaster (Reino Unido), lleva a cabo investigaciones en colaboración con hidrólogos e ingenieros forestales en Malasia.

**Thang Hooi Chiew**, ex Subdirector General del Departamento Forestal de Malasia peninsular, prosigue una labor de elaboración de criterios e indicadores de ordenación y certificación forestal sostenible.

sistema de Criterios e Indicadores de Ordenación Forestal Certificada de Malasia. El sistema es el instrumento para certificar las prácticas forestales que se llevan a cabo en 4,7 millones de hectáreas de bosques acotados permanentes en cuatro estados de Malasia peninsular: Selangor, Pahang, Terengganu y Negeri Sembilan. Las normas hidrológicas contenidas en el sistema de certificación aseguran la universalidad de su aplicación en la ordenación de todas las unidades forestales certificadas. En el artículo se indica cuál es, en opinión de los autores, la norma hidrológica esencial –la zona tampón para la protección del curso de agua– y su aplicación fuera de los bosques naturales certificados; esta aplicación es importante porque muchos bosques tropicales naturales están siendo convertidos en tierras agrícolas o agroforestales o en paisajes urbanos, en los que no rige ninguna norma hidrológica de certificación. Las lecciones aprendidas en un sector forestal relativamente bien desarrollado como el malasio –y en particular las lecciones que derivan de las principales investigaciones hidrológicas– pueden muy bien ser extrapoladas a otros países tropicales.

#### NORMAS DE PROTECCIÓN HIDROLÓGICA

Los Criterios e Indicadores de Ordenación Forestal Certificada de Malasia (Thang, 1996; MTCC, 2001, 2004) comprenden normas de rendimiento o verificadores que se usan en provecho del sistema hidrológico mediante la protección de la cubierta de dosel y la cubierta vegetal (suelo y agua). Algunas de estas normas se orientan específicamente a la protección hidrológica, mientras que otras, en especial las que persiguen reducir los daños colaterales en el dosel, tienen una repercusión indirecta en los fenómenos hidrológicos. Por ejemplo, es posible minimizar las perturbaciones del dosel causadas por la construcción de caminos forestales y la explotación forestal selectiva ulterior mediante una tala de impacto reducido (Pinard, Putz y Tay, 2000) y contener los daños al resto del rodal, sobre todo a los troncos más jóvenes y a la biodiversidad (Thang, 1987). Este tipo de tala tiene beneficios hidrológicos indirectos ya que limita los cambios en el microclima del bosque al reducir al mínimo la evapotranspiración (Nik y Harding, 1992; Chappell *et al.*, 2004b), y repercute moderadamente en el reciclado

de la pluviosidad local, limitando asimismo la pérdida de biomasa y las repercusiones de esta pérdida en la fuga de nutrientes y carbono (Yusop, 1989).

Un estudio reciente (Chappell *et al.*, 2004b) ha mostrado que la carga sólida y el tenor de materiales en suspensión son las propiedades hidrológicas más afectadas cuantitativamente por la explotación comercial de los bosques tropicales naturales. Investigaciones recientes llevadas a cabo principalmente en Malasia han destacado que la erosión, el derrumbe de alcantarillas de troncos huecos (a lo largo de caminos comarcales y carreteras de extracción secundarias) y los corrimientos de tierras pueden determinar un aumento de entre 5 y 50 veces la carga sólida de los ríos apenas concluidas las actividades de aprovechamiento selectivo (Chappell *et al.*, 2004a, b). Las abundantes cargas sólidas perjudican el hábitat íctico, aumentan el riesgo de crecidas aguas abajo, incrementan los costos de tratamiento del agua potable y ocasionan la inundación de los lechos coralinos costa afuera.

Las medidas forestales que se tomen para reducir estas alteraciones y fomentar una recuperación rápida constituyen por consiguiente las normas de protección hidrológica más importantes. En los bosques productores acotados permanentes de Malasia, la erosión, los derrumbes de alcantarillas de troncos y los corrimientos de tierras son los efectos principales de la perturbación del terreno a lo largo de los deslizaderos de troncos (los recorridos seguidos por los aparejos para el arrastre y juntado de trozas) y carreteras de extracción (obras de ingeniería utilizadas por camiones madereros). Estos fenómenos resultan de los cortes provocados por las hojas de los tractores, la compactación del terreno, la interrupción de taludes y los cruces de arroyos. El aclareo del vuelo es tan solo un factor causal secundario (Chappell *et al.*, 2004a). Si bien los criterios e indicadores utilizados en Malasia fomentan la reducción del número de pistas de arrastre y carreteras de extracción, la relación entre densidad de red de carreteras o pistas y aportes de sedimentos es compleja, ya que, en su mayor parte, dicha red está desconectada de los cursos de agua permanentes (arroyos o ríos) (Sidle *et al.*, 2004). Sin embargo, en las zonas de penetración de sedimentos en los cursos de agua permanentes, los problemas ocasionados por la

sedimentación se transfieren fácilmente a lugares aguas abajo distantes.

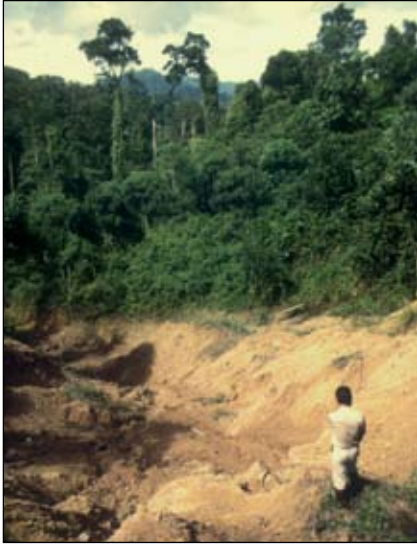
Las partes más delicadas del paisaje desde el punto de vista hidrológico son los cursos de agua de flujo perenne y los puntos de cruce de estas corrientes por caminos o pistas (Chappell *et al.*, 2007). Los criterios e indicadores de Malasia peninsular exigen que a lo largo de todos los cursos de agua permanentes de deba demarcar una zona tampón de 10 m de ancho (5 m a un lado y a otro del canal) en la que el acceso de vehículos y la tala de árboles solo se permiten en los lugares en que los puentes o alcantarillas atraviesan el río.

La ubicación y dimensiones recomendadas de las zonas tampón difieren de unos criterios e indicadores a otros. Algunos ingenieros forestales han propuesto que conviene proteger los canales efímeros, los cuales, por definición, conducen agua solo durante las tormentas (FAO, 1999; Cassells y Bruijnzeel, 2004), mientras que otros han indicado que la protección de cursos de agua de anchura menor de 5 m es innecesaria (Sist, Dykstra y Fimbel, 1998). En los trópicos húmedos, donde la densidad de drenaje (longitud de un curso de agua con flujos permanentes por unidad de superficie de cuenca hidrográfica) es muy elevada, las zonas tampón requeridas para los canales efímeros ocuparían hasta el 40 por ciento del paisaje (Thang y Chappell, 2004). Chappell *et al.* (2004a) han mostrado además que el mayor aporte de sedimentos a los canales por unidad de superficie ocurre a lo largo de los canales de primer a tercer orden (es decir, de arroyos permanentes a ríos pequeños). Esto significa que no es imprescindible proteger los canales efímeros, pero que sí es importante establecer zonas tampón en todos los ríos y corrientes de agua permanentes. Queda así corroborada la norma hidrológica que es aplicada universalmente en las reservas forestales de los estados malasios de

#### Distancias medias que separan las carreteras de extracción de las corrientes permanentes, cuenca hidrográfica experimental de Baru, reserva forestal de Ulu Segama, Malasia oriental

Tipo de corriente	Distancia (m)
Corrientes de primer orden	87
Corrientes de segundo orden	158
Corrientes de tercer orden	255

Fuente: Chappell *et al.*, 2004a.



*Un corrimiento de tierras de una extensión de 500 m por debajo de una carretera de extracción secundaria (cuenca hidrográfica experimental de Baru) poco después de producirse una falla*

Selangor, Pahang, Terengganu y Negeri Sembilan.

En la cuenca hidrográfica experimental de la reserva forestal de Ulu Segama en Malasia oriental, se observó que los desprendimientos originados por la construcción de carreteras llegaban a distancias de 150 y 500 m (Chappell *et al.*, 2004a). A pesar de que habían sido trazadas y construidas correctamente, las carreteras de extracción en esa zona estaban situadas a distancias menores que las mencionadas de las corrientes permanentes (véase el cuadro), lo cual indica que los sedimentos producidos por fallas grandes y originados por materiales de terraplenado y relleno pueden llegar hasta los canales permanentes. Por consiguiente, si bien las zonas tampón consiguen proteger las aguas al evitar que los conductores de aparejos de arrastre de troncos usen los cursos de agua como vías de transporte, no es de esperar que tales zonas retengan los sedimentos que descienden por la pendiente. Ziegler *et al.* (2006), en trabajos realizados en paisajes agrícolas en Viet Nam septentrional, han puesto en duda igualmente la eficacia para retener sedimentos incluso de unas zonas tampón de hasta 50 m de ancho. Bren (2000) y Chappell *et al.* (2006) han dado a entender que, en cuanto a su aplicación práctica, resulta en la actualidad demasiado incierto prever la eficacia de retención de las zonas tampón de ancho variable destinadas a las actividades forestales,

o determinar la ubicación de los suelos susceptibles a perturbación a los lados de las corrientes.

Si bien se ha prohibido el uso de los cursos de agua por los trabajadores forestales como vías para el transporte de troncos en las zonas de extracción de impacto reducido (por ejemplo, Departamento Forestal de Sabah, 1998), los lugares en que las pistas de arrastre atraviesan cursos de agua permanentes constituyen puntos de penetración potenciales de gran cantidad de sedimentos a las corrientes y desde allí a los ríos. Los criterios e indicadores en vigor en Malasia peninsular recomiendan que el cruce de las corrientes se efectúe de diferentes formas utilizando ya sea alcantarillas o puentes. Se precisan investigaciones hidrológicas para garantizar que las estructuras de cruce, comprendidos los troncos huecos que pueden desplomarse al cabo de unos años, sean sólidas desde el punto de vista hidrológico y rentables a largo plazo. La saca con helicóptero o con cable aéreo, método probado en las tierras empinadas de Malasia oriental (Mannan y Awang, 1997), puede traducirse en una gran reducción del número de pistas que recorren el bosque porque el uso de aparejos para el arrastre de troncos resulta innecesario (FAO, 1996). Aunque se espera que reduciendo los puntos en que alguna estructura atraviesa una corriente de agua se consiga disminuir la carga sólida que penetra en los ríos, aún no existen mediciones directas de las repercusiones que diferentes métodos de saca puedan tener en las cuencas hidrográficas. Las carreteras de extracción principales dotadas de alcantarillas de concreto y las obras de ingeniería como puentes y superficies de grava nivelada se diseñan de manera tal que es improbable que su impacto en la sedimentación persista por mucho tiempo tras la construcción (Departamento Forestal de Malasia Peninsular, 1999).

Las campañas de certificación llevadas a cabo en las reservas forestales de los estados de Selangor, Pahang, Terengganu y Negeri Sembilan han fomentado las prácticas de explotación mejoradas que se basan en investigaciones hidrológicas fundamentales (Thang y Chappell, 2004). Convendría que los gestores de tierras se informaran sobre la posibilidad de aplicar las conclusiones de estas investigaciones a la protección hidrológica que es necesaria durante el desmonte, al establecimiento de

plantaciones maderables tropicales o a los sistemas de agrosilvicultura.

#### **PROTECCIÓN DE BOSQUES NATURALES NO CERTIFICADOS Y PLANTACIONES**

Tal como se ha descrito anteriormente, el establecimiento de una zona tampón de 10 m de ancho a lo largo de las corrientes de agua permanentes y ríos durante las operaciones de explotación constituye una protección eficaz contra las principales alteraciones hidrológicas ocasionadas por las actividades forestales en los bosques tropicales naturales. Esta única norma, si se respetase estrictamente, podría brindar algunas garantías de protección de los recursos hídricos en los bosques naturales cuando resultare demasiado costoso cumplir con todos los requisitos medioambientales físicos exigidos por los organismos de evaluación internacionales.

En muchas zonas en que se ha previsto convertir bosques naturales en plantaciones forestales o en explotaciones agroforestales o de otro tipo, podría no ser logísticamente factible evitar la mayoría de las talas en todas las zonas que bordean las corrientes de agua permanentes. Sin embargo, las investigaciones han mostrado que la aplicación del concepto de zona tampón, tal como se usa en los Criterios e Indicadores de Ordenación Forestal Certificada de Malasia peninsular, se traduciría en una reducción de la corta de árboles en solo el 7 por ciento del paisaje destinado a la protección de los cursos de agua (Thang y Chappell, 2004), es decir menos de la superficie de reserva forestal que normalmente se declara para protección de los recursos biológicos y físicos. Es más, esta zona tampón proporcionaría una cierta protección a los cursos de agua pequeños (de ancho de canal menor de 5 m) más vulnerables desde el punto de vista hidrológico, que en el paisaje son los más numerosos, pero que en la mayor parte de los sistemas forestales tropicales son los menos protegidos (Thang y Chappell, 2004; Chappell *et al.*, 2007). Si estos «dedos» de bosque natural no pudieran conservarse, se obtendrían aún beneficios hidrológicos considerables si el uso de vehículos de arrastre de troncos se redujese al mínimo dentro de los 10 m de zona tampón demarcada a lo largo de todas las corrientes de agua permanentes. Estas franjas de bosque natural protegerían igualmente el hábitat acuático ya que



reducirían las perturbaciones del régimen de temperaturas de las corrientes que suele determinar la tala (Davies y Nelson, 1994). En efecto, los anteproyectos de criterios e indicadores para las plantaciones forestales de Malasia (MTCC, 2007) exigen que se deje una zona tampón de 10 m a lo largo de todas las corrientes durante el período de conversión y después del establecimiento de las plantaciones.

El uso de plaguicidas y fertilizantes artificiales en agrosilvicultura y en los sistemas agrícolas intensivos y en algunas plantaciones forestales hace que sea mucho más necesario determinar cuáles son los cursos de agua que deben protegerse. En las zonas saturadas aledañas a las corrientes, en las que las sustancias químicas pueden introducirse rápidamente en las aguas porque por lo general son transportadas más velozmente por tierra que a través de vías recorridas por flujos subterráneos, la prohibición del uso de estas sustancias sería la mejor manera de prevenir que se convirtieran en un peligro para la salud humana; en estos lugares las zonas tampón en que no se aplica ningún agente químico deberán tener una anchura de más de 5 m (McKergow *et al.*, 2004). La presencia de los bosques naturales en las zonas que bordean las corrientes reduce asimismo la posibilidad de que se produzcan flujos superficiales ya que la evaporación y la infiltración aumentan; se incrementa asimismo el uso de nutrientes lixiviados en las zonas superiores de las pendientes, y por consiguiente disminuye la cantidad de sustancias químicas que puedan penetrar en las aguas de los canales (McDowell, 2001).

## CONCLUSIONES

Las investigaciones sobre prácticas forestales y procesos hidrológicos realizadas

durante dos decenios en bosques naturales de Malasia –que han servido para llevar a cabo operaciones de certificación hidrológica sanas en las reservas forestales de los estados de Selangor, Pahang, Terengganu y Negeri Sembilan– permiten sacar conclusiones útiles para la ordenación forestal sostenible en otros países de los trópicos húmedos. Las técnicas de aprovechamiento forestal de impacto reducido han contribuido a mantener el funcionamiento hidrológico de los ríos que recorren los bosques naturales de varios estados de Malasia (por ejemplo, Nik y Harding, 1992; Yusop, 1989; Chappell *et al.*, 2004b; Thang y Chappell, 2004). Estos ríos revisten una importancia considerable en el suministro de agua potable porque están libres de contaminación por sustancias químicas artificiales. Sin embargo, es por su influencia en las cargas sólidas que las prácticas forestales tienen efectos pronunciados en los ríos de bosques naturales destinados a la producción maderera a largo plazo (Chappell *et al.*, 2004b). Los las normas de rendimiento relativas a los Criterios e Indicadores de Ordenación Forestal Certificada de Malasia peninsular contienen disposiciones destinadas a mitigar los impactos sobre la carga sólida (Thang y Chappell, 2004).

Pese a la intensificación de la investigación hidrológica en bosques naturales tropicales (Bonell y Bruijnzeel, 2004), las repercusiones de muchas prácticas forestales en los sistemas hidrológicos tropicales aún no se han podido cuantificar adecuadamente. En particular, las cantidades y fuentes de sedimentación de ríos son muy difíciles de estimar con precisión a causa del carácter intermitente de los vertidos de sedimento, la heterogeneidad de las fuentes de sedimentos

y las elevadas exigencias tecnológicas para efectuar tales mediciones (Douglas *et al.*, 1999; Chappell *et al.*, 2004a). A pesar de las incertidumbres, no cabe duda de que todas las corrientes permanentes pequeñas deban ser protegidas, porque constituyen la mayor parte de la extensión de una corriente de agua permanente (Chappell *et al.*, 2007) y reciben el mayor aporte de sedimento por unidad de superficie de cuenca hidrográfica (Chappell *et al.*, 2004a). En los bosques certificados de Malasia peninsular, el establecimiento de zonas tampón estrechas localizadas en las corrientes permanentes pequeñas:

- permite limitar el uso de los canales pequeños por los conductores de aparejos de arrastre como vías para el transporte de los troncos, y por consiguiente la erosión de los canales se reduce;
- exige que se construyan alcantarillas o puentes a lo largo de los caminos o pistas que atraviesan las corrientes permanentes, con lo cual se reduce la perturbación de los canales y se aíslan algunos de los senderos a través de los que los sedimentos provenientes de las pendientes podrían llegar a los canales;
- mantienen la cubierta de dosel y por consiguiente el microclima a lo largo de los corredores de las corrientes.

Estos importantes beneficios se pueden obtener limitando la tala y el acceso de vehículos en una superficie relativamente limitada (menos del 10 por ciento) del paisaje.

Pocos estudios han analizado los impactos hidrológicos de las actividades forestales en los bosques tropicales naturales y las estrategias de mitigación afines; y casi ningún estudio ha tratado los efectos de la turbidez en las plantaciones tropicales (Bonell y Bruijnzeel, 2004; Chappell, Tych y Bonell, 2007). Es muy urgente extrapolar los hallazgos de las investigaciones sobre turbidez en los bosques tropicales a las cuencas hidrográficas plantadas, y emprender nuevos estudios sobre turbidez de ríos y calidad del agua en las plantaciones madereras o de palma aceitera en las zonas de cuenca. También es necesario llevar a cabo investigaciones hidrológicas para comparar el valor y los impactos económicos de zonas tampón de diferentes tamaños sobre tierras en vías de conversión en plantaciones madereras y sistemas agroforestales. ♦



*Zona tampón de la cuenca hidrográfica experimental de Baru, 17 años después de concluida la primera fase de las operaciones de aprovechamiento selectivo*



## Bibliografía

- Bonell, M. y Bruijnzeel, L.A.** 2004. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Bren, L.J.** 2000. A case study in the use of threshold measures of hydrologic loading in the design of stream buffer strips. *Forest Ecology and Management*, 132: 243–257
- Cassells, D.S. y Bruijnzeel, L.A.** 2004. Guidelines for controlling vegetation, soil and water impacts of timber harvesting in the humid tropics. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds, *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Cassells, D.S., Gilmour, D.A. y Bonell, M.** 1984. Watershed forest management practices in the tropical rainforests of north-eastern Australia. En C.L. O'Loughlin y A.J. Pearce, eds. *Effects of land use on erosion and slope stability*. Viena, Austria, Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO).
- Chappell, N.A., Douglas, I., Hanapi, J.M. y Tych, W.** 2004a. Source of suspended-sediment within a tropical catchment recovering from selective logging. *Hydrological Processes*, 18: 685–701.
- Chappell, N.A., Thang, H.C., Sinun, W. y Bidin, K.** 2007. Practical hydrological protection of tropical forests: Malaysia's scientific contribution. Ponencia presentada en la International Conference on Nature Conservation in Sabah: the Quest for the Gold Standard, Kota Kinabalu, Sabah, Malasia, 26 y 27 de noviembre.
- Chappell, N.A., Tych, W. y Bonell, M.** 2007. Development of the *forSIM* model to quantify positive and negative hydrological impacts of tropical reforestation. *Forest Ecology and Management*, 251: 52–64.
- Chappell, N.A., Tych, W., Yusop, Z., Rahim, N.A. y Kasran, B.** 2004b. Spatially-significant effects of selective tropical forestry on water, nutrient and sediment flows: a modelling-supported review. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Chappell, N.A., Vongtanaboon S., Jiang, Y. y Tangtham, N.** 2006. Return-flow prediction and buffer designation in two rainforest headwaters. *Forest Ecology and Management*, 224: 131–146.
- Davies, P.E. y Nelson, M.** 1994. Relationship between riparian buffer widths and the effects of logging on stream habitat, invertebrate community composition, and fish abundance. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 45: 1289–1305.
- Douglas, I., Bidin, K., Balamurgan, G., Chappell, N.A., Walsh, R.P.D., Greer, T. y Sinun, W.** 1999. Role of extreme events in the impacts of selective tropical forestry on erosion during harvesting and recovery phases at Danum Valley, Sabah. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B.*, 354: 1749–1761.
- FAO.** 1996. *FAO model code of forest harvesting practice*, por D.P. Dykstra y R. Heinrich. Roma.
- FAO.** 1999. *Code of practice for forest harvesting in Asia-Pacific*, por P.B. Durst. RAP Publication 1999/12. Bangkok, Tailandia, Oficina Regional de la FAO para Asia y el Pacífico.
- Forestry Department Peninsular Malaysia.** 1999. *Specification of forest roads for Peninsular Malaysia*. Kuala Lumpur, Malasia.
- Hamilton, L.S.** 2004. Red flags of warning in land clearing. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Mannan, S. y Awang, Y.** 1997. Sustainable forest management in Sabah. Ponencia presentada en el Seminario sobre ordenación forestal sostenible, Kota Kinabalu, Sabah, Malasia, 22 de noviembre de 1997.
- McDowell, W.H.** 2001. Hurricanes, people, and riparian zones: controls on nutrient losses from forested Caribbean watersheds. *Forest Ecology and Management*, 154: 443–451.
- McKergow, L.A., Prosser, I.P., Grayson, R.B. y Heiner, D.** 2004. Performance of grass and rainforest riparian buffers in the wet tropics, Far North Queensland. 2. Water quality. *Australian Journal of Soil Research*, 42: 485–498.
- Megahan, W.F.** 1977. Reducing erosional impacts of roads. En *Guidelines for watershed management*. Roma, FAO.
- MTCC.** 2001. *Malaysian criteria, indicators, activities and standards of performance for forest management certification (MC&I)*. Kuala Lumpur, Malasia, Malaysia Timber Certification Council (MTCC).
- MTCC.** 2004. *Malaysian criteria and indicators for forest management certification (MC&I, 2002)*. Kuala Lumpur, Malasia.
- MTCC.** 2007. *Malaysian criteria and indicators for forest management certification (forest plantations)*. Kuala Lumpur, Malasia. (Borrador, 27 de marzo.)
- Nik, A.R. y Harding, D.** 1992. Effects of selective logging methods on water yield and streamflow parameters in Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*, 5: 130–154.
- Pinard, M.A., Putz, F.E. y Tay, J.** 2000. Lessons learned from the implementation of reduced-impact logging in hilly terrain in Sabah, Malaysia. *International Forestry Review*, 2: 33–39.
- Sabah Forestry Department.** 1998. *RIL operation guide book: specifically for tracked skidder use*. Sandakan, Malasia.
- Sidele, R.C., Sasaki, S., Otsuki, M., Noguchi, S. y Nik, A.R.** 2004. Sediment pathways in a tropical forest: effects of logging roads and skid trails. *Hydrological Processes*, 18: 703–720.
- Sist, P., Dykstra, D. y Fimbel, R.** 1998. *Reduced-impact logging guidelines for lowland and hill dipterocarp forests in Indonesia*. Occasional Paper No. 15. Bogor, Indonesia, Centro de Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Thang, H.C.** 1987. Forest management-systems for tropical high forest, with special reference to Peninsular Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 21: 3–20.
- Thang, H.C.** 1996. Formulation and implementation of criteria and indicators for sustainable forest management in Malaysia. En S. Appanah, M. Shamsudin, H.C. Thang y I. Parlan, eds. *Proceedings of the Workshop on Forest Management Certification*, Kuala Lumpur, Malasia, 12 y 13 de diciembre de 1996. Kuala Lumpur, Forestry Research Institute of Malaysia (FRIM).
- Thang H.C. y Chappell, N.A.** 2004. Minimising the hydrological impact of forest harvesting in Malaysia's rain forests. En M. Bonell y L.A. Bruijnzeel, eds. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Yusop, Z.** 1989. Effects of selective logging methods on dissolved nutrient exports in Berembun Watershed, Peninsular Malaysia. En *Proceedings of the Regional Seminar on Tropical Forest Hydrology*, Kuala Lumpur, Malasia, 4-9 de septiembre de 1989. Kuala Lumpur, FRIM.
- Ziegler, A.D., Tran, L.T., Giambelluca, T.W., Sidele, R.C., Sutherland, R.A., Nullet, M.A. y Tran, D.V.** 2006. Effective slope lengths for buffering hillslope surface runoff in fragmented landscapes in northern Vietnam. *Forest Ecology and Management*, 224: 104–118. ♦