

---

# RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES TROPICALES. VEINTE AÑOS DE INVESTIGACIÓN ACADÉMICA

PAULA MELI

---

## ¿Por qué los Bosques Tropicales?

Los bosques tropicales son los más antiguos, diversos y ecológicamente complejos (Whitmore, 1997). Sostienen probablemente más de la mitad de todas las formas de vida del planeta (Myers, 1984) y brindan servicios ambientales como la captación de agua, el mantenimiento del suelo, la fijación de CO<sub>2</sub>; además de contener innumerables especies con valor real o potencial. El aumento en la atención que han recibido se ha debido principalmente a las implicaciones de la deforestación (Brown y Lugo, 1994). Ésta genera a nivel regional la pérdida del uso forestal, deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico y desestabilización de cuencas; a nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al calentamiento global (Houghton, 1991; Lugo, 1992; Whitmore y Sayer, 1992; Whitmore, 1993, 1997). Otra de sus importantes consecuencias es la reducción del hábitat y su fragmentación (Meffe y Carroll, 1994; Murcia, 1995) con la consecuente pérdida de la biodiversidad, y la eliminación de variabilidad genética, de poblaciones y hasta especies (Saunders *et al.*, 1991; Whitmore y Sayer, 1992; Brooks *et al.*, 2002). La degradación suele comenzar con la sobrexplotación, y se origina a partir de una compleja interacción de factores ecológicos y socioculturales (Bainbridge, 1990)

como el crecimiento poblacional, las necesidades alimentarias, los patrones de uso de los recursos, y los conflictos político-económicos relacionados con el manejo de estos últimos. Frente a esta situación ha surgido la idea de la restauración ecológica, como intención de la reversión de los efectos degradativos de las actividades humanas (p.e. contaminación, erosión, sobrexplotación y agotamiento de recursos).

La práctica de la restauración ecológica en bosques tropicales se inició hace varios años. Fundamentalmente se ha centrado en el análisis de la problemática de la regeneración secundaria y la reversión del proceso de degradación. Pero, ¿cuáles son los factores que limitan la regeneración y, qué resultados se han obtenido hasta ahora?

En el presente trabajo se describen los factores que limitan la restauración de bosques tropicales y se analiza el enfoque actual de la investigación académica en restauración ecológica en estos ecosistemas. Para ello se revisaron revistas científicas que incluyeran en su enfoque la investigación en restauración, ecología básica, biología de la conservación, botánica, sistemas forestales, e ingeniería ambiental (Tabla I). Los períodos de revisión fueron variables, principalmente dependiendo del acceso a las fuentes. El criterio de selección de los estudios fue su orientación a la recuperación de ecosistemas, comunidades o paisajes degradados, e incluye actividades como restauración de suelos y/o cobertura vege-

tal, aumento de la diversidad específica y el enriquecimiento ambiental. Finalmente, y en función de la revisión realizada, se describen algunos lineamientos generales para lograr la recuperación de los bosques tropicales.

## Los Factores Limitantes en la Regeneración de Bosques Tropicales

La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, 2002) define restauración ecológica como “el proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”. En este sentido, en la recuperación de un bosque deberían asistirse su regeneración y otros procesos funcionales que lo sostienen. Bradshaw (1987) ha propuesto que los principios de la restauración de ecosistemas terrestres son los mismos que los de la sucesión ecológica. Bajo este supuesto, al analizar la potencial restauración de un bosque tropical, debemos remitirnos a su dinámica intrínseca, es decir: un mosaico de parches en distinto estado de sucesión y en constante cambio. En este contexto, un sitio degradado (p.e. un campo de pastura) podría considerarse como un gran parche potencialmente recolonizable. El proceso de regeneración natural sobre sitios degradados ha sido observado, pero éste resulta mucho más lento que en claros naturales (Uhl *et al.*, 1988; Nepstad *et al.*, 1990, 1991) y no responde a la escala temporal a la que

---

**PALABRAS CLAVE / Bosque Tropical / Restauración / Sucesión Secundaria /**

Recibido: 10/06/2003. Modificado: 28/08/2003. Aceptado: 29/08/2003

Paula Meli. **Bióloga, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Alumna del programa de Maestría en Restauración Ecológica, Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección: Instituto de Ecología, UNAM. Apartado Postal 70-275, 04510, México D.F., México. e-mail: pmeli@miranda.ecologia.unam.mx**

---

suelen plantearse objetivos de restauración. Los factores que limitan el establecimiento se definen de acuerdo a su acción sobre las distintas etapas de la regeneración secundaria, y la importancia relativa de cada uno es altamente variable con el clima, el tipo de suelo, la vegetación existente, y la historia y tipo de manejo de la tierra, dando particularidad a cada sitio de estudio. No obstante, pueden identificarse una serie de factores limitantes que operan a nivel general (Figura 1).

El primer factor limitante en la regeneración secundaria es la inmigración de propágulos (Figura 1a). A medida que aumenta la distancia entre bosque y potrero, la lluvia de semillas sobre este último cambia en su cantidad y/o calidad con respecto al bosque. Con la distancia, el número total de semillas puede disminuir hasta en 90% (Aide y Cavelier, 1994; Holl, 1999; Zimmerman *et al.*, 2000) debido en general a la dispersión ineficiente por carencia de dispersores; por otra parte, la composición específica de la lluvia, de acuerdo a los síndromes de dispersión, no representa la riqueza y diversidad del bosque (Uhl, 1987; Álvarez-Buylla y Martínez-Ramos, 1990; Aide y Cavelier, 1994; Holl y Lulow, 1997; Wijdeven *et al.*, 2000; Zimmerman *et al.*, 2000; Cubiña y Aide, 2001). La lluvia de semillas, y consecuentemente el banco, suelen contener una mayor representación de especies de pastos o de aquellas cuya dispersión es del tipo anemócora, mientras que por falta de dispersores (ya que estos no ingresan ni atraviesan el campo) las especies de la selva, que suelen ser zoo-coras, se encuentran sub-representadas.

La matriz de pastos puede actuar como barrera física e impedir la incorporación de semillas al suelo. Una vez en el banco, la viabilidad y posterior germinación dependerá, por un lado, del periodo de latencia y de las condiciones edáficas, y por otro de la depredación post dispersión y el ataque de patógenos (Uhl, 1987; Nepstad *et al.*, 1990, 1991, 1996; Aide y Cavelier, 1994; Holl y Lulow, 1997; Figura 1b). Los pastos pueden favorecer la germinación al evitar la desecación: reducen la temperatura absoluta del suelo y su variación diaria (Aide y Cavelier, 1994; González Montagut, 1996; Holl, 1999; Zimmerman *et al.*, 2000). La herbivoría (Nepstad *et al.*, 1990, 1991, 1996; Holl y Quiros-Nietzen, 1999) y los pastos pueden afectar la supervivencia y crecimiento de las plántulas emergentes al competir por nutrientes (Buschbacher *et al.*, 1988; Uhl y Jordan, 1984; Uhl *et*

TABLA I  
PUBLICACIONES REVISADAS, PERÍODO DE REVISIÓN Y NÚMERO DE TRABAJOS INCLUIDOS

Revista	Período	Número de trabajos incluidos
Acta Botánica Mexicana	1990-2002	1
Agro. Ecosystems and Environment	1990-2002	1
Agroforestry Today	1990-2002	1
Ambio	1990-2002	3
Biological Conservation	1990-2000	2
Biotropica	1982-2001	7
Conservation Biology	1990-2002	1
Ecological Applications	1990-2002	2
Ecological Engineering	1995-2002	1
Ecology	1982-2002	3
Forest Ecology and Management	1995-2002	14
Interciencia	1980-2002	5
J. of Applied Ecology	1995-2000	2
J. of Ecology	1988-2002	3
J. of Forestry	1990-2002	1
J. of Vegetation Science	1990-2002	3
New Forest	1997-2003	4
Oecologia	1990-2000	1
OIKOS	1990-2002	1
Plant Ecology	1995-2002	2
Restoration Ecology	1993-2003	16
Vegetatio	1990-2000	3
Número total de trabajos revisados		77

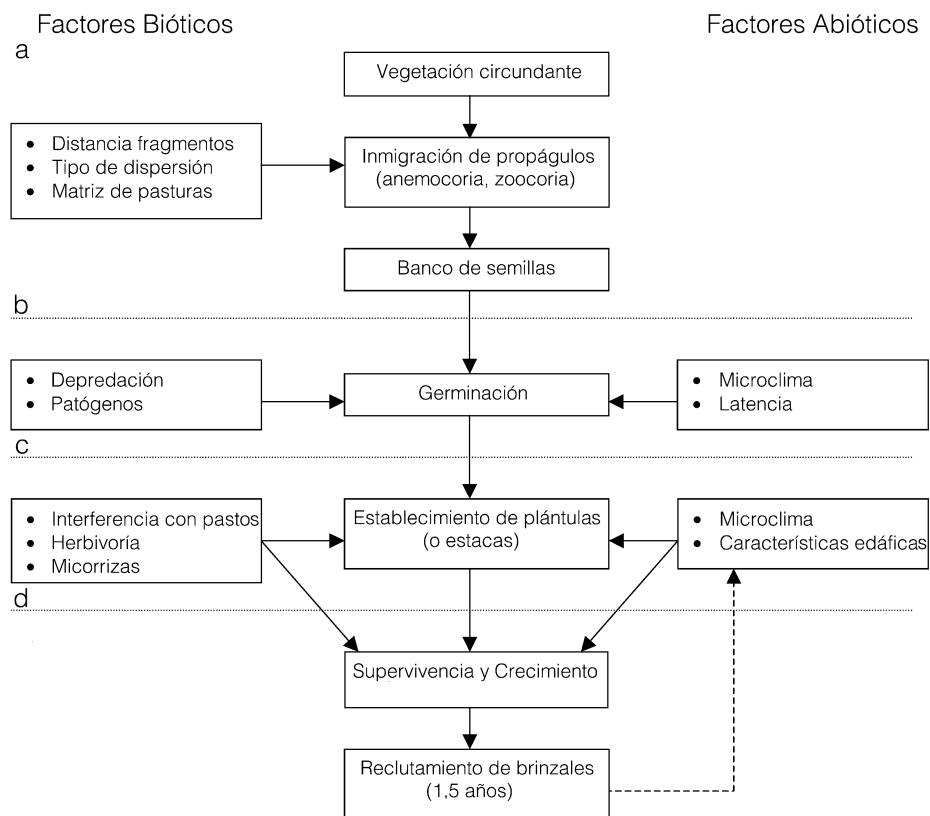


Figura 1. Factores que limitan el establecimiento de especies leñosas en pastizales o campos de pastura. Izquierda: factores bióticos. Derecha: factores abióticos.

al., 1988; Nepstad *et al.*, 1990; Reiners *et al.*, 1994; Holl, 1998, 1999), agua y/o luz (Ashton *et al.*, 1998; Figura 1c). Janos (1996) ha sugerido que la ausencia de micorrizas en el suelo puede demorar la regeneración en áreas degradadas; sin embargo, otros autores han reportado en sitios degradados niveles de infección por micorrizas comparables a los del bosque (Fischer *et al.*, 1994; Allen *et al.*, 1998). Por último, los brinzales establecidos pueden llegar a modificar las condiciones microambientales y edáficas de acuerdo a sus características ecológicas (fijar nitrógeno, generar sombra, etc.; Figura 1d).

La estrategia más efectiva de restauración debería tener en cuenta simultáneamente todos los obstáculos posibles en la regeneración secundaria (Holl *et al.*, 2000), ya que el efecto de una sola sobre un factor puede ser neutralizado por la falta de control sobre otros factores. Al mismo tiempo, las variaciones en el crecimiento de una misma especie de acuerdo al tipo de suelo, clima, grado de degradación y vegetación existente, hacen recomendable la realización de proyectos a pequeña escala (Holl *et al.*, 2000), que permitan evaluar y distribuir mejor los esfuerzos necesarios para lograr una restauración más eficiente a escalas mayores.

### El Enfoque de los Esfuerzos

Los trabajos revisados se distribuyen en 13 países y describen 25 sitios de estudio, que representan distintos tipos de vegetación. El 64% se enfoca al estudio de la selva alta perennifolia (selva húmeda); la selva alta subperennifolia representa 14%, el bosque mesófilo 13%, y los sistemas restantes menos del 7% del total (Figura 2). La atención observada en los distintos ecosistemas en la literatura no responde a su representación geográfica (Tabla II). La selva alta perennifolia se encuentra sobre-representada en un 20%, mientras existe una carencia de estudios en la selva alta subperennifolia y en la selva baja caducifolia (selva seca), cuya representación en la literatura es 1/2 y 1/4 de su representación geográfica, respectivamente. Cabe destacar el caso de la selva baja, cuya extensión es comparable a la del bosque mesófilo, pero el porcentaje de trabajos que la estudian es casi 5 veces menor. Sin embargo, la extensión geográfica de estos bosques se encuentra en constante cambio, y es difícil describir el proceso de deforestación por la inconsistencia en su definición y en los tipos de bosque que se incluye en su análisis (Maser *et al.*, 1997), lo que dificulta la

TABLA II  
ÁREA ESTIMADA\* DE BOSQUES TROPICALES EN 1990  
Y SU REPRESENTACIÓN EN LA LITERATURA REVISADA

	Todos los bosques tropicales	Selva seca	Selva perennifolia	Selva subperennifolia	Bosques mesófilos
Asia	527 (30)	155 (63)	86,6 (12)	251 (42)	35,2 (17)
Africa	311 (18)	45 (18)	178 (25)	42 (7)	46,5 (23)
América	918 (52)	48 (19)	451 (63)	298 (50)	122 (60)
TOTAL	1756	248 (14)	715 (41)	591 (34)	203 (11)
Representación en la literatura		(3)	(62)	(16)	(14)

\* Millones de hectáreas.

Los porcentajes (en paréntesis) no siempre suman 100 debido al redondeo en los números. Modificado a partir de Whitmore (1997)

comparación de las tasas de pérdida (Sayer y Whitmore, 1991) y, consecuentemente la utilización de este variable como criterio de selección de ambiente.

Por otra parte, la situación política y económica es altamente variable entre los distintos países, lo cual podría determinar la distribución regional y política de los estudios. Si bien la mayoría de los ecosistemas tropicales existen en países en desarrollo (casi la mitad de los bosques se encuentra en el neotrópico, y junto a la porción africana contienen el 70% del total; Whitmore, 1993) se detectan algunas ausencias, como la del Amazonas Boliviano-Peruano, lo que podría deberse a carencia de recursos para su estudio. Esto se evidencia con la existencia de un sesgo geográfico (Figura 3) ya que al sumar los trabajos realizados en Costa Rica (29%) y Brasil (23%) tenemos el 52%, mientras el 48%

restante se distribuye en 10% en Puerto Rico, 7% en Indonesia, 6% en Australia y Uganda, y 4% o menos para el resto (India, Colombia, Venezuela, Ecuador, Argentina, Nigeria y República Dominicana). Como se indicó, la distribución entre los países puede estar asociada con sus recursos humanos y económicos disponibles. Por ejemplo, los estudios en Costa Rica y Puerto Rico son realizados en estaciones biológicas pertenecientes o financiadas por instituciones estadounidenses, en muchos casos propietarias de los terrenos de estudio, lo que facilita la investigación. Sin embargo, esta distribución geográfica debe considerarse a la luz de la presente revisión, que no incluye la totalidad de las revistas científicas existentes ni la investigación realizada fuera de este ámbito.

En términos de la duración de los estudios, se observa una ten-

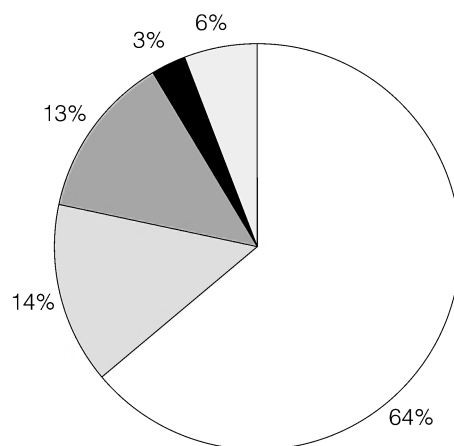


Figura 2. Distribución porcentual de los trabajos que estudian la restauración ecológica en diferentes bosques tropicales terrestres. La clasificación corresponde a Rzedowski (1987).

□: Selva Alta Perennifolia; □: Selva Alta Subperennifolia; □: Bosque Mesófilo; □: Selva Alta Caducifolia; □: Otros Tipos.

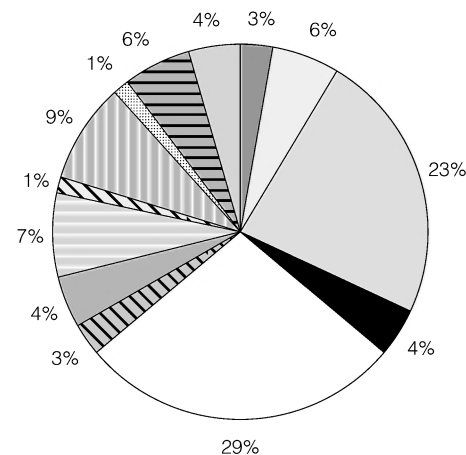


Figura 3. Países de estudio de los trabajos sobre restauración ecológica conocidos en la literatura.

■: Argentina; □: Australia; □: Brasil; ■: Colombia; □: Costa Rica; □: Ecuador; □: India; □: Indonesia; □: Nigeria; □: Puerto Rico; □: Rep. Dominicana; □: Uganda; □: Venezuela.

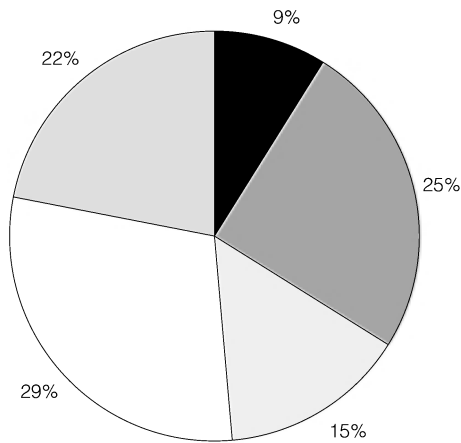


Figura 4. Duración de estudios de restauración en bosques tropicales terrestres.

■: Indefinido; ■: Puntual; □: < 1 año; □: 1-3 años; □: > 3 años.

dencia a trabajar en plazos de tiempo medianos a largos (Figura 4). Los trabajos de más de 3 años alcanzan 22% y estudian la regeneración natural o el establecimiento de nuevas especies (Uhl *et al.*, 1982; Parrotta, 1993, 1995, 1999; Lamb *et al.*, 1997; Parrotta *et al.*, 1997; Parrotta y Knowles, 1999; Montagnini, 2000; Hummell, 2000; Posada *et al.*, 2000; Carnevale y Montagnini, 2002), sea en sistemas naturales o bajo plantaciones comerciales. Los que duran entre 1 y 3 años comprenden 29% y en general se enfocan al estudio del crecimiento y supervivencia de plántulas (Montagnini, 1992; Gerhardt, 1993; Parrotta, 1993; Butterfield y Fischer, 1994; Guariguata *et al.*, 1995; Ashton *et al.*, 1997, 1998; Lamb *et al.*, 1997; Otsamo *et al.*, 1997; Viana *et al.*, 1997; Slocum, 2001; Otsamo, 2002), pero muy pocos a la competencia de éstas con pasturas o herbáceas (Holl y Quiros-Nietzen, 1997; Otsamo, 2000a; Peterson y Haines, 2000), al fenómeno de herbivoría (Nepstad *et al.*, 1996; Holl, 1998; Chapman *et al.*, 2002), o a las condiciones edáficas (Montagnini y Sancho, 1990). Los trabajos puntuales comprenden 25% y describen situaciones instantáneas; en algunos casos se compara el establecimiento bajo distintos tipos de plantación o estados de sucesión (Kuusipalo *et al.*, 1995; Chapman y Chapman, 1996; Hagggar *et al.*, 1997; Murcia, 1997; Powers *et al.*, 1997; Otsamo, 2000b; Zanne y Chapman, 2001), en otros las condiciones edáficas (Montagnini *et al.*, 1995; Rhoades *et al.*, 1998) o microambientales en las que éstas crecen (Slocum, 2000). También se observa el análisis de la estructura de los sitios de acuerdo a variables como riqueza y/o composición (Zahawi y Augspurger, 1999; Rivera *et*

*al.*, 2000; Aide *et al.*, 2000; Parrotta y Knowles, 2001); estos trabajos no manipulan el sistema de estudio, más bien suelen ser los que brindan la información de base para posteriores experimentos. Los trabajos de menos de 1 año de duración (15%) analizan la lluvia y banco de semillas (Chapman y Chapman, 1999; Slocum y Horwitz, 2000; Wijdeven *et al.*, 2000; Zimmerman *et al.*, 2000; Cubiña y Aide, 2001), la germinación (Ashton *et al.*, 1997; Ganade y Brown, 2002), la competencia (Sun *et al.*, 1995) y sólo un trabajo analiza las tres variables en este período de tiempo (Aide y Cavelier, 1994). Por último, un 9% no define claramente la duración del estudio en sus escritos, pero en algunos casos se trata de trabajos que describen varios experimentos simultáneamente, y éstos tienen diferentes extensiones de

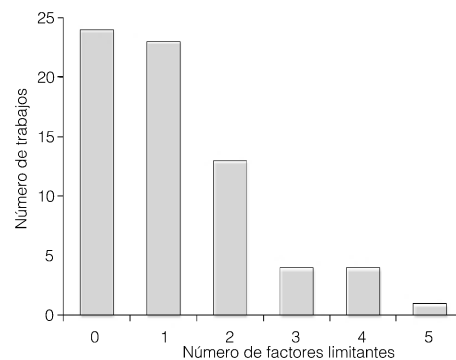


Figura 5. Distribución proporcional en función del número de factores limitantes que se han estudiado en la regeneración de bosques tropicales terrestres.

tiempo (Nepstad *et al.*, 1990, 1991; Holl *et al.*, 1999).

Existe una tendencia al estudio de pocos factores limitantes; la cantidad de trabajos decrece conforme aumenta el número de factores incluidos (Figura 5). Esto se relaciona con la duración de los estudios, ya que el análisis del proceso de restablecimiento requiere de un tiempo de seguimiento que pocos trabajos pueden completar. Los trabajos que incluyen mayor número de factores son aquellos relacionados con la supervivencia de las plántulas, y las condiciones en que crecen, sean bióticas como competencia (Aide y Cavelier, 1994; Zimmerman *et al.*, 2000) o abióticas como microclima y suelo (Nepstad *et al.*, 1996; Holl, 1999; Ganade y Brown, 2002). Destaca que 55% no estudia experimentalmente ningún factor; en algunos casos describen la estructura y composición de bosques en un estado de la regeneración natural, o bajo distintas plantaciones (especies nativas, exóticas, comerciales) en

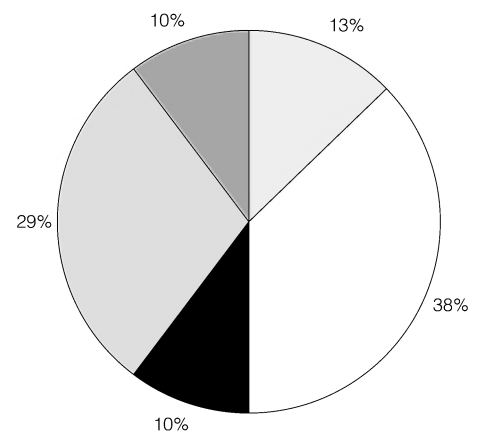


Figura 6. Porcentaje de trabajos que estudian los distintos factores que limitan la regeneración de bosques tropicales sobre terrenos degradados. Semilla: incluye el estudio de la composición y densidad del banco y la lluvia de semillas así como fenómenos de depredación postdispersión. Germinación: se refiere a estudios de capacidad de germinación de las distintas especies, tanto en campo como en laboratorio. Plántula: incluye el monitoreo de la supervivencia y crecimiento de plántulas o renovales así como fenómenos de herbivoría. Ambiente: estudio de las condiciones microclimáticas y/o edáficas en el proceso de establecimiento. Competencia: interacciones de las plántulas leñosas del bosque con la vegetación remanente (hierbas o pastos).

□: Semillas; □: Plántula; ■: Germinación; □: Ambiente; ■: Competencia.

un tiempo dado (Uhl, 1987; Parrotta, 1993, 1995, 1999; Kuusipalo *et al.*, 1995; Chapman y Chapman, 1996; Ashton *et al.*, 1997, 1998; Hagggar *et al.*, 1997; Murcia, 1997; Powers *et al.*, 1997; Otsamo, 2000a, 2000b, 2002; Posada *et al.*, 2000; Rivera *et al.*, 2000; Carl Leopold *et al.*, 2001; Zahawi y Augspurger, 1999; Zanne y Chapman, 2001; Carnevale y Montagnini, 2002). Sin embargo, su característica descriptiva no descalifica la información generada. Varios son los estudios sobre la regeneración natural posterior a disturbio o uso humano, cuya orientación no es explícitamente la restauración, pero brindan información pertinente para su desarrollo (Uhl, 1982, 1987; Uhl *et al.*, 1982). En otros casos se analiza la composición y densidad de los bancos o la lluvia de semillas (Toh *et al.*, 1999; Holl *et al.*, 2000; Slocum y Horwitz, 2000; Wijdeven *et al.*, 2000; Cubiña y Aide, 2001), o las características edáficas o microambientales de diferentes sitios (Montagnini y Sancho, 1990; Gichuru, 1994; Hagggar y Ewel, 1994; Montagnini *et al.*, 1994; 1995; Rhoades *et al.*, 1998,

Montagnini, 2001), como comparación de la situación ecológica de sitios degradados con el bosque primario, sin analizar la importancia relativa de los factores. Estos trabajos determinan asociaciones entre factores o componentes del sistema; por ejemplo, un mayor reclutamiento o germinación bajo árboles remanentes, donde la cobertura de pastos es menor, permite suponer la existencia de competencia (Peterson y Haines, 2000; Posada *et al.*, 2000; Chapman *et al.*, 2002).

Entre los trabajos que estudian los factores limitantes, en un contexto temático, 38% monitorea la supervivencia y crecimiento de plántulas, pero sólo 29% estudia el microambiente en que éstas crecen (Figura 6). El 13% estudia el banco, la lluvia o depredación de semillas, y apenas 10% estudia la competencia con la vegetación remanente, y 10% el proceso de germinación.

De los 25 sitios de estudio, sólo en 18 (72%) se brinda información sobre las características del suelo, lo que no se corresponde con el número de trabajos, siendo necesario leer más de uno para conocer las condiciones edáficas de los sitios estudiados. Ninguno de los sitios presenta suelos de alta fertilidad (Figura 7). El nivel de fertilidad es bajo a moderado en 67%, moderado en 25% y moderado a alto en apenas 8%. Esto implica que las condiciones ecológicas del suelo serían limitantes para la recolonización; sin embargo, los trabajos muestran que el estrés edáfico no suele ser el factor más importante para este proceso (Nepstad *et al.*, 1990, 1991; Holl *et al.*, 1999).

Muchos autores han destacado la importancia de la integración de la comunidad local en las actividades de recuperación o conservación de sistemas naturales (Lamb *et al.*, 1997; Viana *et al.*, 1997), así como la restauración de sistemas hacia una condición más productiva. Sin embargo, escasos estudios incluyen la aproximación social. En general proponen la evaluación de los costos y beneficios de los proyectos (Mesquita, 2000; Carnevale y Montagnini, 2002) de forma tal que a su objetivo de conservación se sumen otros, con fines productivos para la comunidad (Nepstad *et al.*, 1991; Montagnini, 1992; Gichuru, 1994). También se rescatan las ventajas del conocimiento local (Montagnini *et al.*, 1995; Rhoades *et al.*, 1998), y la participación de instituciones locales (Montagnini y Sancho, 1990; Butterfield y Fisher, 1994).

En resumen, existe una sobre-representación de la selva alta pe-rennifolia que no se relaciona con su ex-

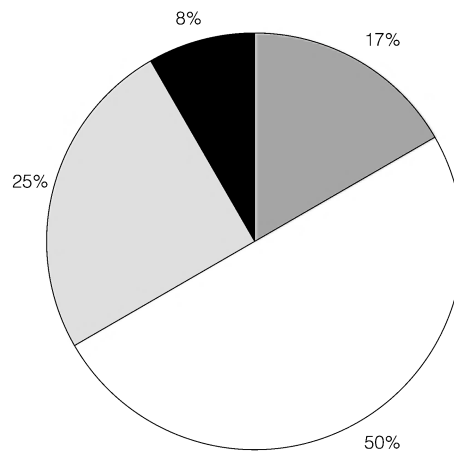


Figura 7. Distribución porcentual de los niveles de fertilidad del suelo en los distintos sitios de estudio.

■: Baja; □: Baja/Moderada; □: Moderada; ■: Moderada/Alta

tensión geográfica ni su grado de amenaza, sino que se asocia al sesgo geográfico, es decir, a cuestiones político-económicas y a la atención histórica que ha recibido frente a otros tipos de bosque. Por otra parte, los trabajos tienden a ser de plazo mediano a largo, con la ventaja de que permiten una mayor integración de resultados, y la desventaja de no ajustarse siempre a la escala temporal de las prioridades de conservación. Sin embargo, suelen enfocarse al análisis de la supervivencia y crecimiento de las plántulas y, aunque soslayan los factores limitantes iniciales (inmigración de propágulos, germinación), obtienen resultados concretos a corto plazo. El 54% de los trabajos realiza experimentos de manipulación, lo que permite establecer causalidades. El número de este tipo de trabajos ha crecido exponencialmente en los últimos años, con mayor velocidad que los del tipo descriptivo.

### Perspectivas a Futuro

El restablecimiento de bosques tropicales es factible ecológicamente ya que la recolonización natural se ha observado en varios trabajos (Uhl *et al.*, 1988; Nepstad *et al.*, 1990). Sin embargo, las necesidades ecológicas, socioeconómicas y a veces estéticas no se satisfacen en la escala temporal en la que sucede tal recolonización.

Existen distintas estrategias para superar las limitaciones en la recolonización de bosques en sitios degradados. Dada la variedad de disturbios y sitios en que ello ocurren, es necesario el desarrollo de técnicas físicas, químicas y biológicas que puedan ser utiliza-

das independiente y/o conjuntamente para alcanzar los resultados deseados a partir de diferentes condiciones iniciales, visión que es resumida por Wyant *et al.* (1995) como la generación de técnicas que favorezcan: i) la estabilidad física del sitio apropiada (flujo de nutrientes, régimen hídrico, etc.), ii) el desarrollo de suelo, y, iii) la facilitación de la invasión de vegetación nativa.

En algunos pastizales o campos ganaderos del trópico, se dejan árboles remanentes para la utilización de sombra por el ganado. En estos casos se ha propuesto su uso (Guevara *et al.*, 1992, 1994; Guevara y Laborde, 1993), ya que pueden funcionar como "facilitadores" o "catalizadores" que aceleran el proceso de regeneración (Rhoades *et al.*, 1998; Aide *et al.*, 2000; Holl *et al.*, 2000; Hummel, 2000; Otsamo, 2000a, 2000b; Zimmerman *et al.*, 2000), pueden reducir la cobertura de pastos y su competencia, afectar aspectos físicos (mayor estructura y porosidad) y químicos (retención de agua, transferencia de nutrientes y materia orgánica) del suelo y favorecer una mayor infección por micorrizas (Montagnini, 1992; Montagnini, 2000; Montagnini y Sancho, 1990; Rhoades *et al.*, 1998; Parrotta, 1999; Figura 2d). Al mismo tiempo, pueden ser capaces de modificar el microclima atenuando la insolación directa (Loik y Holl, 1999), las fluctuaciones diarias de temperatura y humedad relativa (Gómez-Pompa y Del Amo, 1985; Guevara *et al.*, 1992, 1994), además de funcionar como atractores de agentes de dispersión, como aves y mamíferos (Guevara *et al.*, 1992, 1994; Guevara y Laborde, 1993; Estrada *et al.*, 1993; Aide y Cavellier, 1994; Toh *et al.*, 1999; Slocum y Horwitz, 2000). Se ha observado que las semillas que llegan a las pasturas se concentran bajo estos árboles (Nepstad *et al.*, 1990; Guevara *et al.*, 1992, Guevara y Laborde, 1993; Martínez-Ramos y Soto-Castro, 1993; Vieira *et al.*, 1994; Wijdeven *et al.*, 2000), lo que se traduce en un aumento en la densidad, supervivencia y crecimiento de plántulas respecto a los pastos (Uhl *et al.*, 1982; Uhl, 1987; Vieira *et al.*, 1994; Holl *et al.*, 2000; Guariguata *et al.*, 1995). Como segunda alternativa, se plantea el potencial de los cultivos forestales como frentes de regeneración (Parrotta, 1992, 1995, 1999; Nepstad *et al.*, 1996; Ashton *et al.*, 1997, 1998; Murcia, 1997; Parrotta *et al.*, 1997).

En cualquiera de los dos casos, la identidad de las especies elegidas es un factor determinante sobre el ecosistema (Butterfield y Fisher, 1994; Cavellier, 1995; Montagnini *et al.*,

1995; Parrotta, 1995, 1999; Lugo, 1997; Powers *et al.*, 1997; Montagnini, 2000; Slocum, 2001), ya sea a nivel biótico (cobertura de especies competidoras) o abiótico (humedad relativa, temperatura, luz, fertilidad del suelo, etc.). La introducción deliberada de especies leñosas podría ser entonces una herramienta conveniente para favorecer la recolonización en potreros (Vieira *et al.*, 1994; Sun *et al.*, 1995; Holl *et al.*, 2000; Zimmerman *et al.*, 2000) principalmente porque éstas actuarían en la formación de microambientes adecuados física y químicamente para el establecimiento de nuevas especies (Bradshaw, 1987).

En los criterios de elección del sitio a restaurar influyen factores que tienen que ver con su posición geográfica y función ecológica (Tabla III). Las riberas, por ejemplo, pueden funcionar como corredores, así como las islas pueden actuar como posteriores fuentes de propágulos hacia otras tierras. Por otro lado, existen limitaciones debidas a los regímenes de propiedad de la tierra, los recursos económicos para solventar rentas o el capital humano, las condiciones legales o administrativas, y la disponibilidad de tiempo. En cada sistema de estudio, las condiciones ecológicas y el nivel de degradación o amenaza tienen especial influencia en la elección de la estrategia de restauración. Una especie animal de gran porte, por ejemplo, requerirá grandes extensiones de hábitat en buen estado de conservación, mientras que determinados ecosistemas acuáticos pueden sostenerse con pequeñas obras de ingeniería, como canales para regular y restablecer los flujos hídricos en un manglar. En los trópicos, la cercanía de un potrero a fragmentos remanentes de selva puede determinar su interacción con éstos, por lo que cualquier actividad que aumente la conectividad será beneficiosa.

Como se indicó, en este tipo de situaciones se ha utilizado la siembra directa de leñosas, cuya capacidad "facilitadora" dependerá de sus efectos sobre las condiciones del sitio (Kuusipalo *et al.*, 1995), de forma tal que los criterios de selección deberán definirse en función sus capacidades y de las necesidades de acuerdo al nivel de deterioro (Tabla IV). También deben tenerse en cuenta su procedencia o raza (Evans, 1999) de forma tal de utilizar la variedad genética adecuada (Harrington, 1999). En sitios con suelos muy degradados pueden sembrarse especies capaces de mejorar determinada condición, como las asociadas con organismos fijadores de nitrógeno, otras que favorecen el aumento de materia orgá-

TABLA III  
AREAS RECOMENDADAS PARA LA RESTAURACIÓN  
DE BOSQUES TROPICALES

Ubicación	Observaciones
Hábitats de especies particulares	Donde las poblaciones de particulares especies han sido reducidas o se encuentran en niveles críticos
Riberas	Frecuentemente centros de alta riqueza local de especies e hábitats importantes para la vida silvestre durante períodos de estrés (e.g. sequía, invierno)
Tierras degradadas dentro de reservas ya existentes	Para aumentar el valor de áreas de conservación existentes
Bordes de bosques remanentes	Para consolidar límites y reducir cambios adversos en el borde o dentro de fragmentos de bosque
Corredores que ligan islas remanentes de bosque	Para facilitar el movimiento de especies entre fragmentos aislados
Islas	Frecuentemente son el único lugar donde las pestes exóticas o predadores pueden ser excluidos
Dentro de la matriz general de tierra degradada entre fragmentos remanentes de bosques	Donde quiera que sea económica, social, o políticamente posible realizar la restauración

Derivado de Lamb *et al.* (1997)

nica en el suelo por su gran producción de hojarasca, o las que favorecen al aumento de la disponibilidad de cationes (Harrington, 1999). Las especies de rápido crecimiento pueden reducir la cobertura de pastos y disminuir los niveles de insolación, las zoocóricas atraen dispersores que acarrean nuevas semillas. Otros criterios de selección pueden relacionarse con la producción de, por ejemplo, frutos comestibles o alimento para animales. También deben considerarse especies que, aunque no mejoren las condiciones ecológicas, presenten características que hacen necesaria su propagación (raras, amenazadas, pobres dispersoras), o simplemente, aquellas

que estén más disponibles (Harrington, 1999).

En muchos casos puede resultar difícil establecer grandes áreas con objetivos únicos de restauración, y se plantea el uso de plantaciones forestales comerciales para alcanzar metas de conservación (Parrotta, 1992, 1993, 1995; Lugo *et al.*, 1993; Chapman y Chapman, 1996; Lamb *et al.*, 1997; Parrotta *et al.*, 1997; Parrotta and Knowles, 1999, 2001; Otsamo, 2000b, 2002) ya que cumplen con tres importantes roles: generan productos, mejoran el suelo y aceleran la sucesión secundaria del bosque (Parrotta, 1993) con el consecuente aumento de la diversidad específica. El

TABLA IV  
ESPECIES PRIORITARIAS A SEMBRAR EN PROGRAMAS  
DE RESTAURACIÓN DE BOSQUES

Tipo de especie	Observaciones
Fijadoras de nitrógeno y aquellas capaces de mejorar la fertilidad del suelo	Pueden reducir la necesidad de utilizar fertilizantes costosos
De crecimiento rápido e inhibitorias del crecimiento de hierbas o pastos	Ayudan a generar las condiciones microclimáticas apropiadas
Atractivas de frugívoros	Favorecen la dispersión de semillas al sitio
Mutualistas capaces de sostenerse en condiciones de estrés	Pueden ayudar a mantener poblaciones silvestres
Dispersadoras pobres (frutos grandes)	Pueden no ser capaces de colonizar otro sitio
Especies raras o amenazadas	Su siembra incrementará el tamaño poblacional

Derivado de Lamb *et al.* (1997)

éxito de estos proyectos parece ser dependiente de factores relacionados, en primer lugar, con la selección de especies, su densidad de plantación (Otsamo, 2002), y su disposición espacial; se plantea que la disposición agrupada es más eficiente que la disposición uniforme en la modificación del microclima y en la atracción de dispersores (Harrington, 1999). En segundo lugar, pueden ser determinantes la ubicación con respecto a fuentes de propágulos, la disponibilidad de agentes dispersores, y las aproximaciones de manejo (Parrotta, 1993). Por último, el componente social no puede ser despreciado. Es necesario considerar los beneficios biológicos potenciales de las plantaciones en conjunto con aspectos sociales, económicos y financieros.

## Conclusiones

Las tendencias observadas en las investigaciones sobre restauración de bosques tropicales son prometedoras, aún más teniendo en cuenta las limitaciones del presente estudio, que no incluyó trabajos existentes fuera de revistas científicas, como informes de gobiernos, ONG's u organizaciones privadas. La restauración no se limita al ámbito científico, y muchos de los resultados actuales se deben a proyectos que, aunque no incluyan la restauración como concepto o parte del título, tienen objetivos afines. Tal es el caso de actividades de reforestaciones o de reintroducción de especies.

En los trabajos revisados existe un sesgo hacia el estudio de la selva alta perennifolia, soslayando la importancia de otros tipos de bosque; pero esto no debe considerarse desventajoso, ya que no sólo permitirá el avance del conocimiento sobre el funcionamiento de este ecosistema, sino que parte de los resultados podría ser extrapolado a otros tipos de bosque, aunque el límite de esta extrapolación debe ser cuidadosamente establecido en cada caso.

Si bien la mitad de los trabajos se limitan a una perspectiva descriptiva, las correlaciones que se proponen pueden actuar como orientadores de experimentos posteriores, y esto es demostrado por la creciente presencia, a lo largo de los años, de trabajos experimentales donde se establecen causalidades entre factores y variables.

Se ha discutido la factibilidad de la restauración debido a varias razones. En primer lugar por la dificultad de reconstruir la enorme riqueza específica de estos bosques. En segundo lugar, no conocemos por completo la

composición específica de la comunidad, ni el tamaño relativo de sus poblaciones, ni los requerimientos de hábitat de todas las especies. Además, la complejidad de las interacciones entre éstas es tal, que puede resultar imposible predecir la evolución del sistema bajo la elección de cierto número de especies. Por último, los fragmentos remanentes de bosque frecuentemente se localizan en las zonas menos productivas, por lo cual no son representativos del tipo original. Si a todo esto se agrega la naturaleza estocástica de la sucesión de los bosques (Lamb *et al.*, 1997), ¿podemos entonces lograr su restauración ecológica? ¿Y si podemos, cómo lo hacemos?

El grado de amenaza que sufren los bosques tropicales es el resultado de la interacción de varios componentes: densidad poblacional, situación socioeconómica de la comunidad, intereses políticos nacionales e internacionales que determinan el uso y abuso de los recursos, y existencia de recursos financieros o intelectuales para proyectos de conservación. Todos estos componentes forman el complejo escenario de la restauración, la cual, para ser exitosa, deberá contener no sólo esta variedad de factores que actúan sobre los procesos de degradación y reconstrucción, sino también la diversidad de situaciones de los sistemas naturales en cuanto a sus características ecológicas, socioculturales y condición de degradación.

Por otra parte, no se puede despreciar el componente social de la restauración. La participación social es determinante, no sólo por cuestiones éticas. La restauración requiere desarrollar métodos para cuantificar los servicios que el ecosistema brinda y poder entonces demostrar el valor económico de éste, sea intacto o restaurado (Holl y Howarth, 2000). Los ecólogos dan por hecho que los beneficios ambientales de los bosques tropicales son evidentes, pero para las comunidades locales pueden no ser aparentes o ser insuficientes para superar los beneficios económicos de los sistemas productivos (Mesquita, 2000). Por ello es indispensable involucrarlas en cualquier programa (Lamb *et al.*, 1997, Viana *et al.*, 1997). El éxito dependerá de las ventajas y desventajas de la presencia del bosque (Mesquita, 2000).

Los caminos para la restauración ecológica de los bosques tropicales son diversos, y dependerán en gran parte de la situación ecológica, socioeconómica y política del sitio en cuestión. Aún hace falta estudiar los factores que limitan la regeneración de los bosques, pero las limitaciones político

administrativas suelen ser las más frecuentes y determinantes. Sin políticas públicas que apoyen una visión de conservación del ambiente que incluya la conservación y la restauración y recuperación de sitios improductivos o muy degradados, cualquier meta ecológica se verá truncada por posteriores daños o abusos en el uso de los recursos. Según Young (2000) el futuro a largo plazo de la biología de la conservación es la restauración ecológica.

## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a Vicente Arriaga por motivar este trabajo y a Rodolfo Dirzo por sus comentarios sobre versiones previas. El trabajo se realizó con el auspicio de la Red Latinoamericana de Botánica, beca RLB-03-M3, y el apoyo del Instituto de Ecología de la UNAM.

## REFERENCIAS

- Aide TM, Cavelier J (1994) Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restorat. Ecol.* 2: 219-229.
- Aide TM, Zimmerman JK, Pascarella JB, Rivera L, Marcano-Vega H (2000) Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures: implication for restoration ecology. *Restorat. Ecol.* 8: 328-338.
- Allen EB, Rincón E, Allen MF, Pérez-Jiménez A, Huante P (1998) Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 30: 261-274.
- Álvarez-Buylla ER, Martínez-Ramos M (1990) Seed bank versus seed rain in the regeneration of a tropical pine tree. *Oecologia* 84: 314-325.
- Ashton PMS, Gamage S, Gunatilleke IAUN, Gunatilleke CVS (1997) Restoration of a Sri Lankan rainforest: using Caribbean pine *Pinus caribaea* as a nurse for establishing late-successional tree species. *J. Appl. Ecol.* 34: 915-925.
- Ashton PMS, Gamage S, Gunatilleke IAUN, Gunatilleke CVS (1998) Using Carribbean pine to establish a mixed plantation: testing effects of pine canopy removal on plantings of rain forest tree species. *Forest Ecol. Manag.* 106: 211-222.
- Bainbridge DA (1990) The restoration of agricultural lands and dryland. En Berger JJ (Ed.) *Environmental restoration: Science and strategies for restoring the Earth*. Island Press. Washington, DC. EEUU. pp. 4-13.
- Bradshaw AD (1987) Restoration: an acid test for ecology. En: Jordan WR, Gilpin ME, Aber JE (Eds.) *Restoration ecology. A synthetic approach to ecological research*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra. pp. 23-29.
- Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GA, Rylands AB, Konstant WR,

- Flick P, Pilgrim J, Oldfield S, Magin G, Hilton-Taylor C (2002) Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity *Cons. Biol.* 16: 909-923.
- Brown S, Lugo AE (1994) Rehabilitation of tropical lands: A key to sustaining development. *Restorat. Ecol.* 2: 97-111.
- Buschbacher R, Uhl C, Serrão EAS (1988) Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *J. Ecol.* 76: 682-699.
- Butterfield RP, Fisher RF (1994) Untapped Potential. Native species for reforestation. *J. Forestry* 92: 37-40.
- Carl Leopold A, Andrus R, Finkeldey A, Knowles D (2001) Attempting restoration of wet tropical forests in Costa Rica. *Forest Ecol. Manag.* 142: 243-249.
- Carnevale NJ, Montagnini F (2002) Facilitating regeneration of secondary forest with use of mixed and pure plantations of indigenous tree species. *Forest Ecol. Manag.* 163: 217-227.
- Cavelier J (1995) Reforestation with the native tree *Alnus acuminata*: effects on phytodiversity and species richness in an upper montane rain forest area of Colombia. En Hamilton LS, Juvik JO, Scatena FA (Eds) *Tropical Montane Cloud Forests*. Ecological Studies. Vol. 110. Springer. Nueva York, EEUU. pp. 125-137.
- Chapman CA, Chapman LJ (1996) Exotic tree plantations and the regeneration of natural forest in Kibale National Park, Uganda. *Biol. Cons.* 76: 253-257.
- Chapman CA, Chapman LJ (1999) Forest restoration in abandoned agricultural land: a case study from East Africa. *Cons. Biol.* 13: 1301-1311.
- Chapman CA, Chapman LJ, Zanne A, Burgess MA (2002) Does weeding promote regeneration of an indigenous tree community in felled pine plantations in Uganda? *Restorat. Ecol.* 10: 408-415.
- Cubiña A, Aide TM (2001) The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. *Biotropica* 33: 260-267.
- Estrada A, Coates Estrada R, Meritt Jr. D, Montiel S and Curiel D (1993) Patterns of frugivore species richness and abundance in forest islands and agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 107/108: 245-257.
- Evans J (1999) Planted forest of the wet and dry tropics: their variety, nature, and significance. *New Forest* 17: 25-36.
- Fischer CR, Janos DP, Perry DA, Linderman RG, Sollins P (1994) Mycorrhiza inoculum potentials in tropical secondary forest succession. *Biotropica* 26: 369-377.
- Ganade G, Brown VK (2002) Succession in old pastures of Central Amazonia: role of soil fertility and plant litter. *Ecology* 83: 743-754.
- Gerhardt K (1993) Tree seedling development in a tropical dry abandoned pasture and secondary forest in Costa Rica. *J. Veget. Sci.* 4: 95-102.
- Gichuru MP (1994) Regeneration of a degraded ultisol with *Tephrosia candida* in the humid zone of southeastern Nigeria. *Interciencia* 19: 382-390.
- Gómez-Pompa A, Del Amo S (1985) *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. Vol. II. Inireb/Alhambra Mexicana. México. 421 pp.
- González-Montagut R (1996) *Establishment of three rain forest species along the riparian corridor-pasture gradient in Los Tuxtlas, Mexico*. Tesis. Harvard University. Cambridge, Mass., EEUU. 503 pp.
- Guariguata MR, Rheingans R, Montagnini F (1995) Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. *Restorat. Ecol.* 3: 252-260.
- Guevara S, Purata SE, Van der Maarel E (1992) Floristic composition and structure vegetation under isolated trees in neotropical pastures. *J. Veget. Sci.* 3: 655-664.
- Guevara S, Meave J, Moreno Cassasola P, Laborde J, Castillo S (1994) Vegetación y flora de potreros en la Sierra de Los Tuxtlas, Mx. *Acta Botánica Mexicana* 28: 1-27.
- Guevara S, Laborde J (1993) Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures consequences for local species availability. *Vegetatio* 107/108: 319-338.
- Haggard JP, Ewel JJ (1994) Experiments on the ecological basis of sustainability: early findings on nitrogen, phosphorus, and root systems. *Interciencia* 19: 347-351.
- Haggard J, Wightman K, Fisher R (1997) The potential of plantations to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. *Forest Ecol. Manag.* 99: 55-64.
- Harrington CA (1999) Forest planted ecosystem restoration or conservation. *New Forest* 17: 175-190.
- Holl KD (1998) Effects of above and below-ground competition of shrubs and grass on *Calophyllum brasiliense* (Camb.) seedling growth in abandoned tropical pasture. *Forest Ecol. Manag.* 109: 187-195.
- Holl KD (1999) Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica* 31: 229-242.
- Holl KD, Lulow ME (1997) Effects of species, habitat and distance from edge on post-dispersal seed predation in a tropical rain forest. *Biotropica* 29: 459-468.
- Holl KD, Quiros-Nietzen E (1999) The effect of rabbit herbivory on reforestation of abandoned pasture in southern Costa Rica. *Biol. Cons.* 87: 391-395.
- Holl KD, Loik ME, Lin EHV, Samuels IA (2000) Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restorat. Ecol.* 8: 339-349.
- Houghton RA (1991) Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. *Climatic Change* 19: 99-118.
- Hummel S (2000) Understorey development in young *Cordia alliodora* plantations. *New Forest* 19: 159-170.
- Janos DP (1996) Mycorrhizas, succession, and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. En Frankland JC, Magan N, Gadd GM (Eds.) *Fungi and environmental change*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra. pp. 129-162.
- Kuusipalo J, Adjers G, Jafarsidik Y, Otsamo A, Tuomela K, Vuokko R (1995) Restoration of natural vegetation in degraded *Imperara cylindrica* grasslands: understorey development in forest plantations. *J. Veget. Sci.* 6: 205-210.
- Lamb D, Parrotta J, Keenan R, Tucker N (1997) Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest lands. En Laurence WF, Bierregaard RO (Eds.) *Tropical forest remnants. Ecology, Management, and Conservation of fragmented communities*. The University of Chicago Press. EEUU. pp. 366-385.
- Loik ME, Holl KD (1999) Photosynthetic responses to light for rain forest seedlings planted to restore abandoned pasture, Costa Rica. *Restorat. Ecol.* 6: 253-261.
- Lugo A (1992) Tropical forest uses. En Downing TE, Hecht SB, Pearson HA, García Downing C (Eds.) *Development or Destruction*. Westview Press. San Francisco, EEUU. pp. 117-132.
- Lugo AE, Parrotta JA, Brown S (1993) Loss in species caused by tropical deforestation and their recovery through management. *Ambio* 22: 106-109.
- Lugo AE (1997) The apparent paradox of reestablishing richness species on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecol. Manag.* 99: 9-19.
- Martínez-Ramos M (1994) Regeneración natural y diversidad de especies arbóreas en selvas húmedas. *Bol. Soc. Botánica de México* 54: 179-224.
- Martínez-Ramos M, Soto-Castro E (1993) Seed rain and advanced regeneration in a tropical rain forest. *Vegetatio* 107-108: 299-318.
- Masera OR, Ordóñez MJ, Dirzo R (1997) Carbon emissions from Mexican forest: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Meffe GK, Carroll CR (1994) *Principles of conservation biology*. Sinauer. EEUU. pp. 237-264.
- Mesquita R (2000) Management of advanced regeneration in secondary forest of the Brazilian Amazon. *Forest Ecol. Manag.* 130: 131-140.
- Montagnini F (1992) Experiments with native trees in Costa Rica and Argentina. *Agroforestry Today*. Jul-Sep pp. 4-6.
- Montagnini F (2000) Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecol. Manag.* 134: 257-270.
- Montagnini F (2001) Strategies for the recovery of degraded ecosystems: experiences from Latin America. *Interciencia* 26: 498-503.
- Montagnini F, Sancho F (1990) Impacts of native trees on tropical soils: a study in the Atlantic Lowlands of Costa Rica. *Ambio* 19: 386-389.
- Montagnini F, Fanzeres A, Guimarães da Vinha S (1994) Studies on restoration ecology in the



- Atlantic forest region of Bahía, Brazil. *Interciencia* 19: 323-330.
- Montagnini F, Fanzeres A, Guimarães da Vinha S (1995) The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the Atlantic forest region of Bahia, Brazil. *J. Appl. Ecol.* 32: 841-856.
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 10: 58-62.
- Murcia C (1997) Evaluation of Andean alder as a catalyst for the recovery of tropical cloud forest in Colombia. *Forest Ecol. Manag.* 99: 163-170.
- Myers N (1984) *The primary source: Tropical forest and our future*. Norton. Nueva York, EEUU. 399 pp.
- Nepstad DC, Uhl C, Serrão EAS (1990) Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: a case study from Paragominas, Pará, Brazil. En Andersoni AB (Ed) *Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rain forest*. Columbia University Press. Nueva York, EEUU. pp. 215-229
- Nepstad DC, Uhl C, Serrão EAS (1991) Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio* 20: 248-255.
- Nepstad DC, Uhl C, Pereira CA, Cardoso da Silva JM (1996) A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 75: 25-39.
- Otsamo A (2002) Early effects of four fast-growing tree species and their planting density on ground vegetation in *Imperata* grasslands. *New Forest* 23: 1-17.
- Otsamo A, Göran A, Tjuk SH, Kuusipalo J, Vuokko R (1997) Evaluation of reforestation of 83 tree species planted on *Imperata cylindrica* dominated grassland. *New Forest* 14: 127-143
- Otsamo R (2000a) Early development of three planted indigenous tree species and natural understory vegetation in artificial gaps in an *Acacia mangium* stand on an *Imperata cylindrica* grassland site in South Kalimantan, Indonesia. *New Forest* 19: 51-68.
- Otsamo R (2000b) Secondary forest regeneration under fast-growing forest plantations on degraded *Imperata cylindrica* grasslands. *New Forest* 19: 69-93.
- Parrotta JA (1992) The role of plantation forest in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agroecosyst. Environ.* 41: 115-133.
- Parrotta JA (1993) Secondary forest regeneration on degraded tropical lands. The role of plantations as "foster ecosystems". En Lieth H, Lohman M (Eds.) *Restoration of Tropical Forest Ecosystems*. Kluwer. Holanda. pp. 63-73.
- Parrotta JA (1995) Influence of overstory composition on understory colonization by native species in plantations on a degraded tropical site. *J. Veget. Sci.* 6: 627-696.
- Parrotta JA (1999) Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecol. Manag.* 124: 45-77.
- Parrotta JA, Knowles OH (1999) Restoration of tropical moist forests on Bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. *Restorat. Ecol.* 7: 103-116.
- Parrotta JA, Knowles OH (2001) Restoring tropical forest on lands mined for bauxite: Examples from the Brazilian Amazon. *Ecol. Eng.* 17: 219-239.
- Parrotta JA, Turnbull JW, Jones N (1997) Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecol. Manag.* 99: 1-19.
- Peterson CJ, Haines BL (2000) Early successional patterns and potential facilitation of woody plant colonization by rotting logs in premontane Costa Rican pastures. *Restorat. Ecol.* 8: 361-369.
- Posada JM, Aide TM, Cavelier J (2000) Cattle and weedy shrubs as restoration tools of Tropical Montane Rainforest. *Restorat. Ecol.* 8: 370-379.
- Powers JS, Haggard JP, Fisher RF (1997) The effect of overstory competition on understory woody vegetation and species richness in a 7 year old plantations in Costa Rica. *Forest Ecol. Manag.* 99: 43-54.
- Reiners WA, Bouwman AF, Parsons WFJ, Keller M (1994) Tropical rain forest conversion to pasture: changes in vegetation and soil properties. *Ecol. Applicat.* 4: 363-377.
- Rhoades CC, Eckert GE, Coleman DC (1998) Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: implications for tropical montane forest restoration. *Restorat. Ecol.* 6: 262-270.
- Rivera LW, Zimmerman JK, Aide M (2000) Forest recovery in abandoned agricultural lands in a karst region of the Dominican Republic. *Plant Ecol.* 148: 115-125.
- Rzedowski J (1987) *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.
- Saunders DA, Hobbs RJ, Margules CR (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Cons. Biol.* 5: 18-32.
- Sayer JA and Whitmore TC (1991) Tropical moist forest: Destruction and species extinction. *Biol. Cons.* 55: 199-213.
- SER (2002) *The Primer on Ecological Restoration*. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. www.ser.org
- Slocum M (2000) Logs and fern patches as recruitment sites in a tropical pasture. *Restorat. Ecol.* 8: 408-413.
- Slocum M (2001) How tree species differ as recruitment foci in a tropical pasture. *Ecology* 82: 2547-2559.
- Slocum M, Horwitz C (2000) Seed arrival under different genera of trees in a neotropical pasture. *Plant Ecol.* 149: 51-62.
- Sun D, Dickinson GR, Braggs AL (1995) Direct seeding of *Albionia petriei* for gully revegetation in tropical northern Australia. *Forest Ecol. Manag.* 73: 249-257.
- Toh I, Gillespie M, Lamb D (1999) The role of isolated trees in facilitating tree seedling recruitment at a degraded sub-tropical rain-forest site. *Restorat. Ecol.* 7: 288-297.
- Uhl C (1982) Recovery following disturbances of different intensities in the Amazon rainforest of Venezuela. *Interciencia* 7: 19-24.
- Uhl C (1987) Factors controlling succession following slash-and-burn agriculture in Amazonia. *J. Ecol.* 75: 377-407.
- Uhl C (1988) Restoration of degraded lands in the Amazon Basin. En Wilson EO (Ed.) *Biodiversity*. National Academic Press. Washington DC, EEUU. pp. 326-332.
- Uhl C, Clark H, Clark K (1982) Successional patterns associated with slash-and-burn agriculture in the upper río Negro Region of the Amazon Basin. *Biotropica* 14: 249-254.
- Uhl C, Jordan CF (1984) Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. *Ecology* 65: 1476-1490.
- Uhl C, Buschbacher R, Serrão EAS (1988) Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *J. Ecol.* 76: 663-681.
- Viana VM, Tabanez AAJ, Batista JL (1997) Dynamics and Restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic Moist Forest. En Laurence W, Bierregaard RO (Eds.) *Tropical Forest Remnants*. University of Chicago Press. EEUU. pp. 364
- Vieira ICG, Uhl C, Nepstad D (1994) The role of the shrub *Cordia multispicata* Cham. as a "succession facilitator" in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia. *Vegetatio* 115: 91-99.
- Whitmore TC (1993) *An introduction to tropical rain forests*. Oxford University Press. New York, EEUU. 226 pp.
- Whitmore TC (1997) Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. En Laurence WF, Bierregaard RO (Eds.) *Tropical forest remnants. Ecology, Management, and Conservation of fragmented communities*. The University of Chicago Press. EEUU. pp. 3-12.
- Whitmore TC, Sayer JA (1992) Deforestation and species extinction in Tropical Forest. En *Tropical deforestation and species extinction*. IUCN. Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 1-14.
- Wijdeven SMJ, Kuzee ME (2000) Seed availability as a limiting factor in forest recovery processes in Costa Rica. *Restorat. Ecol.* 8: 414-424.
- Wyant JG, Meganck RA, Ham SH (1995) A planning and decision-making framework for ecological restoration. *Environ. Manag.* 19: 789-796.
- Young TP (2000) Restoration ecology and conservation biology. *Biol. Cons.* 92: 73-83.
- Zahawi RA, Augspurger CK (1999) Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador. *Biotropica* 31: 540-552.
- Zanne A, Chapman CA (2001) Expediting reforestation in tropical grasslands: distance and isolation from seed sources in plantations. *Ecol. Appl.* 11: 1610-1621.
- Zimmerman JK, Pascarella JB, Aide TM (2000) Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. *Restorat. Ecol.* 8: 350-360.