

Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales

P. Balvanera^{1,2}

(1) Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 27-3, Morelia, Michoacán 58090, México.
(2) Department of Biology, Stanford University, Gilbert Hall, Stanford, California 94305-5020, USA.

➤ Recibido el 20 de diciembre de 2012, aceptado el 25 de febrero de 2012.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1-2):136-147.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas. Este concepto permite hacer más explícita la interdependencia del bienestar humano y el mantenimiento del adecuado funcionamiento de los ecosistemas. Los bosques tropicales del mundo, debido a su amplia distribución, elevada diversidad y contribución a funciones clave del planeta como la regulación climática e hidrológica proveen una serie de servicios ecosistémicos críticos. En este artículo se hace una revisión acerca de los servicios ecosistémicos que estos bosques ofrecen. Se analizan los principales servicios de suministro, regulación y culturales. Se discuten: i) la relación entre los componentes y procesos del ecosistema y su capacidad de proveer servicios, ii) los efectos del manejo sobre la provisión de servicios, iii) los factores sociales que subyacen la provisión de servicios y iv) las intervenciones que permiten mantener o recuperar los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: Regulación climática, recursos, cultura, manejo de bosques tropicales, servicios de regulación, servicios culturales.

Balvanera, P. (2012). *Ecosystem services supplied by tropical forests. *Ecosistemas* 21(1-2):136-147.*

Ecosystem services are the benefits societies obtain from ecosystems. This concept allows to explicitly address the interdependence of human well-being and the maintenance of the adequate functioning of ecosystems. **Tropical forests provide critical ecosystem services worldwide** due to the high biodiversity they host and their contribution to key ecological functions such as the regulation of climatic and hydrological processes. This article aims at **reviewing the ecosystem services that these forests deliver**, including an analysis of the main regulating and cultural services they provide. The topics discussed are: i) the relationship between the components and processes of tropical forests and their ability to deliver services, ii) the effects of management on the delivery of services, iii) the social drivers underpinning of service delivery, iv) the interventions that contribute to maintaining or restoring ecosystem services.

Keywords: Climate regulation, resources, culture, tropical forest management, regulating services, cultural services.

Introducción

Los bosques tropicales, al igual que todos los ecosistemas del planeta, brindan beneficios a las poblaciones humanas. Estos beneficios se derivan de los componentes abióticos (v.g. agua, nutrientes, luz) y bióticos (v.g. plantas, hongos, animales, microorganismos) de los ecosistemas así como de las interacciones entre ellos (MEA 2003; Boyd y Banzhaf 2007). El concepto de servicios tiene la finalidad de hacer explícitos los beneficios que los humanos obtenemos de los ecosistemas. Esto no quiere decir que los ecosistemas y los organismos que los habitan no tengan el derecho de existir por sí mismos.

El estudio de los servicios ecosistémicos en general, y de los servicios que se derivan de los bosques tropicales en particular, es relativamente reciente. El concepto se acuñó en 1997 cuando se publicó el libro "Los beneficios de la naturaleza" (Daily 1997). El concepto obtuvo una gran atención de la comunidad científica porque identifica a los actores que manipulan los ecosistemas que pueden poner en peligro su funcionamiento, lo que a su vez amenaza el bienestar de las sociedades.

El creciente interés por los servicios ecosistémicos se convierte en el centro de la iniciativa mundial conocida como la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005). La cual tuvo por objetivo mostrar los vínculos que existen entre los

cambios en los ecosistemas y el bienestar humano. Esta Evaluación arrancó en el año 2002 y ha producido un marco conceptual (MEA 2003) y una serie de documentos para una amplia gama de usuarios, incluidos los principales resultados (MEA 2005), así como un manual metodológico (Ash et al. 2010). En esta iniciativa participaron alrededor 1300 expertos de 95 países, además de representantes de los distintos sectores de la sociedad.

Los servicios ecosistémicos son el vínculo conceptual entre los ecosistemas, sus componentes y procesos y los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas (Boyd y Banzhaf 2007). Existen varias definiciones de "servicios ecosistémicos". De forma coloquial se dice que los servicios son los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas (MEA 2003). Sin embargo, esta definición es poco precisa y se dirige al público general. Una definición más técnica es la de Quijas et al. (2010): "los servicios ecosistémicos son los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, que se disfrutan, o que contribuyen, a través de interacciones entre ellos, a generar condiciones adecuadas para el bienestar humano".

Se reconocen tres distintos tipos de servicios ecosistémicos (MEA 2003). Los primeros son los que se pueden consumir directamente, conocidos también como recursos naturales (Maass et al. 2005). Se trata de los servicios de suministro que incluyen los alimentos, agua, fuentes de energía, materiales de construcción o medicinas, entre otros. Los segundos son los que regulan las condiciones en las que habitamos y en las que llevamos a cabo nuestras actividades productivas y económicas (Maass et al. 2005). Se trata de los servicios de regulación, los cuales permiten que las condiciones tiendan a cambiar poco y a oscilar dentro de rangos que nos permiten vivir, cultivar alimentos o regular los impactos de eventos extremos, entre otros. Estos servicios incluyen la regulación climática, la regulación de inundaciones y la protección costera. Finalmente está la categoría de los servicios cuyos beneficios pueden ser tangibles o no tangibles, pero que surgen de la contribución de los ecosistemas a experiencias que son placenteras o benéficas (Chan et al. 2011). Se trata de los servicios culturales que abarcan beneficios recreativos y estéticos, así como aquellos asociados a la identidad, el legado cultural y el sentido de pertenencia. La evaluación de los ecosistemas del Milenio distingue un grupo adicional de servicios que son los de soporte (MEA 2003), aquéllos que permiten que puedan suministrarse los anteriores servicios; estos en realidad son procesos ecosistémicos básicos y no serán incluidos en este trabajo porque contribuyen al bienestar humano solo de forma indirecta.

La oferta del servicio, el consumo o disfrute del servicio y el valor que otorga la sociedad son conceptos distintos (Tallis et al. 2011). La oferta del servicio se da a través de interacciones entre los componentes de los ecosistemas y refleja los beneficios potenciales que las poblaciones pudieran obtener de éstos. El consumo o disfrute del servicio se da mediante la interacción directa con las poblaciones humanas; éste incluye la cantidad de agua que se consume para la agricultura o el número de personas que se benefician de la regulación de inundaciones. El valor lo atribuyen las sociedades cuando reconocen explícitamente los vínculos entre los ecosistemas y su bienestar. Este valor puede ser económico, cultural o social; lo más frecuente es la valoración económica, pero esto no necesariamente refleja su importancia relativa.

En este trabajo se presenta una revisión de esta literatura sobre los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Además de describir estos servicios, se exploran brevemente los siguientes temas: i) la relación entre los componentes y procesos del ecosistema y su capacidad de proveer servicios, ii) los efectos del manejo sobre la provisión de servicios, iii) los factores sociales que subyacen en la provisión de servicios y iv) las intervenciones que permiten mantener o recuperar los servicios ecosistémicos.

Los servicios ecosistémicos que los bosques tropicales proporcionan a las sociedades

Servicios de suministro

Los bosques tropicales ofrecen servicios de suministro fundamentales que benefician generalmente a los propietarios del bosque o las comunidades que los manejan (**Fig. 1A**). La gran diversidad de plantas, animales y microorganismos que albergan estos bosques ofrece una gama enorme de alimentos, fuentes energéticas, materiales de construcción, medicinas, especies ornamentales o de importancia ceremonial, mascotas o plaguicidas, entre otros. Por ejemplo, los pobladores del bosque atlántico del norte de Paraguay consumen la carne de mamíferos silvestres como la paca (*Agouti paca*), el mono capuchino (*Cebus apella*), el agutí (*Dasyprocta azarae*) o el armadillo (*Dasyus novemcintus*), (Naidoo y Ricketts 2006). Estas especies conforman una fuente fundamental de proteína a la vez que pueden también ser una fuente de ingreso importante al ser vendidos en los mercados locales. Así, la selva conservada puede alcanzar un valor US\$18.50 por año por hectárea considerando únicamente la contribución de estas especies. La extracción de leña es la única fuente de energía para calentar agua o cocinar para 7 millones de habitantes rurales de México (Maser et al. 2005). Los bosques tropicales húmedos son

los sistemas que ofrecen el mayor suministro de este servicio, alcanzando valores de hasta un millón de toneladas por año en un municipio del sureste de México (Ghilardi et al. 2007). Los bosques tropicales ofrecen también madera, incluyendo especies conocidas como maderas preciosas puesto que son muy duras y de vistosos colores (ver también Fonseca et al. 2012, en este número). Especies como el granadillo (*Dialium guianense*), el guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), la rosa morada (*Tabebuia rosea*), o el ramón (*Brosimum alicastrum*) son ampliamente apreciadas por sus maderas (Peters 2011). Las especies de copal (*Bursera* sp) se utilizan para la extracción de resinas, aceites esenciales y en ceremonias religiosas (Peters et al. 2003; Meave et al., 2012, en este número) y, en la actualidad, su madera sirve para la elaboración de vistosas artesanías llamadasalebrijes, lo que ha llevado a muchas de sus abundantes poblaciones al borde de la extinción local. Varias especies de pericos (Psittacidae) son extraídas para ser vendidas como mascotas, amenazándolas gravemente (González 2003).

Los bosques tropicales también ofrecen recursos potenciales, aquellos que pueden ser importantes en el futuro. Numerosas especies con potencial para convertirse en medicinas o precursoras son evaluadas diariamente. Más de 300 especies de plantas fueron analizadas en México el año 2005 sólo para explorar sus usos potenciales para el tratamiento de la diabetes

plantas fueron analizadas en México el año 2005 solo para explorar sus usos potenciales para el tratamiento de la diabetes (Legorreta 1989). Otros usos potenciales están relacionados con el cambio climático, ya que se esperan aumentos de la temperatura y menor precipitación en muchas regiones tropicales (IPCC 2001). Las especies que habitan los bosques tropicales secos están adaptadas a condiciones de sequía, en muchos casos impredecibles, y pueden por lo tanto convertirse en recursos genéticos importantes para la restauración en el futuro (Maass et al. 2005).

Servicios de regulación

Los bosques tropicales ofrecen numerosos servicios de regulación que benefician a grandes regiones o a todo el planeta (**Fig. 1B**). Estos juegan un papel fundamental en la regulación climática del planeta. La quema de combustibles fósiles (por ejemplo la quema de gas y gasolina para producir energía eléctrica, alimentar maquinaria industrial o ayudar al desplazamiento de automóviles y de aviones), la quema de bosques para convertirlos en campos agrícolas o ganaderos y el uso de fertilizantes para aumentar los rendimientos en la producción agrícola han contribuido a un aumento dramático en la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera desde 1750 hasta la fecha (IPCC 2001, 2007, 2011). Estos gases, que incluyen el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), han aumentado en un 30, 150 y 20%, respectivamente (IPCC 2007). Estos gases contribuyen a retener parte de la energía solar que después de haber entrado a la atmósfera rebota en la superficie terrestre, quedando una fracción cada vez mayor de la energía atrapada entre aquella y la atmósfera. En los últimos 100 años la temperatura promedio del planeta ha aumentado en promedio 0.74°C . Incrementos como éstos no han sido observados durante más de 10,000 años, y uno de los resultados es que once de los doce años entre 1995 y 2006 han sido los más calurosos desde que existen registros de temperatura (IPCC 2007). El calentamiento, a su vez, provoca el aumento del nivel del mar, el cual desde 1993 está subiendo a una tasa de 3 milímetros por año. El aumento en la temperatura y energía disponibles a su vez están relacionados con los aumentos claramente significativos de la cantidad de lluvias torrenciales, las sequías en otras partes del mundo y la frecuencia de inundaciones (IPCC 2011).

Los bosques tropicales juegan un papel fundamental en la regulación de estos cambios climáticos y de sus impactos, ya que debido al gran tamaño de sus árboles y a la proporción de la superficie del planeta que ocupan constituyen el 60% de los almacenes aéreos de carbono y con el 30% de los almacenes de carbono en el suelo (Dixon et al. 1994). Cuando se quema la biomasa (viva y muerta) se libera CO_2 , contribuyendo a aumentar el cambio climático; en cambio, cuando se recuperan los bosques tropicales estos contribuyen a la captura de carbono (Kauffman et al. 2009). Los bosques que albergan la mayor cantidad de carbono son los tropicales húmedos que crecen sobre suelos periódicamente inundados, donde las hojas y tallos muertos se mantienen por varias décadas produciendo espesas capas de turba (Anderson-Teixeira y DeLucia 2011). Estos bosques se encuentran en el sureste asiático, principalmente en Indonesia y Malasia. El resto de los bosques tropicales secos y húmedos de los cinco continentes están en cuarto lugar en cuanto a su contribución a los almacenes globales de carbono (Anderson-Teixeira y DeLucia 2011).

Los bosques tropicales juegan un papel importante en la regulación del clima a través de sus efectos en la temperatura y en la humedad relativa. Los árboles absorben una proporción importante de la energía proveniente de la radiación solar que incide sobre su dosel puesto que la transforman a través de la fotosíntesis. Además, los bosques liberan agua cuando se abren los estomas de las hojas para el intercambio gaseoso al realizar la fotosíntesis. Durante este proceso ocurren intercambios de energía así como cambios en la humedad relativa que conducen a reducciones en la temperatura (Anderson-Teixeira et al. 2012). Para el caso del Cerrado, un tipo de bosque tropical seco que se distribuye por Brasil, Uruguay y Argentina, se estiman aumentos en temperatura de 0.5°C debido a su transformación a pastizales (Hoffmann y Jackson 2000).

Además de contribuir directamente en la regulación climática, los bosques tropicales juegan un papel fundamental en la regulación de los impactos de los eventos extremos que ocurren de forma natural, pero cuya frecuencia está aumentando por efectos de los cambios en el clima. Cuando el suelo está desnudo y ocurre una tormenta tropical de gran intensidad, las gotas de lluvia impactan en él a gran velocidad. En cambio, estas mismas gotas pasan por el dosel de un bosque tropical con una gran complejidad estructural y plantas de tan sólo unos centímetros hasta árboles de 40 o 60 metros de altura, (Lieberman et al. 1996) su velocidad disminuye. La complejidad estructural (Díaz et al. 2006) junto con otros factores como la topografía y las características del suelo y las características de la roca (Emmanay et al. 2011; Mendoza et al. 2011) modulan los impactos de eventos extremos.

Los bosques tropicales contribuyen a la regulación de la erosión y de la calidad del agua. Cuando una gran cantidad de lluvia escurre superficialmente, ésta puede arrastrar a su paso una proporción importante del suelo. En la costa de Jalisco de México se encontró que se arrastraron una cantidad de sedimentos 1000 veces mayor de un campo de maíz que de un bosque tropical seco en las mismas condiciones de topografía, suelo y geología (Maass et al. 2005). Los sedimentos arrastrados llegan a los ríos, reduciendo la calidad de su agua; éstos también pueden ser arrastrados hasta la boca del río y a las costas, reduciendo también la calidad del agua de los estuarios y del mar (Conte et al. 2011).

Los bosques tropicales también regulan la frecuencia de los deslaves. El escurrimiento superficial que se produce como resultado de una gran cantidad de lluvia en ausencia de bosques tropicales puede conducir a deslaves, arrastrando suelo, roca y algunos árboles. Un estudio en Chiapas mostró que a mayor complejidad de la vegetación, menor frecuencia y volumen de deslaves (Philpott et al. 2008).

Los bosques tropicales, al igual que otros bosques, también juegan un papel fundamental en la regulación de las inundaciones. El balance entre los distintos componentes del ciclo del agua en una región particular está determinado por la combinación entre la evapotranspiración y el agua que queda libre para escurrir o infiltrarse, y la suma de estos dos componentes es igual a la precipitación anual. Una cuenca hidrológica cubierta con bosque puede presentar una evapotranspiración que supere en un promedio de 170 mm al año a la de una cuenca equivalente pero deforestada (Doel et

evapotranspiración que supera en un promedio de 170 mm al año a la de una cuenca equivalente pero deforestada (Fee et al. 2010). Combinando los efectos sobre la evapotranspiración y sobre la infiltración discutidos arriba, el resultado es que la deforestación conduce a un aumento en la probabilidad de inundaciones debido al incremento en los caudales máximos o pico de agua que se escurre (Conte et al. 2011). En el caso del río Tocantins, en Brasil, la transformación de 3.5 millones de hectáreas de cerrado a pasturas entre 1949 y 1998 llevó a un aumento del 24% en el caudal del río (Filoso et al. 2006).

Servicios culturales

Los bosques tropicales brindan numerosos beneficios no materiales a las poblaciones humanas que los habitan o visitan (**Fig. 1C**). Las experiencias derivadas de habitar estas selvas contribuyeron al desarrollo de las culturas maya en Mesoamérica y kalapó en el Amazonas.

Los bosques tropicales están ligados a seres mágicos o sagrados y cosmologías relacionadas con el manejo de éstos. Entre los popolucas del Golfo de México existe la creencia de los chaneques, unos personajes que viven en el bosque y los cuidan de aquéllos que abusan de los recursos que se encuentran en ellos (Castillo 2004). Los nahuas y popolucas de esta misma región vinculan estrechamente su identidad al bosque, el cual está asociado a un sentido de pertenencia colectiva (Durand 2005). Se han documentado conexiones sagradas como éstas en México (Toledo 2001) y Bolivia (Arambiza y Painter 2006), entre otros.

Tanto las culturas que habitan los bosques tropicales como los que las visitan aprecian sus cualidades estéticas. En el bosque tropical seco del oeste de México los habitantes locales asocian la presencia del bosque con sentimientos de paz, quietud y alegría (Castillo et al. 2005). Numerosos turistas se dirigen cada año a los bosques tropicales de Costa Rica para admirar su fauna y su flora, invirtiendo un promedio de unos US\$1,000 por persona y visita para gozar de estos beneficios, incluyendo su transporte, alimentos, hospedaje y costos de actividades específicas y entrada a los parques (Menkhaus y Lober 1996).

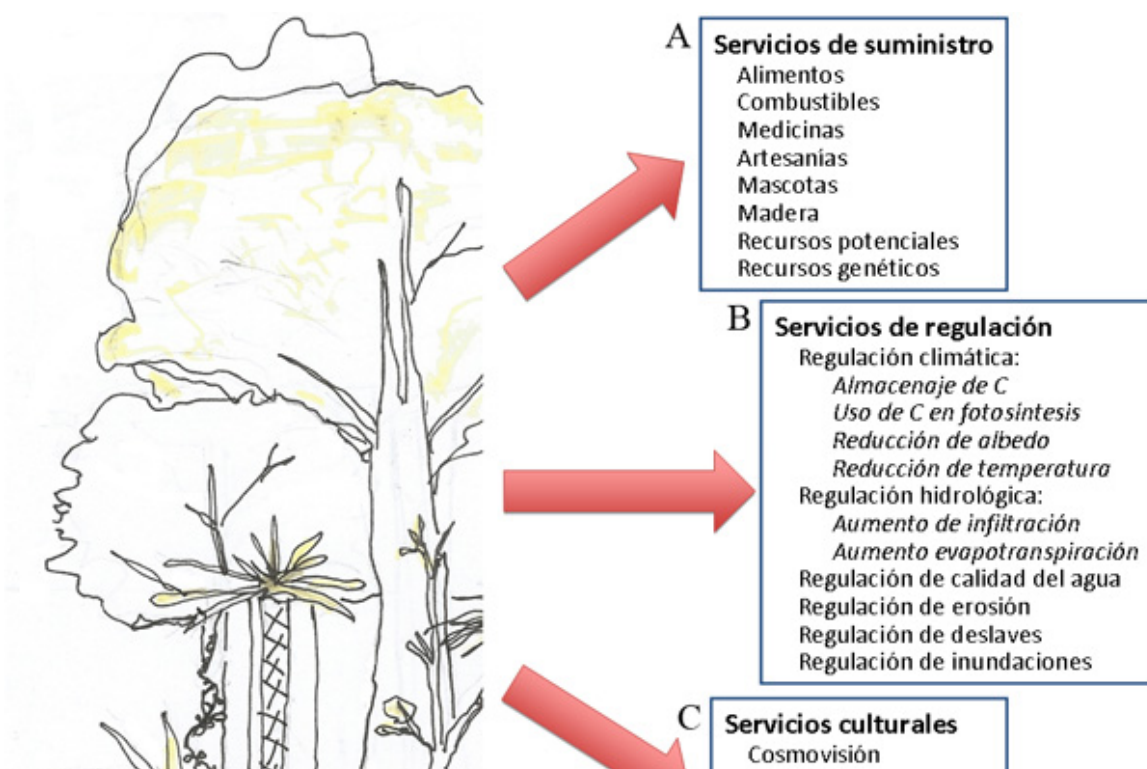




Figura 1. Los servicios que ofrecen los bosques tropicales, (A) de suministro, (B) regulación y (C) culturales.

La relación entre los componentes y procesos del ecosistema y su capacidad de proveer servicios

La gran diversidad de especies que albergan los bosques tropicales modifica la forma en la que operan los distintos procesos del ecosistema. Existe una amplia literatura basada en experimentos que muestra que cuanto mayor es la riqueza de especies mayor es la magnitud de algunos procesos del ecosistema (Cardinale et al. 2011). Al relacionar esta literatura con los servicios ecosistémicos, se ha confirmado que cuanto mayor es la riqueza de especies mayor es la capacidad de provisión de servicios (Balvanera et al. 2006; Quijas et al. 2010). Sin embargo, la mayor parte de esta literatura no proviene de bosques tropicales, sino de pastizales localizados en zonas templadas o de comunidades artificiales mantenidas en un laboratorio o invernadero. Los escasos trabajos que exploran la relación entre la riqueza de especies y la capacidad de ofrecer servicios asociados a la regulación climática confirman que cuanto mayor es la riqueza de especies mayor es el almacenamiento de carbono (Balvanera et al. 2005; Potvin y Gotelli 2008; Ruiz-Jaen y Potvin 2010). Sin embargo, esta relación es compleja, y tan sólo el 20% de las especies de árboles en el bosque tropical de Chajul en Chiapas, México, contribuyen con hasta el 80% del almacenamiento de carbono (Balvanera et al. 2005). ¿Qué ventajas ofrece el 80% restante de las especies para la provisión de este servicio? No hay datos que permitan responder directamente a esta pregunta, pero se sabe que muchas de las especies raras como las del género *Ficus* juegan un papel fundamental en el mantenimiento de este tipo de comunidad a través de interacciones críticas con numerosos tipos de organismos (Balvanera et al. 2005).

Las condiciones biofísicas en las que se ubican los bosques tropicales contribuyen también a su capacidad de ofrecer servicios. Los bosques secos enfrentan sequías severas durante cuatro a seis meses al año. El flujo de materiales y energía entre los distintos organismos que los habitan, así como el establecimiento y reproducción de sus especies, están estrechamente sincronizados con el aumento en la disponibilidad de agua durante la temporada de lluvias (Maass et al. 2002). Los bosques húmedos también se enfrentan a temporadas de sequía durante las cuales se han observado reducciones en el reclutamiento de especies y un aumento en su mortalidad (Phillips et al. 2004). También se han observado reducciones importantes en la productividad primaria neta del bosque, es decir, su contribución a la producción de materia orgánica a partir de la fotosíntesis una vez descontadas las pérdidas por respiración y descomposición (Clark 2004).

Los efectos del manejo sobre la provisión de servicios

Las sociedades transforman conscientemente los bosques tropicales para obtener ciertos servicios ecosistémicos, sobre todo los de suministro, con el objetivo de mejorar su calidad de vida (Fig. 2). Así, 1.2 millones de hectáreas de chaco (un bosque seco sub-tropical de Argentina) se han transformado en pastizales para la producción ganadera (Zak et al. 2004). Más de 3.5 millones de hectáreas de la Amazonía brasileña se transformaron en agricultura intensiva de soya para su exportación a China entre 2001 y 2004, siendo esta elevada tasa de conversión dos veces más rápida de la observada en las décadas de los sesenta y setenta para establecimiento de actividades ganaderas (Morton et al. 2006). Cada año se extraen entre 27 y 50 millones de metros cúbicos de madera de la Amazonía mediante tala selectiva; esta es la misma que cada año se tumba y quema por deforestación (Asner et al. 2005).

Las actividades de manejo también tienen consecuencias no intencionales sobre el funcionamiento de los bosques tropicales y su capacidad de proveer servicios ecosistémicos. La magnitud de las consecuencias del manejo depende de la intensidad, frecuencia, magnitud y duración de las distintas actividades. En la Amazonía se observó que los sitios que fueron sometidos a cinco o más quemadas recuperan sólo el 50% del carbono del que recuperan aquéllos que sufrieron menos quemadas (Zarin et al. 2005). Los cambios en la capacidad de los bosques tropicales de ofrecer servicios pueden ser graduales o abruptos. Se estima que de mantenerse las tasas actuales de deforestación, tala selectiva, daños asociados a sequías o frecuencia de fuegos, puede producirse un cambio dramático en el funcionamiento del bosque amazónico, incluyendo la muerte de muchos de sus árboles, (incluso sin considerar efectos asociados a cambios climáticos). Esto conduciría a un aumento en la liberación de CO₂ a la atmósfera de entre el 60 y el 160%, y una reducción dramática en la capacidad planetaria de transformarlo en nueva materia orgánica (Nepstad et al. 2008).

Los factores sociales que subyacen en la oferta de servicios

La capacidad que tienen los ecosistemas de ofrecer servicios ecosistémicos se ve profundamente modificada por las decisiones que las sociedades toman acerca de su manejo (Fig. 2). El conjunto de condiciones y procesos que ocurren en las sociedades, que llamamos aquí factores sociales, operan a través de la toma de decisiones sobre cómo transformar los ecosistemas.

Las políticas públicas, nacionales o internacionales, determinan en gran medida la dirección del manejo de los ecosistemas. El Banco Mundial a partir de la década de los 70 impulsó políticas de transformación de los bosques tropicales para

El sector maderero, a partir de la escasez de los árboles, impulsó políticas de transformación de los bosques tropicales para satisfacer la creciente demanda de productos agropecuarios (Steininger et al. 2001). En México esto se combinó con la percepción de que los bosques tropicales secos eran tierras que debían de ser mejor aprovechadas para así promover programas como el de la "Marcha hacia el mar", el cual creó ejidos u organizaciones campesinas semi-comunitarias en la costa del Pacífico Mexicano (Castillo et al. 2005).

Las instituciones, es decir, los sistemas de reglas que establecen las sociedades para regular el acceso a los recursos, juegan un papel fundamental en la forma en la que éstos se manejan (Ostrom et al. 1999). Algunas instituciones fuertes, en las que se comparten visiones, las reglas son claras y la participación de los distintos individuos queda bien establecida, han permitido el mantenimiento de bosques tropicales y de los servicios que proveen a través de iniciativas comunitarias (Dalle et al. 2006).

Los mercados para los productos de los bosques tropicales o de los campos agrícolas o pecuarios resultantes de su transformación modifican en gran medida las decisiones de transformación. El creciente mercado de la soya en China, asociado al incremento en la capacidad adquisitiva de su población que ha aumentado su consumo de carne y por lo tanto requiere de más soya para alimentar a sus cerdos y pollos, ha provocado la deforestación de la Amazonía y del Cerrado brasileños (Naylor et al. 2005; Morton et al. 2006).

El crecimiento poblacional también afecta la condición de los bosques tropicales. Así, el elevado crecimiento poblacional en Jamaica ha llevado a una pérdida anual del 4% de sus bosques tropicales secos (Tole 2001). El crecimiento poblacional junto con el crecimiento económico contribuyen a la extensión de la infraestructura y estos tres factores se retroalimentan positivamente para contribuir a la deforestación (Geist y Lambin 2002).

Las intervenciones que permiten mantener o recuperar los servicios ecosistémicos

Los bosques tropicales han estado sujetos a formas alternativas tipos de manejo que responden a una variedad de factores sociales y beneficios para distintos actores de la sociedad. El reto, sin embargo, es asegurar la oferta de los servicios que los bosques tropicales ofrecen. Existen distintos tipos de intervenciones que permiten mantener o recuperar algunos de estos servicios modificando las interacciones entre los factores sociales, el manejo y las condiciones de los bosques (Fig. 2).

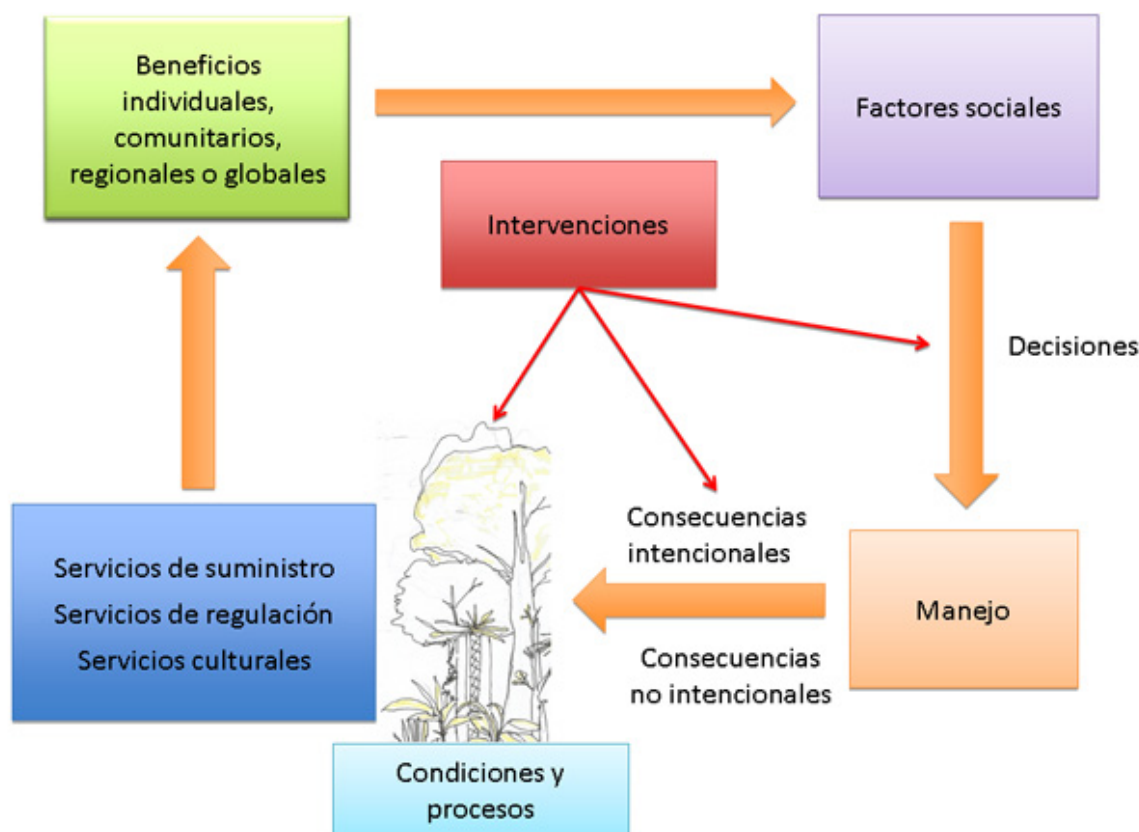


Figura 2. Relaciones entre las condiciones y procesos del ecosistema del bosque tropical, los servicios que ofrece, sus beneficiarios, los factores sociales y el manejo de este ecosistema. Modificado del MEA (2003).

Las intervenciones técnicas como la restauración pueden permitir recuperar algunos servicios ecosistémicos y conservar al menos parte de la biodiversidad que éstos albergan, aunque generalmente con un conjunto de especies que pueden ser distintas a las que habitaban los bosques conservados antes de ser manipulados (Chazdon 2008). La restauración puede estar enfocada a la recuperación de algunos servicios de regulación y culturales críticos, a través de la participación de las

comunidades rurales, para asegurar el mantenimiento de su forma de vida. El tipo de intervenciones para la restauración dependerá de la severidad de la degradación del sistema; esta puede incluir de la rehabilitación, a las plantaciones, a la reforestación con especies nativas y a la recuperación de bosques secundarios (Chazdon 2008). El éxito de estas intervenciones para la recuperación de servicios ecosistémicos es limitado sin embargo; una síntesis de muchos estudios sobre restauración (meta-análisis) mostró que la oferta de servicios es mayor en las zonas restauradas que en las degradadas, pero que no se alcanzan los valores observados en las zonas conservadas (Benayas et al. 2009). Otras intervenciones técnicas pueden estar dirigidas al desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles que aseguren la oferta de servicios de suministro agrícolas y pecuarios, así como la oferta de múltiples recursos medicinales o alimenticios, mientras que se mantiene la capacidad de oferta de servicios de regulación, como el almacén y captura de carbono o la regulación de la erosión (Jose 2009).

Las intervenciones educativas e institucionales están dirigidas a informar a las sociedades sobre los servicios que ofrecen los distintos ecosistemas y a fortalecer las instituciones que toman decisiones en torno al mantenimiento de dichos servicios. La educación ambiental es una herramienta fundamental para asegurar el mantenimiento de los ecosistemas y sus servicios en Latinoamérica, promoviendo la participación social en la resolución de los problemas ambientales (Castillo et al. 2002). El fortalecimiento de instituciones colectivas como pueden ser los acuerdos comunitarios de uso de recursos y el desarrollo de sanciones para aquellos individuos que no cumplen con los acuerdos colectivos es fundamental (Ostrom et al. 1999).

Las intervenciones económicas o financieras permiten compensar a los dueños de las parcelas por los servicios que ofrecen. Los pagos por servicios ecosistémicos fomentan la conservación de los bosques mediante réditos que permitan al dueño de la parcela obtener ganancias equivalentes a las que obtendría por la transformación agrícola o pecuaria de su propiedad

(Wunder et al. 2007). Los pagos por servicios asociados a la regulación de procesos hidrológicos y la regulación climática a través del almacenamiento y captura de carbono se han visto como una gran oportunidad para asegurar el mantenimiento de los bosques tropicales (Wunder 2007). El programa REDD (www.un-redd.org/) de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero debidos a la deforestación y la degradación de los bosques podría contribuir al mantenimiento y restauración de los bosques tropicales; sin embargo, el éxito de estos proyectos depende no sólo de aspectos ecológicos sino de una visión integral de la relación entre los dueños de las parcelas, sus necesidades y la forma en la que toman decisiones sobre el manejo de los bosques (Bullock et al. 2011).

El reto es el mantenimiento a largo plazo de una amplia gama de servicios ecosistémicos para beneficiar a múltiples grupos de interés de la sociedad. La mayoría de las intervenciones se dirigen a mantener sólo algunos de estos servicios. Por otro lado, cuando éstas se diseñan de forma aislada sin tomar en cuenta simultáneamente las intervenciones alternativas, las necesidades de los distintos grupos de interés, así como los efectos del manejo y de los factores sociales asociados, es posible que no permitan contribuir de forma exitosa a alcanzar el reto aquí planteado.

Conclusiones

Los bosques tropicales ofrecen servicios de suministro, regulación y culturales que son fundamentales para el bienestar de las sociedades que los habitan, así como de todos los habitantes del planeta. La gran extensión y biodiversidad de estos bosques contribuyen a que ofrezcan servicios críticos para la sociedad, los cuales están siendo constantemente modificados por decisiones de manejo procedentes de la dinámica de la misma. La demanda de alimentos de unos sectores pone en peligro la regulación de inundaciones y la regulación climática que benefician, respectivamente, a una gran proporción y a toda la humanidad. Las intervenciones como la restauración o los pagos financieros pueden ayudar a recuperar o mantener los servicios pero es importante considerar las limitaciones de estos acercamientos. Sin embargo, el reto de asegurar la oferta de todos los servicios críticos que estos bosques ofrecen para el beneficio de todos los actores de las sociedades en el largo plazo sigue pendiente.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a lo que aprendí durante los últimos años mediante el trabajo de campo en un bosque tropical seco y la investigación interdisciplinaria a varias escalas en colaboración con muchos estudiantes y colegas; en particular quisiera agradecer el financiamiento a los proyectos SEP-CONACYT 2010-129740, SEP-CONACYT 83441, SEP-CONACYT 50955 y CYTED No. 409RT0376. Agradezco a Luis Felipe Arreola Villa su apoyo técnico y a Mariana Martínez Balvanera por la ilustración del bosque tropical. Agradezco a DGAPA-UNAM y al G. Daily del Department of Biology, Stanford University por su apoyo durante mi estancia sabática.

Referencias

- Anderson-Teixeira, K. J., DeLucia, E. H. 2011. The greenhouse gas value of ecosystems. *Global Change Biology* 17:425-438.
- Anderson-Teixeira, K. J., Snyder, P., Twine, T., Cuadra, S., Costa, M. H., DeLucia, E. H. En prensa. Climate Regulation Services of Natural and Agricultural Ecoregions of the Americas. *Nature Climate Change* 2:177-181. Doi.:10.1038/nclimate1346.
- Arambiza, E., Painter, M. 2006. Biodiversity conservation and the quality of life of indigenous people in the Bolivian Chaco. *Human Organization* 65:20-34.
- Ash, N., Blanco, H., Brown, C., Garcia, K., Henrichs, T., Lucas, N., Raudsepp-Hearne, C., Simpson, R. D., Scholes, R., Tomich T P, Vira B, Zurek M. Eds. 2010. *Ecosystems and human well-being: a manual for assessment practitioners*

Forman, R. T. T., Vira, D., Lauen, M., Eds. 2010. *Ecosystems and human well-being: a manual for assessment practitioners*. Island Press, Washington, D.C., USA.

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M., Silva, J. N. 2005. Selective Logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310:480-482.

Balvanera, P., Kremen, C., Martínez-Ramos, M. 2005. Applying community structure analysis to ecosystem function: examples from pollination and carbon storage. *Ecological Applications* 15:360-375.

Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9:1146-1156.

Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A., Bullock, J. M. 2009. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. *Science* 325:1121-1124.

Boyd, J., Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics* 63:616-626.

Bullock, J. M., Aronson, J., Newton, A. C., Pywell, R. F., Rey-Benayas, J. M. 2011. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution* 26:541-549.

Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., Gonzalez, A. 2011. The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany* 98:572-592.

Castillo, A., García-Ruvalcaba, S., Martínez R, L. M. 2002. Environmental Education as Facilitator of the Use of Ecological Information: A case study in Mexico. *Environmental Education Research* 8:395-411.

Castillo, A., Magaña, A., Pujadas, A., Martínez, L., Godínez, C. 2005. Understanding the interaction of rural people with ecosystems: a case study in a tropical dry forest of Mexico. *Ecosystems* 8:630-643.

Castillo, M. L. 2004. La ceiba y el mundo maravilloso del chaneque. *La Ciencia y el Hombre* 3:9-12.

Clark, D. A. 2004. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 359:477-491.

Conte, M., Emmanay, D., Mendoza, G., Walter, M. T., Wolny, S., Freyberg, D., Nelson, E., Solorzano, L. 2011. Retention of nutrients and sediments by vegetation En: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (eds.). *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. pp. 89-110, Oxford University Press Inc., N.Y., USA.

Chan, K. M. A., Goldstein, J., Satterfield, T., Hannahs, N., Kikiloi, K., Naidoo, R., Vadeboncoeur, N., Woodsiede, U. 2011. Cultural services and non-use values En: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (eds.). *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. pp. 206-228, Oxford University Press Inc., N.Y., USA.

Chazdon, R. L. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320:1458-1460.

Daily, G., Ed. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, D.C., Island Press.

Dalle, S. P., de Blois, S., Caballero, J., Johns, T. 2006. Integrating analyses of local land-use regulations, cultural perceptions and land-use/land cover data for assessing the success of community-based conservation. *Forest Ecology and Management* 222:370-383.

Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F., Tilman, D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4:1300-1305.

Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., Wisniewski, J. 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263:185-190.

Durand, L. 2005. Los mitos y la conservación ambiental. *Revista Líder* 13:215-226.

Emmanay, D., Conte, M., Brooks, K., Nieber, J., Sharma, M., Wolny, S. 2011. Valuing land cover impact on storm peak mitigation En: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (eds.). *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. pp. 73-88, Oxford University Press Inc., N.Y., USA.

Filoso, S., Martinelli, L. A., Howarth, R. W., Boyer, E. W., Dentener, F. 2006. Human activities changing the nitrogen cycle in Brazil. *Biogeochemistry* 79:61-89.

Fonseca W., Navarro, G. Alice, F., Rey-Benayas, J.M. 2012. Impacto económico de los pagos por carbono y servicios ambientales en las inversiones forestales en la región Caribe de Costa Rica. *Ecosistemas* 21(1):21-35.

Geist, H. J., Lambin, E. F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience* 52:143-150.

Ghilardi, A., Guerrero, G., Masera, O. 2007. Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico

Chimera, A., Guerrero, G., Masera, O. 2007. Spatial analysis of residential biomass supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. *Biomass and Bioenergy* 31:475-491.

González, J. A. 2003. Harvesting, local trade, and conservation of parrots in the Northeastern Peruvian Amazon. *Biological Conservation* 114:437-446.

Hoffmann, W. A., Jackson, R. B. 2000. Vegetation–climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland. *Journal of Climate* 13:1593-1602.

IPCC 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC 2007. *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

IPCC 2011. *Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Jose, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1-10.

Kauffman, J. B., Hughes, R. F., Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19:1211-1222.

Legorreta, I. O. 1989. *Estudio comparativo de las plantas usadas para el tratamiento de la diabetes en algunos mercados de México*. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F., México.

Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R., Hartshorn, G. 1996. Tropical Forest Structure and Composition on a Large-Scale Altitudinal Gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology* 84:137-152.

Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., et al. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10(1):17 [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/>

Maass, J. M., Jaramillo, V., Martínez-Yrizar, A., García-Oliva, F., Pérez-Jiménez, L. A., Sarukhán, J. 2002. Aspectos funcionales del ecosistema de selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco En: Noguera, F.A. Vega, J.H. García-Aldrete, A.N., Quesada, M. (eds.). *Historia Natural de Chamela*, pp. 525-542, Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., México.

Masera, O. R., Guerrero, G., Ghilardi, A., Velásquez, A., Mas, J. F., Ordóñez, M. J., Drigo, R. 2005. *Multiscale Analysis of Fuelwood 'Hot Spots' Using The Wisdom Approach: A Case Study For Mexico*. FAO, Rome, Italy.

MEA 2003. *Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., USA.

MEA 2005. *Ecosystems and human well-being. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., USA.

Meave, J.A., Romero-Romero, M.A., Salas-Morales, S., Pérez-García, E., Gallardo-Cruz, J.A. 2012. Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas* 21(1):85-100.

Mendoza, G., Emmanay, D., Conte, M., Walter, M. T., Freyberg, D., Wolny, S., Hay, L., White, S., Nelson, E., Solorzano, L. 2011. Water supply as an ecosystem service for hydropower and irrigation. En: Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (eds.). *Natural Capital. Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*, pp. 53-72, Oxford University Press Inc., N.Y., USA.

Menkhaus, S., Lober, D. J. 1996. International Ecotourism and the Valuation of Tropical Rainforests in Costa Rica. *Journal of Environmental Management* 47: 1-10.

Morton, D. C., DeFries, R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R., Morissette, J. 2006. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:14637-14641.

Naidoo, R., Ricketts, T. H. 2006. Mapping the Economic Costs and Benefits of Conservation. *PLoS Biology* 4:e360.

Naylor, R., Steinfeld, H., Falcon, W., Galloway, J., Smil, V., Bradford, E., Alder, J., Mooney, H. 2005. Losing the links between livestock and land. *Science* 310:1621-1622.

Nepstad, D. C., Stickler, C. M., Filho, B. S., Merry, F. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363:1737-1746.

Ostrom, E., Burger, J., Field, C. B., Norgaard, R. B., Policansky, D. 1999. Revisiting the Commons: Local Lessons, Global

Challenges. *Science* 284:278-282.

Peel, M. C., McMahon, T. A., Finlayson, B. L. 2010. Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale. *Water Resources Research* 46:W09508.

Peters, C. 2011. Economic botany and management potential of seasonally dry tropical forests. En: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (eds.). *Seasonally Dry Tropical Forests*, pp. 239-257, Island Press, Washington, D.C., USA.

Peters, C., Purata, S. E., Chibnick, M., Brosi, B., López, A. M., Ambrosio, M. 2003. The life and times of *Bursera glabrifolia* (H. B. K.) Eng. in Mexico: a parable for ethnobotany. *Economic Botany* 57:432-441

Philpott, S. M., Lin, B. B., Jha, S., Brines, S. J. 2008. A multi-scale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128:12-20.

Phillips, O. L., Baker, T. R., Arroyo, L., Higuchi, N., Killeen, T. J., Laurance, W. F., Lewis, S. L., Lloyd, J., Malhi, Y., et al. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976–2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 359:381-407.

Potvin, C., Gotelli, N. J. 2008. Biodiversity enhances individual performance but does not affect survivorship in tropical trees. *Ecology Letters* 11:217-223.

Quijas, S., Schmid, B., Balvanera, P. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology* 11:582–593.

Ruiz-Jaen, M. C., Potvin, C. 2010. Tree Diversity Explains Variation in Ecosystem Function in a Neotropical Forest in Panama. *Biotropica* 42:638-646.

Steininger, M. K., Tucker, C. J., Ersts, P., Killeen, T. J., Villegas, Z., Hecht, S. B. 2001. Clearance and fragmentation of tropical deciduous forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia. *Conservation Biology* 15:856-866.

Tallis, H., Lester, S. E., Ruckelshaus, M., Plummer, M., McLeod, K., Guerry, A., Andelman, S., Caldwell, M. R., Conte, M., et al. 2011. New metrics for managing and sustaining the ocean's bounty. *Marine Policy* 36:303-306.

Tole, L. 2001. Jamaica's disappearing forests: Physical and human aspects. *Environmental Management* 28:455-467.

Toledo, V. M. 2001. *Indigenous Peoples and Biodiversity*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

Wunder, S. 2007. The Efficiency of Payments for Environmental Services in Tropical Conservation. *Conservation Biology* 21:48-58.

Wunder, S., Wertz-Kanounnikoff, S., Moreno-Sanchez, R. 2007. Pagos por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica* (número especial) 84-85: 39-52.

Zak, M. R., Cabido, M., Hodgson, J. G. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future? *Biological Conservation* 120:589-598.

Zarin, D. J., Davidson, E. A., Brondizio, E., Vieira, I. C. G., Sá, T., Feldpausch, T., Schuur, E. A. G., Mesquita, R., Moran, E., et al. 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3:365-369.