BOTÁNICA ECONÓMICA EN BOSQUES TROPICALES

Principios y métodos para su estudio y aprovechamiento

MARTIN RICKER - DOUGLAS C. DALY

DIANA

MARTIN RICKER - DOUGLAS C. DALY

BOTÁNICA ECONÓMICA EN BOSQUES TROPICALES

Principios y métodos para su estudio y aprovechamiento

EDITORIAL DIANA
MEXICO

PRIMERA EDICIÓN, MARZO DE 1998

Portada:
Diseño de portada: Carlos Valdés Q.
Fotografía del fondo: Bosque en la región de Catemaco, Veracruz, México (fotografía de Martin Ricker).
Recuadro: *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn ("mamey"). Ilustración de Tussac, M. Le Chevalier F.R., *Flore des Antilles ou Histoire Générale* III, París, 1824 (fotografía de Muriel Weinerman, Nueva York).

ISBN 968-13-2861-2

©1997, Martin Ricker (Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, 360 Prospect Street, New Haven, Connecticut 06511, EUA — Domicilio actual: Jardín Botánico del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-614, Del. Coyoacán, México D.F. 04510, México) y Douglas C. Daly (The New York Botanical Garden, 200th Street and Southern Boulevard, Bronx, New York 10458-5126, New York, EUA).

Derechos reservados © — Traducción del original en inglés: Héctor De Lille, con la colaboración del Autor. — Copyright © 1998, por Editorial Diana S.A. de C.V. — Roberto Gayol 1219, Col. Del Valle, México, D.F., C.P. 03100.

IMPRESO EN MÉXICO – PRINTED IN MEXICO

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en forma o por medio alguno electrónico o mecánico, incluido el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin permiso por escrito del Editor.

CONTENIDO

Reconocimientos 5

Prólogo, por el Dr. José Sarukhán 7

CAPÍTULO 1. **Introducción** 9
Bibliografía 12

CAPÍTULO 2. **Taxonomía de las plantas, fitogeografía y diversidad de productos** 14
2.1 Conceptos en la taxonomía de las plantas 15
2.2 Trabajo de campo y de herbario 29
2.3 Diversidad y distribución de las plantas 34
2.4 Frutos comestibles de América tropical 53
2.5 Maderas de América tropical 64
2.6 Domicilios de algunos herbarios 78
2.7 Resumen 86
Bibliografía 88

CAPÍTULO 3. **Plantas medicinales y diversidad química natural** 94
3.1 Plantas medicinales en la medicina científica 96
3.2 Plantas medicinales en sistemas regionales de cuidado para la salud 107
3.3 Usos no medicinales de compuestos fitoquímicos 114
3.4 Diversidad química en plantas: alcaloides en *Ormosia* 119
3.5 Ejemplos de plantas medicinales tropicales utilizadas en Alemania 126
3.6 Resumen 144
Bibliografía 146

CAPÍTULO 4. **Manejo del bosque tropical: aspectos biológicos** 151
4.1 Conceptos para el manejo forestal 151
4.2 Impacto del manejo de una población arbórea al paso del tiempo 162
4.3 Curvas de crecimiento de los árboles 172
4.4 Enriquecimiento del bosque natural con especies valiosas 179
4.5 Resumen 191
Bibliografía 193

CAPÍTULO 5. **Manejo del bosque tropical: aspectos económicos** 198
5.1 Precios de equilibrio en un modelo de mercado 198
5.2 Optimización del uso de la tierra 205

5.3 Optimización del ciclo de cosecha de la madera 223
5.4 Aspectos de sustentabilidad 235
5.5 Evaluación de bosques naturales 242
5.6 Aspectos económicos del enriquecimiento: ¿múltiples especies o monocultivos? 250
5.7 Valor no-comercial del bosque 253
5.8 Resumen 257
Bibliografía 260

Apéndice 263
Conversiones 263
Software empleado 263
Ejercicios para el capítulo 5 264

Índice temático 268

RECONOCIMIENTOS

Deseamos agradecer a quienes contribuyeron de manera directa en la evolución y realización de este libro. El Dr. Franz C. Czygan (Lehrstuhl für Pharmazeutische Biologie, Universität Würzburg, Alemania) y el Dr. A. Douglas Kinghorn (College of Pharmacy, University of Illinois at Chicago, Estados Unidos), revisaron el capítulo 3 sobre plantas medicinales. El Dr. Bruce C. Larson y el Dr. P. Mark S. Ashton (School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, New Haven, EUA) hicieron sugerencias al capítulo 4 sobre manejo de bosques. El Dr. Robert O. Mendelsohn y el Mtro. J. Heinrich Jessen (School of Forestry and Enviromental Studies, Yale University) aportaron comentarios al capítulo 5 referente a aspectos económicos.

Después de traducir el texto al español, varias personas lo revisaron: los capítulos 1 y 2 estuvieron a cargo del Mtro. Guillermo Ibarra-Manríquez (Instituto de Biología, UNAM, México D.F.); la maestra Abigaíl Aguilar (Herbario del Instituto Mexicano del Seguro Social) se ocupó del capítulo 3; el Dr. Miguel Martínez-Ramos (Centro de Ecología, UNAM, México D.F.) se encargó del capítulo 4 y la licenciada Lorena Chong (Compañía Bayer, México D.F.) revisó el capítulo 5.

Este libro se enriqueció en gran medida gracias a algunos de los cursos impartidos en la Universidad de Yale: "Tropical Forest Ecology" por la Dra. Florencia Montagnini; "Growth and Development of Forest Stands" por el Dr. Bruce C. Larson; "Forest Resource Management and Rural Development" organizado por el Dr. Herbert I. Winer; "Mathematical Economics" por el Dr. Herbert E. Scarf, y "Economics of Natural Resources" por el Dr. Robert O. Mendelsohn.

El apartado 4.4, la sección "Evaluación de un bosque mexicano", el apartado 5.5 y el apartado 5.6, se basan en investigaciones en proceso. El apoyo financiero para las mismas fue proporcionado generosamente por el Programa Universitario de Alimentos, bajo la dirección del Dr. Ernesto Moreno Martínez (UNAM, México D. F.), el señor Thomas Colville (New Haven, EUA), y el Tropical Resources Institute (Yale University,

New Haven, EUA). Asimismo fue invaluable la participación activa en la investigación para estos apartados por parte del Dr. Guillermo Ángeles Álvarez (Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", UNAM, Veracruz), Matthew D. Quinlan (New Haven, EUA), Miguel C. Sinta Velasco (México D.F.) y Miguel A. Sinaca Colín (Laguna Escondida, Municipio San Andrés Tuxtla, Veracruz).

Clare Billington (World Conservation Monitoring Center, Cambridge, Reino Unido) colaboró al proporcionar los mapas mostrados en las figuras en color. La cromatografía de gases y la espectrometría de masas presentadas en las figuras 3.9 y 3.10 se llevaron a cabo en el Research Resources Center (University of Illinois at Chicago, EUA) con la ayuda de Eugene F. Robbins. La Dra. Blanca A. Chong Martínez (México D.F.) cooperó en la preparación del capítulo 3.

Agradecemos al licenciado V. Manuel Fernández Fernández, de la Editorial Diana, su apoyo editorial y motivación en la realización de este libro. De manera especial agradecemos a nuestras esposas, Lorena Chong y Gloria Coruzzi, por su paciencia y apoyo.

Martin Ricker agradece particularmente a sus padres, Dra. Helly y Dr. Kenneth Ricker (Reichenberg, Alemania), por su consejo, apoyo moral y ayuda financiera brindada durante todos estos años.

MARTIN RICKER
DOUGLAS C. DALY
Noviembre de 1997

PRÓLOGO

La Botánica Económica tiene una larga historia, pero se constituye formalmente como disciplina, en el mundo occidental, a partir de la década de los años veinte. Surge de los estudios realizados por profesionistas y científicos para describir y entender el conocimiento de grupos indígenas y nativos de diversas regiones sobre el entorno natural, particularmente el referente a las plantas.

El concepto y la cobertura de esta rama de las ciencias botánicas ha cambiado intensamente a lo largo del tiempo. De ser una descripción anecdótica de diferentes temas sobre el conocimiento de las plantas, ha llegado a ser también un cuerpo de conocimientos más estructurado, de mayor profundidad en análisis, particularmente en el significado biológico de ese conocimiento nativo. Dicho significado biológico comprende desde elementos de la variabilidad genética de las plantas, análisis más detallados de las propiedades y usos de las mismas, hasta una interpretación de la percepción cosmológica de los organismos vegetales en especial, y de la naturaleza en general.

De acuerdo con los autores, el presente texto está dirigido fundamentalmente hacia estudiantes y científicos universitarios que se interesan en el tema y hacia las personas responsables del manejo de los bosques tropicales o del desarrollo de las políticas correspondientes. La cobertura del concepto de botánica económica que los autores proponen es muy amplia, en tanto que involucra cuestiones que normalmente nunca han sido consideradas como parte de la botánica económica y que tienen que ver con la ecología de los bosques tropicales o con aspectos de análisis económicos de su uso.

Al cubrir esa temática tan amplia, el libro, necesariamente por limitaciones de su extensión, tiende a proporcionar solamente una idea general de los diferentes temas involucrados, que van desde los elementales de la descripción de la taxonomía vegetal, la descripción somera de algunas de las plantas de interés económicos, particularmente, de especies maderables y comestibles, hasta una sección más detallada sobre plantas medicinales, para concluir con conceptos generales de manejo de bosques tropicales y de la economía de tales manejos.

Para el lector principiante que se introduce por primera vez en este tema general dedicado al estudio de las riquezas de las zonas tropicales del mundo, y que en este caso se concentran al neotrópico, el libro puede ser útil puesto que le proporciona una bibliografía general en cada uno de los temas antes referidos. Quien tenga interés en formarse una idea más cabal de cada uno de ellos, debe referirse a la bibliografía citada y a algunos otros libros que tratan con más profundidad la complejidad inherente a casi todos los aspectos contemplados en el libro.

Aparte de la extensa recopilación bibliográfica, los autores incluyen información obtenida por ellos mismos en sus trabajos realizados en

la Costa del Estado de Veracruz, particularmente en lo que se refiere al capítulo 4, «Manejo de Bosques Tropicales».

El libro puede ser interesante para quienes, en una primera fase introductora, desean obtener una base general de conocimiento que les permita posteriormente profundizar en cada uno de los temas.

DR. JOSÉ SARUKHÁN
Rector de la
Universidad Nacional Autónoma de México
Septiembre 1996.

Figura 1. Distribución de los bosques tropicales húmedos (verde) cerrados y bosques costeros de mangle (azul) en América central, el Caribe y Suramérica en los años ochenta. Los trópicos están entre la latitud 23.5° norte y 23.5° sur del ecuador, es decir, donde dos veces al año «cae» el Sol verticalmente sobre la Tierra. Los bosques tropicales húmedos reciben la mayor atención en este libro. Los datos de cada país sobre el área total de terreno y acerca de la cobertura del bosque tropical se pueden encontrar en World Resources Institute (1994).
Fuente: GIS/Habitats Unit, World Conservation Monitoring Center, 219 Huntingdon Road, Cambridge, CB3 ODL, Reino Unido, 1992.

Figura 2. Tipos de vegetación de México. Para mayor información véase Rzedowski (1986), Miranda y Hernández (1963) y Campbell y Hammond (1989).
Fuente: GIS/Habitats Unit, World Conservation Monitoring Center, 219 Huntingdon Road, Cambridge, CB3 ODL, Reino Unido, 1993.

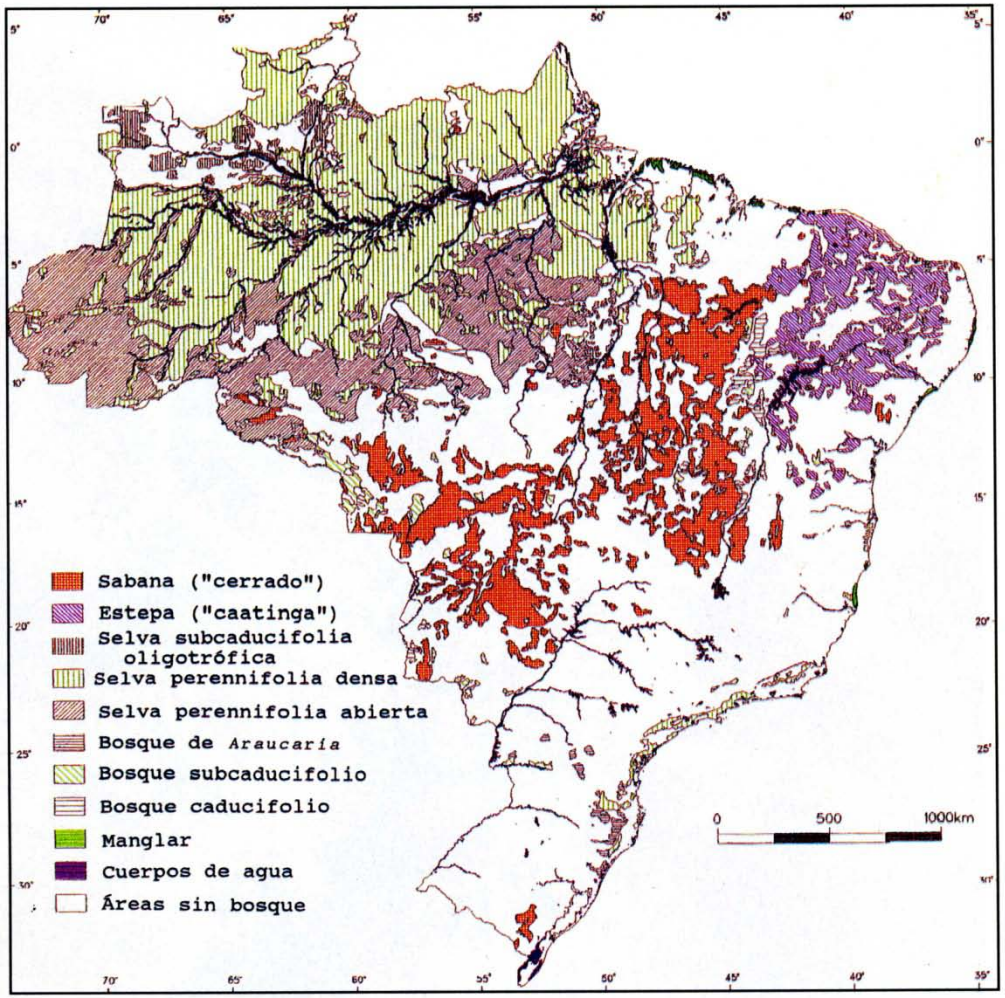


Figura 3. Tipos de bosques en Brasil. Las categorías son meramente fisonómicas. Para mayor información véase Campbell y Hammond (1989).
Fuente: GIS/Habitats Unit, World Conservation Monitoring Center, 219 Huntingdon Road, Cambridge CB3 ODL, Reino Unido, 1993.

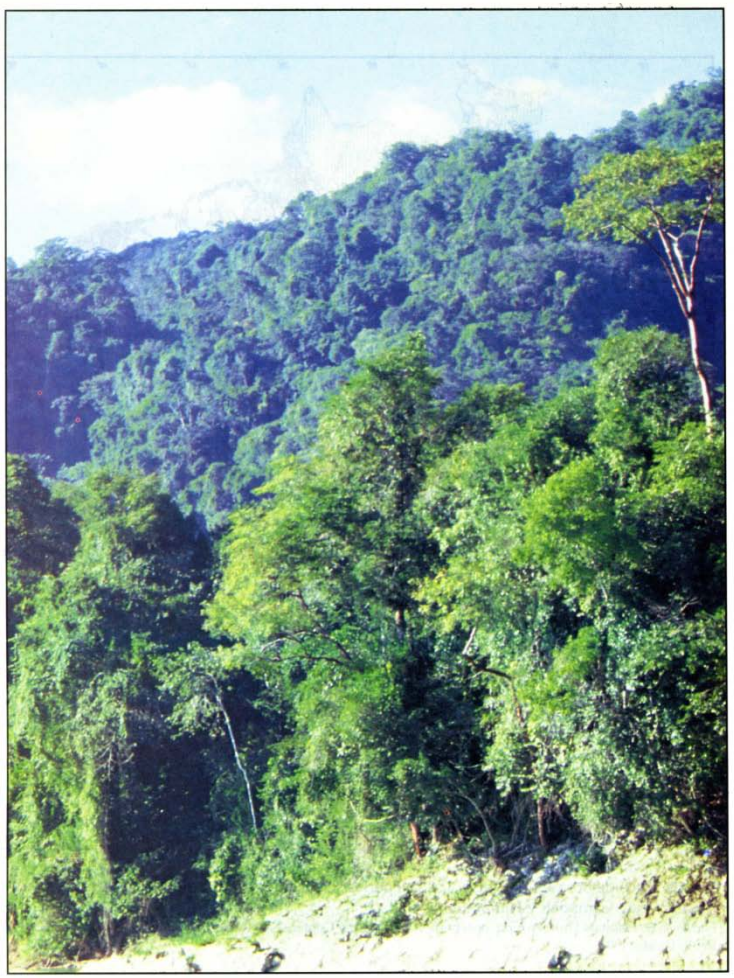


Figura 4. Selva alta *perennifolia* en estado natural en Chiapas, México, reserva de la biósfera «Montes Azules». *(Fotografía de Martín Ricker).*

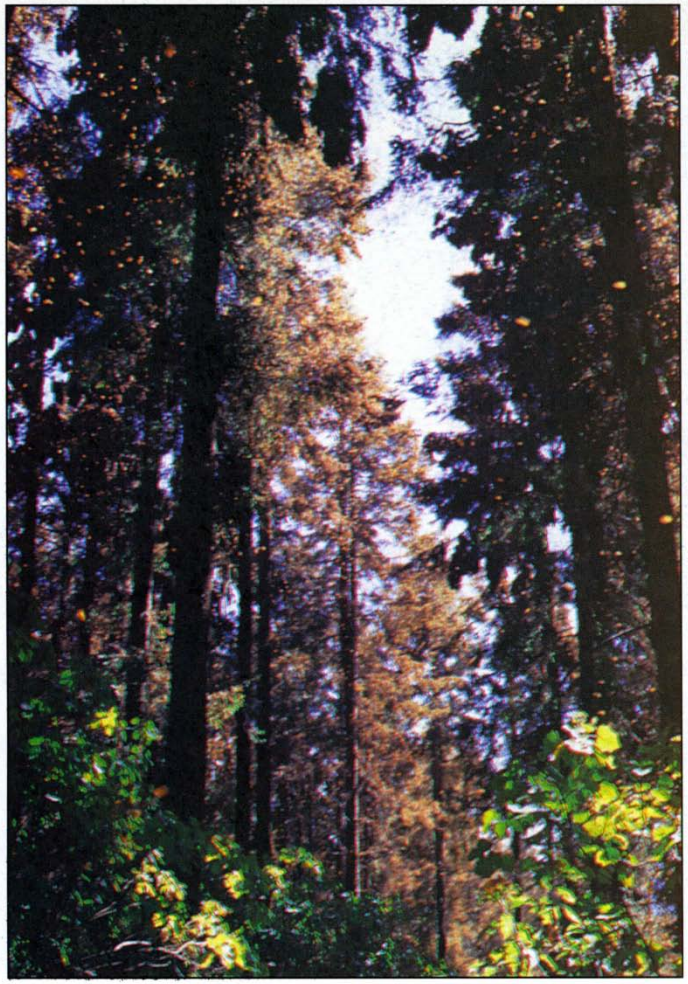


Figura 5. Bosque de «oyamel» (*Abies religiosa* Lindl., Pinaceae) en Michoacán, México, a más de 2,700 m de altura, reserva de la biósfera «Mariposa Monarca». Esta reserva tiene un alto valor no-comercial por el «ecoturismo» que a ella acude para admirar el espectáculo de los millones de mariposas monarca que, procedentes de Estados Unidos y Canadá, se reproducen en esta región. *(Fotografía de Martin Ricker).*

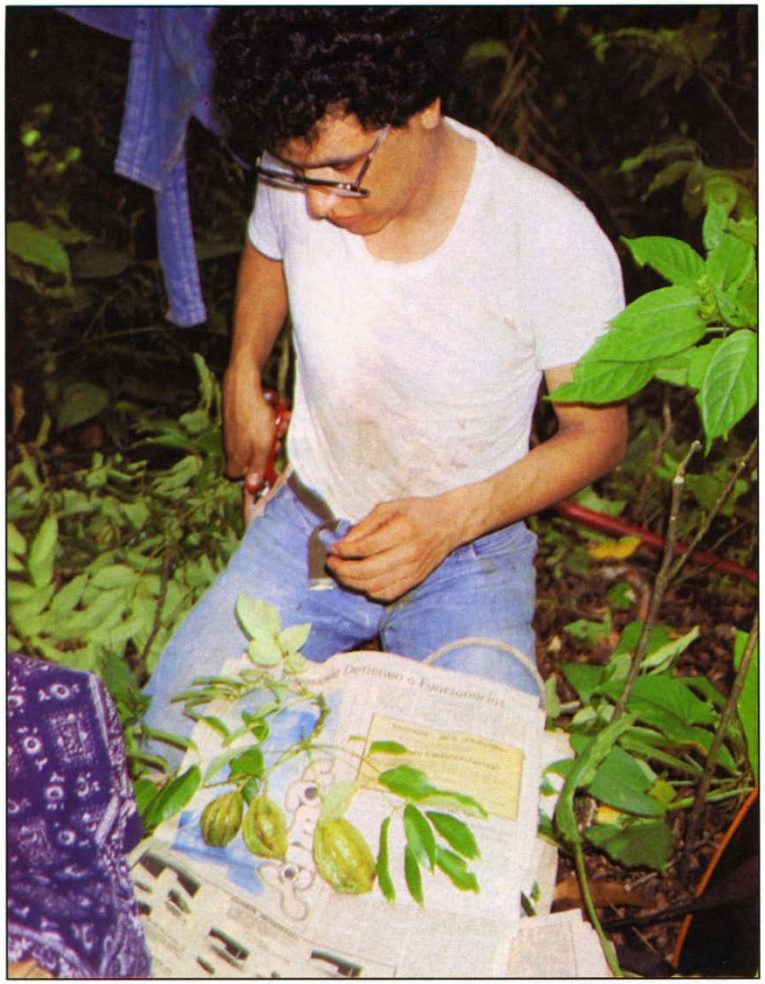


Figura 6. Manera de prensar un ejemplar de herbario de *Ormosia panamensis* Benth. («manzanillo»; Leguminosae-Papilionoideae), Veracruz, México. La preparación de ejemplares de buena calidad, proveniente de ramitas con flores y/o frutos, y su distribución a los herbarios, es esencial para la identificación de los recursos vegetales en regiones tropicales. *(Fotografía de Martin Ricker).*

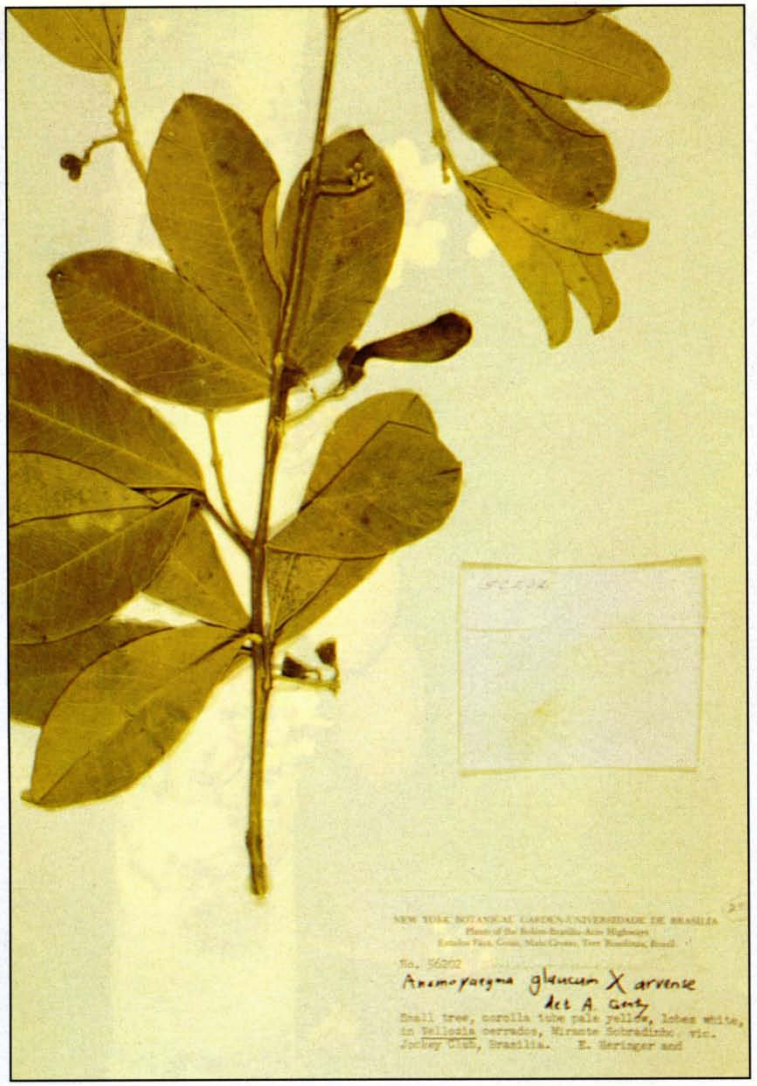


Figura 7. Ejemplar de herbario de *Anemopaegma* sp. (Bignoniaceae), colectada en la parte central de Brasil. Obsérvese el ejemplar completo, incluyendo hojas y flores completas, al igual que los frutos (inmaduros). Varias especies silvestres del género *Anemopaegma* C. Martius ex Meissner comprenden la forma más ampliamente utilizada de «catuaba», que se emplea para fabricar un tónico estimulante, sumamente popular en Brasil. *(Fotografía de Douglas C. Daly).*

Figura 8. *Grias peruviana* Miers («sacha mangua»; Lecythidaceae) con flores y frutos sobre el tronco (cauliflorías) en la región amazónica del Perú. Los frutos se venden en los mercados de Iquitos. *(Fotografía de Martin Ricker).*

Figura 9. Frutos de *Borojoa patinoi* Cuatrec. («borojoa»; Rubiaceae) para venta en el mercado en Quibdó, Chocó, Colombia (los frutos en color café, en el centro de la foto). El fruto de esta especie, la cual es endémica en la región biogeográfica del Chocó, es muy apreciado por su sabor en bebidas. La especie tambien tiene una reputación como planta medicinal. *(Fotografía de Martin Ricker).*

Figura 10. Frutos de *Spondias testudinis* Mitchell & Daly («cajá de jabuti»; Anacardiaceae) en Acre, Brasil. Aunque las personas de esta región conocen y aprecian el fruto comestible de esta especie, aparentemente no se vende en mercados regionales. Un estudio taxonómico de *Spondias* de uno de los autores (D.C. Daly) reveló en 1993 que es una especie nueva para la ciencia, pariente de las ampliamente cultivadas *S. mombin* L. y *S. dulcis* L. *(Fotografía de Douglas C. Daly).*

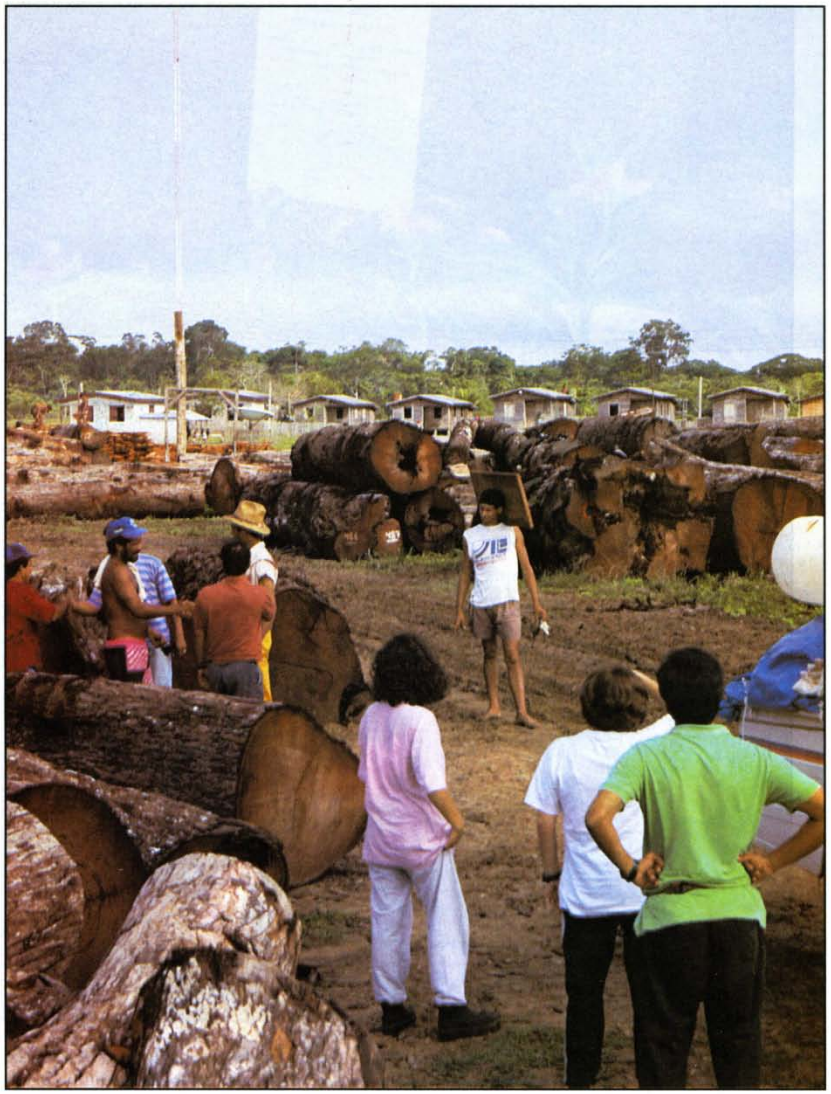


Figura 11. Troncos de *Swietenia macrophylla* King («caoba»; Meliaceae) en Acre, Brasil, preparándose para la exportación. La madera de esta especie se transporta desde Acre por río y carretera a São Paulo, una distancia de aproximadamente 1,200 kilómetros. Cabe destacar que en la actualidad ninguna otra madera en Acre tiene un valor que compense los costos de transporte a São Paulo. *(Fotografía de Douglas C. Daly).*

Figura 12. *Catharanthus roseus* (L.) G. Don f. («teresita»; Apocynaceae), plantada para una exhibición de plantas medicinales en Alemania. La especie se originó en los bosques húmedos de Madagascar, pero en la actualidad se cultiva ampliamente como planta ornamental y para la producción de medicamentos. Ésta es una de las plantas medicinales más famosas porque contiene dos compuestos, la vincristina y la vinblastina, que han demostrado ser eficaces terapéuticos para el tratamiento de la enfermedad de Hodgkins y algunos otros tipos de cáncer. *(Fotografía de Martin Ricker),*

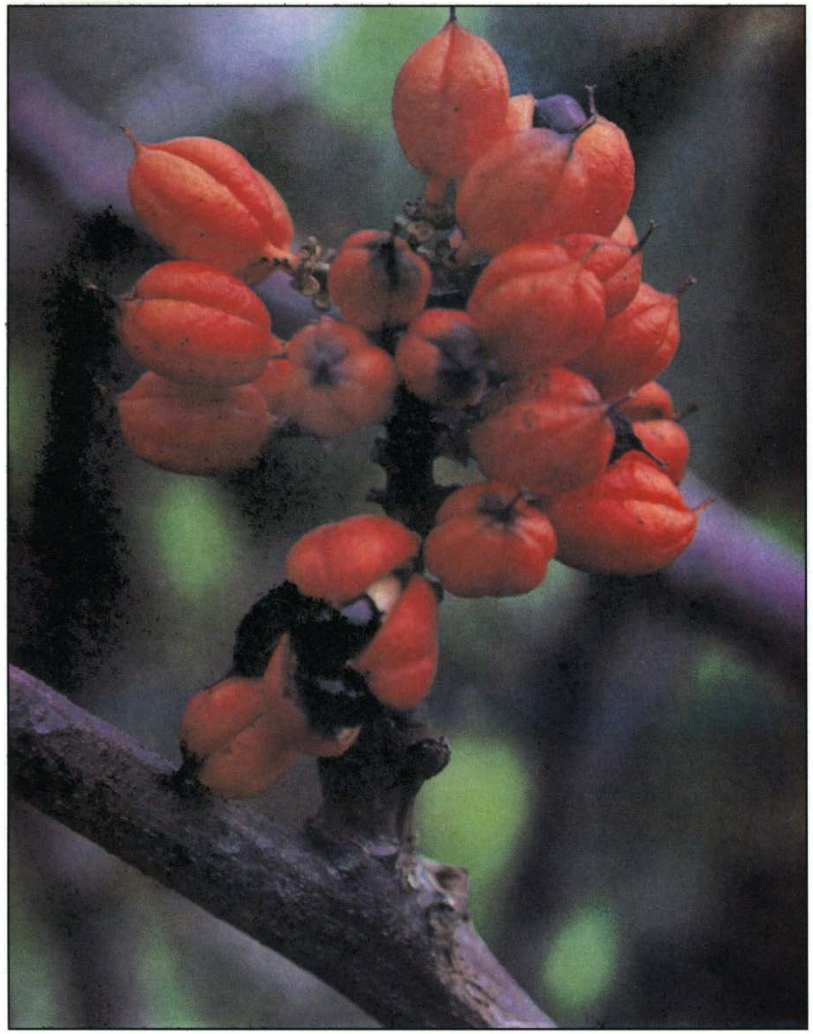


Figura 13. *Paullinia cupana* H.B.K. variedad *sorbilis* (Mart.) Ducke («guaraná»; Sapindaceae), plantada en Belém, Brasil. Esta liana amazónica se cultiva como arbusto. Se distinguen una variedad domesticada (variedad *sorbilis)* y una variedad silvestre (variedad *cupana);* la variedad silvestre es muy escasa. Las semillas, que contienen una concentración alta en cafeína, se han usado para preparar estimulantes y tónicos. Se exportan grandes cantidades de semillas en polvo, particularmente a Japón. *(Fotografía de Douglas C. Daly).*

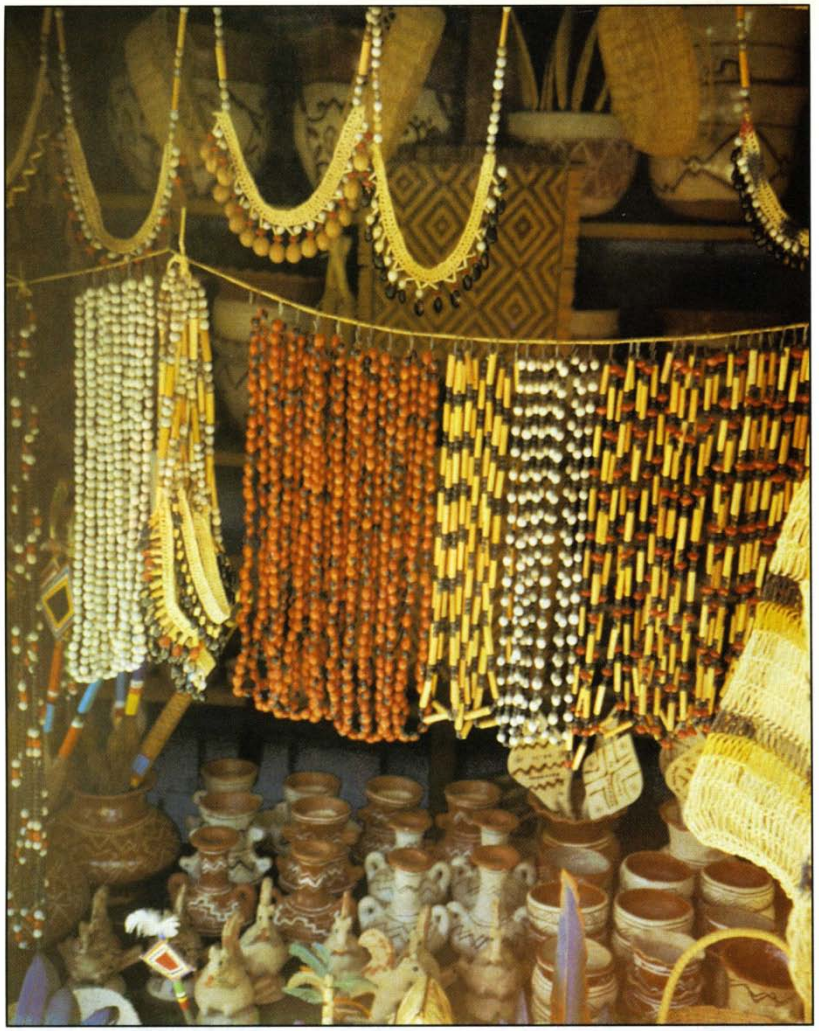


Figura 14. Collares hechos de las semillas rojas y negras de una especie de *Ormosia* Jackson («huayruro»; Leguminosae-Papilionoideae), para venta como artesanía en Iquitos, Perú. El nombre científico se deriva de la palabra griega para collar, «hormos». Las semillas y otros órganos de *Ormosia* contienen una gran diversidad de alcaloides quinolizidínicos, de los cuales varios son biológicamente activos. *(Fotografía de Martin Ricker).*

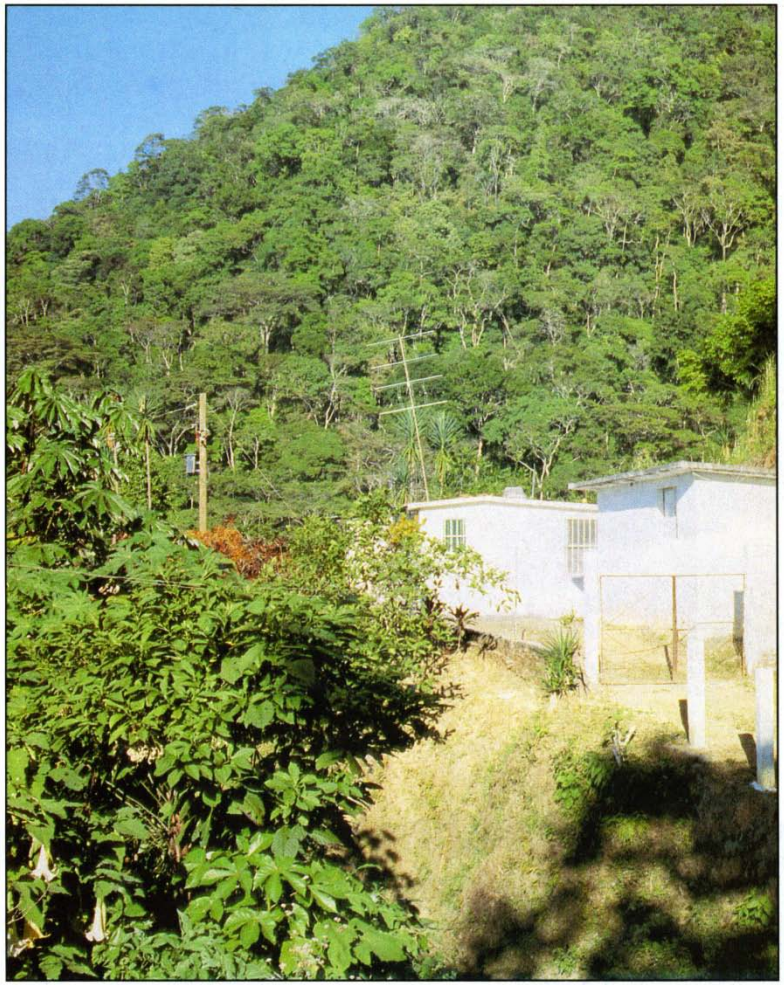


Figura 15. Sistema de árboles nodriza para el cultivo de *coffea* sp. («café»; Rubiaceae), cerca de Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. El dosel del bosque natural resguarda los arbustos de una variedad de café adaptada a la sombra del sotobosque, y protege al suelo de la erosión y de la insolación en esta región montañosa. Al mismo tiempo, este sistema de bosque es comercialmente productivo y conserva mucha de la diversidad arbórea del bosque natural, incluyendo *Ormosia oaxacana* Rudd, la cual es endémica en Oaxaca y Chiapas. *(Fotografía de Martin Ricker).*

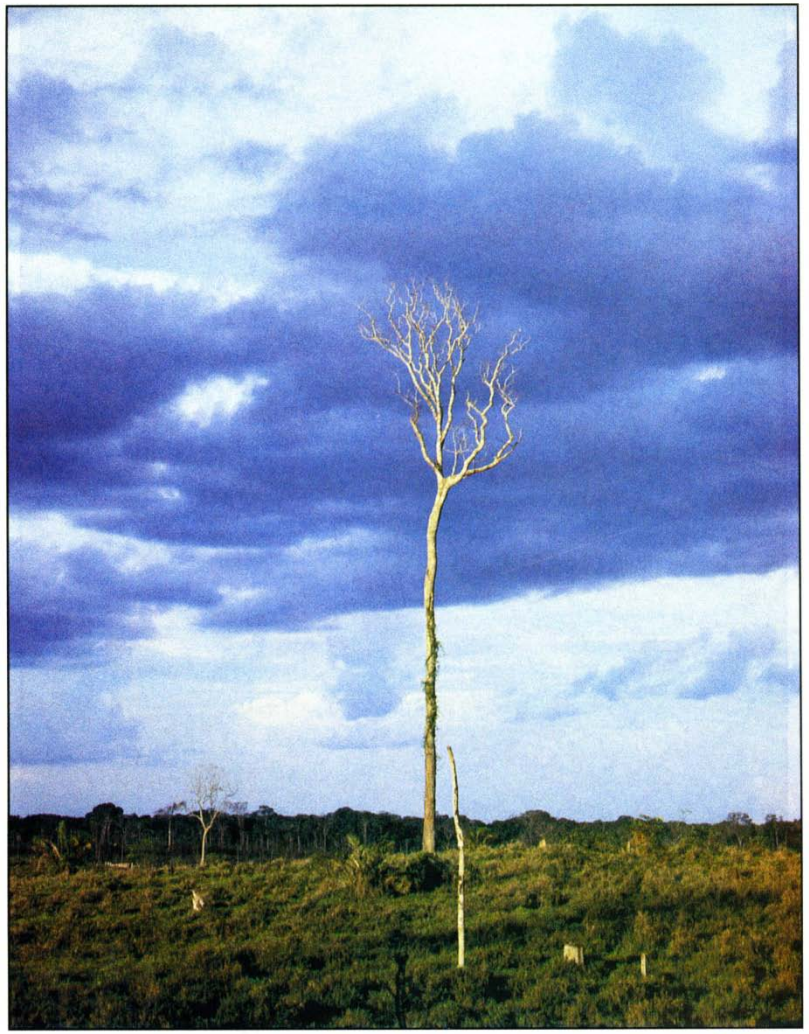


Figura 16. Individuo muerto de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. («nuez de Brasil»; Lecythidaceae) en un área convertida en pastizal para ganado en Acre, Brasil. En una gran parte de las regiones de los trópicos se exagera la conversión del bosque natural en pastizal. *(Fotografía de Douglas C. Daly).*

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Este libro está dirigido principalmente a tres tipos de público:

1) A los estudiantes y científicos en universidades, interesados en una introducción al tema.
2) A las personas que manejan bosques tropicales.
3) A las personas que laboran en dependencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales y que desarrollan, promueven o ejecutan las políticas de manejo de los bosques tropicales.[1]

La idea de escribir este texto surgió en 1989, en Iquitos (Perú amazónico), donde ambos autores nos encontrábamos impartiendo un curso sobre botánica económica para estudiantes y científicos provenientes de varios países amazónicos. Durante aquellas semanas en Perú, claramente notamos que el campo de la botánica económica es muy popular, pero al mismo tiempo pobremente definido e insatisfactoriamente desarrollado. Para fines de este libro, definimos la *botánica económica* como la ciencia de las plantas útiles, considerando aspectos de taxonomía, farmacognosia, ecología y economía. A diferencia de la botánica económica, consideramos la *etnobotánica* como la ciencia que investiga la relación entre plantas y culturas humanas.

La mayor parte de los libros sobre botánica económica son esencialmente compendios descriptivos de los nombres, usos y origen de las plantas útiles para el ser humano, y de las propiedades de sus productos. El cuadro 1.1 muestra una revisión de una parte de la literatura existente. Esta literatura sobre botánica económica sirve para un propósito importante, pero no proporciona un marco de trabajo para pensar e investigar acerca del empleo de los recursos de las plantas. Si la botánica económica pretende desarrollar sistemas de manejo de bosques adaptados a una región, debe incorporar métodos e información de diferentes disciplinas: la *taxonomía,* para identificar sin ambigüedades los recursos vegetales (incluyendo la etnobotánica, lo que permitirá conocer los usos tradicionales); la *farmacognosia,*[2] para investigar las plantas medicinales; la *ecología*

[1] En este libro, el término *bosque* se utiliza indistintamente para nombrar al "bosque" y a la "selva". En algunos casos se habla del "bosque natural" en contraposición con el "bosque cultivado". Solamente en los mapas de vegetación, en las figuras 1.4, 1.5 y 1.6, se distingue entre bosque y selva. En este caso, las *selvas* pueden definirse como comunidades arbóreas muy diversas, en las que no existe una clara dominancia de especies, y generalmente en altitudes menores de 1,000 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, los *bosques no selváticos* son comunidades arbóreas en donde es posible mencionar una o dos especies como los árboles más conspicuos, y se encuentran frecuentemente en altitudes mayores de 1,000 metros sobre el nivel del mar.

[2] El término *farmacognosia* significa literalmente "reconocer medicinas y toxinas" y se refiere al campo del estudio de las plantas medicinales y tóxicas.

CUADRO 1.1. **Revisión de la literatura sobre la botánica económica**[a]

Algunos ejemplos de libros acerca de plantas económicas son los de Bailey (1949), Hill (1952), Schery (1956), Martínez (1959), Brouk (1975), Franke (1981) y Lewington (1990). El libro de Kochhar (1981) que se centra en la botánica económica tropical, es particularmente un buen ejemplo de los textos que analizan por categoría el uso de plantas. Éste proporciona información sobre la morfología, agronomía, historia, comercio, producción y cultivos.

Algunos libros de botánica económica son similares a los libros de texto de biología de plantas. Ejemplos buenos y recientes son el de Simpson y Conner-Orgorzaly (1986) y el de Langenheim y Thimann (1982). Varios de los primeros capítulos de este último libro tratan la fisiología y el crecimiento, la morfología/anatomía y la ecología de las plantas. Posteriormente, los capítulos principales se refieren a las categorías de uso de plantas. Finalmente, el libro concluye con un estudio sobre jardines del mundo, el impacto de las plagas y enfermedades, el suministro de alimentos a nivel mundial y el uso de la tierra.

Otros libros tratan la botánica económica de un país o una región tropical. Los libros de Cárdenas (1989) y de Rizzini y Mors (1976) acerca de la botánica económica boliviana y brasileña, respectivamente, siguen el formato de la categoría de usos, mientras que la obra en seis volúmenes de Corrêa (1984) acerca de las plantas útiles de Brasil está estructurada con nombres comunes (índice cruzado con el nombre científico). El libro de Williams (1981) referente a las plantas útiles de América Central, organizado por familias de plantas, proporciona descripciones de cada especie, lugar de publicación, nombres comunes, origen, referencias bibliográficas e información general (por ejemplo, historia, dónde se venden, usos y cómo se preparan).

Existen varios libros referentes a la botánica económica amazónica. Dos son relativos a la zona amazónica de Colombia: el libro de Acero (1982) es propiamente un catálogo de nombres botánicos, nombres vulgares, localidades y tipos de usos, mientras que el bien ilustrado volumen del Proyecto Radargramétrico del Amazonas (1979) proporciona un tratamiento más completo de especies seleccionadas, incluyendo morfología, hábitat, distribución, fenología, usos y propiedades de la madera. Dos libros sobre botánica económica de la región amazónica se enfocan en Ecuador (Lescure *et al.*, 1987) y Perú (Rutter, 1990). El primero es similar en su formato al de Williams (1981) respecto a América Central. A pesar de que las descripciones de los usos son incompletas, el libro proporciona sinónimos taxonómicos, numerosos nombres indígenas y referencias de ejemplares de herbario. El catálogo de Rutter, en el cual los nombres comunes y científicos son de referencia cruzada, enfatiza las plantas medicinales.

El libro de Anderson *et al.* (1991) es notable ya que es uno de los libros de botánica económica más modernos en el que hay un enfoque interdisciplinario (taxonomía, ecología, economía) en un grupo taxonómico (varias especies en el género *Orbignya* C. Martius ex Endl., "babassu"; Palmae) dentro de una región (la región amazónica).

Dos "diccionarios" de plantas son dignos de mencionar. Para todos los géneros de plantas superiores, el de Mabberly (1989) incluye los autores de los géneros y especies vegetales citadas, la distribución geográfica básica y las especies económicas notables, así como algunos de sus nombres comunes. La obra de Uphof (1968), por su parte, incluye únicamente plantas económicas; enumera alfabéticamente los nombres científicos y numerosos nombres comunes, y nombra los productos que se obtienen de las plantas. Lamentablemente, parte de su taxonomía ya es obsoleta.

Finalmente se encuentra la notable obra *Advances in Economic Botany* en que se publican volúmenes de libros centrados en diferentes temas de botánica económica (Prance y Kallunki, 1984; Landrum, 1986; Balick,1986; Boom, 1987; Balick, 1988; Denevan y Padoch, 1988; Posey y Balée, 1989; Prance y Balick, 1990; Nepstad y Schwartzman, 1992). La revista científica más relevante es *Economic Botany* de la *Society for Economic Botany*, publicada por The New York Botanical Garden, Bronx, New York 10458, Estados Unidos.

[a] Esta revisión excluye la literatura especializada en las áreas de silvicultura, fruti/horticultura y agricultura.

para indagar posibilidades de producción vegetal de los bosques; y la *economía*, para analizar la oferta y la demanda. En este libro no nos hemos limitado a presentar una lista de plantas útiles y categorías de los distintos productos vegetales, sino que es nuestro propósito explorar y aplicar los principios fundamentales de cada una de las distintas disciplinas anteriormente mencionadas.

Muchos científicos son cuidadosos con respecto a los enfoques interdisciplinarios, porque éstos pueden resultar demasiado ambiciosos. No obstante, hemos tratado de escribir un texto interdisciplinario sin sacrificar la

profundidad académica o tergiversar conceptos. Reunir técnicas y perspectivas de diferentes disciplinas no es sólo deseable, sino inevitable en las ciencias ambientales. Los bosques tropicales albergan recursos maderables y no-maderables, proporcionan un medio de subsistencia y un paisaje para ser disfrutado por el ser humano, regulan el flujo de las aguas, almacenan carbono, contienen recursos genéticos y compuestos químicos, y son espacios vivientes para la caza y la vida salvaje. Manipular cualesquiera de estas características inevitablemente afecta a las otras. Si los científicos, los planificadores y administradores del desarrollo no consideran de manera conjunta estos aspectos económicos, ecológicos y sociales, el resultado de sus planes y proyectos será impredecible y posiblemente perjudicial.

La botánica económica estará influida por el rápido desarrollo en el área de la biotecnología. En general, a medida que las técnicas en la manipulación y el intercambio de genes se hacen más poderosas y precisas, aumenta la importancia de examinar y comprender la diversidad de las plantas. Sin embargo, la biotecnología en la silvicultura implica elevadas inversiones en unas cuantas especies arbóreas muy seleccionadas, las cuales posteriormente se cultivan en plantaciones en localidades adecuadas. En este libro no nos enfocamos en la silvicultura de monocultivos o plantaciones de pocas especies (para ello véase Evans, 1992), sino más bien a un manejo de bosques con especies mixtas en un área extensiva y de bajo costo. Es probable que este tipo de manejo sea óptimo en amplias áreas de condiciones de suelo menos competitivas y de mercados menos concentrados. En consecuencia no enfatizamos en la biotecnología.

Esperamos que el lector encuentre en esta obra un pensamiento científico claro, que cumpla con las siguientes características:

1) El pensamiento científico es objetivo, pues no considera lo que se cree, sino lo que se sabe —o lo que no se sabe y por lo tanto se debe investigar. Las exposiciones científicas que no se basan en investigación original tienen que estar respaldadas por referencias de artículos en revistas científicas o en otras fuentes respetables.
2) El pensamiento científico se inicia a partir de la evidencia empírica, es decir, de observaciones que se pueden repetir de manera independiente y que conducen a hipótesis predecibles y verificables.
3) El pensamiento científico no incluye la toma de decisiones. No hay juicios de valor en el pensamiento científico, únicamente observaciones empíricas y razonamiento causal. Los encargados de tomar decisiones dependen de los resultados de las investigaciones de los científicos. Por ejemplo, en lugar de decir que la deforestación se tiene que detener, un científico podría proporcionar la evidencia de que si este proceso continúa en un sitio particular, ciertas especies biológicas se extinguirán. La persona que toma las decisiones tiene que considerar esto. Lo anterior es también válido para la ciencia de economía, que no determina quién deberá tener la propiedad de la tierra y de los recursos o qué productos deberán ser preferidos; más bien, analiza cómo se intercambian los recursos al considerar cierta propiedad y preferencias.
4) El pensamiento y conocimiento científicos evolucionan a través de una frontera científica. Los científicos trabajan para llegar a nuevos entendimientos y visiones, avanzando en la frontera de la investigación y del conocimiento. Esto también significa que el proceso científico nunca termina.

Aunque la mayoría de los ejemplos de este libro proceden del neotrópico —muchos de investi-

gación propia— los principios y métodos son aplicables también en los trópicos en general. Esperamos que este acercamiento a la botánica económica conduzca al estudioso y al interesado en el tema a una mejor comprensión de los bosques tropicales, para que se llegue en el futuro a un manejo racional de estos fascinantes ecosistemas.

Para finalizar este primer capítulo introductorio, diremos que el pliego a color fuera de texto que insertamos quiere ser una presentación gráfica con mapas (figuras 1 a 3) y fotografías (figuras 4 a 16), que muestran algunos de los temas relevantes tratados a lo largo del libro.

BIBLIOGRAFÍA

ACERO DUARTE, L.E., *Propiedades, usos y nominación de especies vegetales de la amazonía colombiana*, Corporacion Araracuara, Departamento Administrativo de Intendencias y Comisarías, Convenio Colombo-Holandés, Bogotá, 1982.

ANDERSON, A.B., P.H. May, y M.J. BALICK, *The Subsidy from Nature - Palm Forests, Peasantry, and Development on an Amazon Frontier*, Columbia University Press, Nueva York, 1991.

BAILEY, L.H., *Manual of Cultivated Plants - Most commonly grown in the continental United States and Canada*, Macmillan Publishing Co., Nueva York, 1949.

BALICK, M.J., *Systematics and Economic Botany of the Oenocarpus-Jessenia (Palmae) complex (Advances in Economic Botany 3)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1986.

——— (ed.), *The Palm - Tree of Life: Biology, Utilization and Conservation (Advances in Economic Botany 6)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1988.

BOOM, B.M., *Ethnobotany of the Chácobo Indians, Beni, Bolivia (Advances in Economic Botany 4)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1987.

BROUK, B., *Plants Consumed by Man*, Academic Press, Londres, 1975.

CAMPBELL, D.G., y H.D. HAMMOND (ed.), *Floristic Inventory of Tropical Countries*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1989.

CÁRDENAS, M., *Manual de plantas económicas de Bolivia (Enciclopedia boliviana)*, Los Amigos del Libro, La Paz, 1989.

CORRÊA, M.P., *Dicionário das plantas úteis do Brasil* (volumes 1 to 6), Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Rio de Janeiro, 1984.

DENEVAN, W.M., y C. PADOCH (eds.), *Swidden-fallow Agroforestry in the Peruvian Amazon (Advances in Economic Botany 5)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1988.

EVANS, J., *Plantation Forestry in the Tropics*, Clarendon Press, Oxford, 1992.

FRANKE, W., *Nutzpflanzenkunde - Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1981.

HILL, A.H., *Economic Botany - A Textbook of Useful Plants and Plant Products*, McGraw-Hill, Nueva York, 1952.

KOCHHAR, S.L., *Economic Botany in the Tropics*, Macmillan India, Raj Bandhu Industrial Company, C-61 Maya Puri Phase II, Nueva Delhi, 1981.

LANDRUM, L.R., *The Life and Botanical Accomplishments of Boris Alexander Krukoff (Advances in Economic Botany 2)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1986.

LANGENHEIM, J.H., y K.V. THIMANN, *Botany - Plant Biology and its Relation to Human Affairs*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1982.

LESCURE, J.P., H. BALSLEV, y R. Alarcon, *Plantas útiles de la amazonia ecuatoriana*, ORSTOM, Paris, France, y Departamento de Biología, PUCE (Pontificia Universidad Catolica), Quito, 1987.

LEWINGTON, A., *Plants for People*, Oxford University Press, Nueva York, 1990.

MABBERLEY, D.J., *The Plant-Book — A Portable Dictionary of the Higher Plants*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

MARTÍNEZ, M., *Plantas útiles de la flora mexicana*, Ediciones Botas, México, D.F. 1959.

MIRANDA, F., y E. HERNÁNDEZ X., «Los tipos de vegetación de México y su clasificación» , *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179, 1963.

NEPSTAD, D.C., y S. SCHWARTZMAN (eds.), *Non-Timber Products from Tropical Forests — Evaluation of a Conservation and Development Strategy (Advances in Economic Botany 9)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1992.

POSEY, D.A., y W. BALÉE (eds.), *Resource Management in Amazonia: Indigenous and Folk Strategies (Advances in Economic Botany* 7), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1989.

PRANCE, G.T., y M.J. BALICK (eds.), *New Directions in the Study of Plants and Peoples: Research Contributions from the Institute of Economic Botany (Advances in Economic Botany* 8), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

————, y J.A. KALLUNKI (eds.), *Ethnobotany in the Neotropics (Advances in Economic Botany* 1), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1984.

PROYECTO RADARGRAMÉTICO DEL AMAZONAS, *Principales plantas útiles de la amazonía colombiana*, Proyecto Radargramético del Amazonas, Botogá, 1979.

RIZZINI, C.T., y W.B. MORS, *Botânica econômica brasileira*, EPU, pedagógica e universitária LTDA., 1976.

Rutter, R.A., *Catálogo de plantas útiles de la amazonía peruana*, Ministerio de Educación, Instituto Linguístico de Verano, Pucallpa, Perú, 1990.

RZEDOWSKI, J., *Vegetación de México*, Limusa, México 1986.

SCHERY, R.W., *Plants for Man*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1972. (Edición en español: *Plantas útiles al hombre*, Salvat Editores, Barcelona, 1956.)

SIMPSON, B.B., y M. CONNER-OGORZALY, *Economic Botany: Plants in our World*, McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

UPHOF, J.C. T., *Dictionary of Economic Plants*, Stechert-Hafner, Nueva York, 1968.

WILLIAMS, L.O., «The useful plants of Central America», *Ceiba* 24, 1981. [reimpreso de la revista por Escuela Agrícola Panamericana, Imprenta López, Tegucigalpa, Honduras.]

WORLD RESOURCES INSTITUTE, *World Resources 1994-95*, Oxford University Press, Nueva York, 1994.

CAPÍTULO 2

TAXONOMÍA DE LAS PLANTAS, FITOGEOGRAFÍA Y DIVERSIDAD DE PRODUCTOS

Un aspecto fundamental en botánica económica y conservación de la diversidad biólogica es la capacidad de nombrar plantas con precisión y sin ambigüedad. Por lo tanto, es necesario contar con un sistema que permita dividir y clasificar la diversidad de las plantas, lo que puede dar mayor confiabilidad en la selección de recursos vegetales con valor económico y preservar una proporción significativa de la diversidad que representan.

Cada grupo de organismos relacionados taxonómicamente se denomina un taxón (de la palabra griega *taxis*, que significa "arreglo"). Los taxónomos, también llamados sistemáticos, son los científicos que identifican los organismos y los clasifican en grupos, de acuerdo con sus semejanzas y diferencias. No obstante, la tarea de los taxónomos como científicos no se restringe sólo a dar nombres a los organismos. Sus investigaciones tienen como objetivo ordenar la diversidad de organismos, de manera que el agrupamiento refleje las relaciones evolutivas entre estos mismos. Esto último resulta de particular interés para la botánica económica, dado que las especies estrechamente relacionadas presentan una gran cantidad de características similares,[1] las cuales pueden incluir su madera, frutos y química.

Además, los taxónomos estudian también la distribución geográfica actual de las especies y los grupos vegetales, sus patrones de migración y los eventos históricos (geológicos) que han llevado a esta distribución. Estos estudios forman parte del campo de la biogeografía (véase Brown, 1983), o más explícitamente, del campo de la geografía de plantas o *fitogeografía*. El conocimiento de la fitogeografía de un grupo vegetal puede ayudar a predecir las regiones donde la existencia de una cierta especie o de sus parientes cercanos es probable.

Los taxónomos recolectan ramitas con flores y/o frutos,[2] las secan y las fijan sobre una cartulina. A la colección preparada de esta manera se le denomina *ejemplar de herbario* o

[1] Distinguimos entre caracteres y características: un *carácter* es una parte o aspecto de la planta (como el número de los pétalos de la flor), y sus variaciones son diferentes *características* o *estados del carácter* (por ejemplo, 4 o 5 pétalos).

[2] En botánica, un fruto no es necesariamente dulce y carnoso. Más bien, el *fruto* es la estructura de cualquier planta con flores la cual contiene las semillas; por lo tanto, estructuras tan distintas como los "jitomates" (*Lycopersicon* spp., Solanaceae), los "chiles" (*Capsicum annuum* L. variedad *longum* (DC.) Sendtner y *C. frutescens* L., Solanaceae), y las bellotas de los "robles" (*Quercus* spp., Fagaceae) son botánicamente frutos. Por otro lado, aunque los conos o "piñas" de los "pinos" (*Pinus* spp., Pinaceae) contienen semillas, estas estructuras no se califican como frutos a causa de que los conos de las gimnospermas no se desarrollan del ovario de una flor. Como su nombre lo indica, las gimnospermas son literalmente plantas con "semillas desnudas".

solamente *ejemplar*; también se le llama *muestra* o *espécimen* (véase la figura 1.9). Las instituciones o los lugares donde se archivan los ejemplares y donde los taxónomos trabajan, se llaman *herbarios*. Una presentación ilustrada de la historia, el funcionamiento y las contribuciones de un herbario ha sido publicada, por ejemplo, para el Herbario Nacional de México (MEXU) por Dávila *et al.* (1991). En el apartado 2.2 proporcionamos una breve reseña sobre cómo se recolectan y preparan los ejemplares de un herbario. Este tipo dc investigación requiere de poco equipo y es relativamente barata. En consecuencia, aun en regiones pobres de los trópicos, este trabajo básico de la botánica económica se puede llevar a cabo.

En la botánica económica los frutos comestibles y las maderas se recuerdan como productos típicos. En los apartados 2.4 y 2.5 proporcionamos ejemplos de especies de frutos comestibles y de maderas provenientes de América tropical. Existen otros tipos importantes de productos y algunos de ellos son tratados posteriormente en el libro. El capítulo 3 se refiere a los compuestos químicos y medicinales de plantas tropicales, y el apartado 5.7 analiza los valores no-comerciales de bosques, como su estética o su biodiversidad, los cuales son crecientemente reconocidos.

2.1 CONCEPTOS EN LA TAXONOMÍA DE LAS PLANTAS

Sin duda alguna, una mejor comprensión de los principios taxonómicos y de la investigación taxonómica, como los métodos para distinguir especies y la diversidad genética en poblaciones de una especie, puede ayudar a los administradores y técnicos forestales a tomar decisiones más sensatas. Si un taxónomo investiga una población de árboles y decide que el grupo es lo suficientemente diferente para ubicarlo como una especie distinta y darle un nombre particular, se deberá hacer un mayor esfuerzo para conservarlo. Por el contrario, si la población es considerada como parte de una especie ampliamente distribuida y abundante, es poco probable que reciba una atención especial (May, 1990). En consecuencia, el nombre taxonómico puede determinar la atención dedicada a una población animal o vegetal, y hasta su destino.

EL CONCEPTO DE "ESPECIE"

La especie se emplea como la unidad principal para ordenar la diversidad. Cabe destacar que la especie no es simplemente una invención de la ciencia moderna sino que es un concepto que existe prácticamente dentro de las tradiciones de las sociedades humanas (véase Balée y Daly, 1990; Berlin, 1976). De todas maneras, la definición del término "especie" es controvertido dentro de la biología. Una de las definiciones más aceptadas es el *concepto de la especie biológica*, el cual puede ser definido como "grupos de poblaciones que son real o potencialmente interfértiles, y las cuales están aisladas reproductivamente de otros grupos similare" (según Mayr, 1942; véase Futuyma, 1986). Una *población* está conformada por un grupo de individuos que con frecuencia intercambian material genético. En sentido riguroso, entre especies no hay intercambio genético, dado que los individuos de una especie no se pueden cruzar con individuos de otra especie.

El concepto de la especie biológica es difícil de aplicar para fines prácticos de clasificación, por dos razones principales:

1) Es difícil determinar el potencial de hibridación de pares de individuos, especialmente de organismos de larga vida, como los grandes árboles que no se reproducen sino después de varios años de que han emergido de la semilla. En consecuencia, no es práctico utilizar la hibridación para delimitar una

población y mucho menos una especie biológica.

2) En algunos casos, tiene sentido distinguir especies aun cuando éstas son genéticamente capaces de cruzarse. Dos poblaciones pueden divergir genética y morfológicamente al paso del tiempo, sobre todo si están separadas por alguna barrera geográfica como un río, una montaña o un tipo de vegetación interpuesta. Sin embargo, debe mencionarse que las barreras biológicas para el cruzamiento pueden tardar en desarrollarse, aun cuando las poblaciones sean muy distintas morfológicamente. Por ejemplo, las tres especies maderables de "caoba", *Swietenia macrophylla*, *S. humilis* Zucc., y *S. mahagoni* (L.) Jacq. (Meliaceae) se presentan en diferentes hábitats (véase el apartado 2.5 [#52]) y son distintas desde el punto de vista morfológico, pero cuando son unidas son capaces de hibridizarse. *S. macrophylla* x *S. humilis* ocurre naturalmente en Costa Rica, y *S. aubrevilleana* Stehlé & Cusin parece ser un híbrido entre *S. macrophylla* y *S. mahagoni*, con buena calidad maderera (Pennington *et al.*, 1981). También puede ser posible cruzar artificialmente organismos que son únicamente parientes lejanos, como muchos géneros de orquídeas (familia Orchidaceae; véase Arditti, 1992; Northen, 1990).

Como consecuencia de estos dos problemas inherentes al concepto de la especie biológica, en la mayoría de las circunstancias los taxónomos emplean el *concepto de la especie morfológica* en donde el criterio fundamental para separar las especies es por medio de la similitud y diferenciación morfológica.[3] En lo que respecta a las plantas, los taxónomos desde Linnaeus han destacado la importancia de los órganos reproductores sexuales para la determinación de los grupos taxonómicos. En las angiospermas —las plantas con flores— dichos órganos son las flores y los frutos. El taxónomo identifica un ejemplar o una recolección de ejemplares como cierta especie, al determinar que dicho ejemplar posee los características clave para definirla. Por ejemplo, la "nuez de Brasil" (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) tiene un fruto típico de la familia Lecythidaceae, porque es globoso y al madurar cae intacto al piso; después su opérculo se abre para adentro, destapando las semillas largas que tienen un grueso recubrimiento. Para otros ejemplos véanse las figuras 2.1 y 2.2.

Es importante considerar que la evolución y la especiación son procesos dinámicos continuos, y que las poblaciones que están evolutivamente separándose pueden presentar diferentes grados de divergencia morfológica y genética dependiendo del tiempo que hayan estado separados, de las presiones específicas de selección[4] y de la capacidad genética de los organismos para adaptarse a estas presiones de selección. Como consecuencia, cualquier concepto de la especie es de alguna manera artificial ya que implica siempre una distinción discreta, aunque mucha de la diversidad biológica se presenta continuamente. No obstante, aunque la población es la unidad evolutiva, para fines prácticos es la especie morfológica la que se utiliza como unidad de diversidad biológica.

---

[3] *Morfo* significa literalmente "forma"; las características morfológicas son todas las características visibles de los organismos, por ejemplo, la forma y color de la flor, el número de los estambres y la textura de la corteza.

[4] Según los famosos conceptos de Darwin sobre la evolución, los organismos varían siempre en sus características, y en un ambiente determinado se seleccionan individuos con características genéticas que contribuyen a una mayor capacidad reproductiva. Los aspectos y las fuerzas del ambiente que causan la selección, se denominan como una *presión de la selección* (véase Futuyma, 1986).

PRINCIPIOS DE TAXONOMÍA

El eminente botánico sueco Carolus Linnaeus[5] (1707-1778) introdujo los estándares para indicar la identidad única de un organismo con un nombre científico, el cual comprende dos componentes: primero el género (que empieza con una letra mayúscula) y segundo, la especie. El nombre científico se deriva del latín, la lengua internacional de la nomenclatura taxonómica. La primera vez que se menciona una especie en un manuscrito, después del nombre de la especie se indica el nombre completo o abreviado del autor que nombró a la especie y la descripción de esta última.[6] Por ejemplo, el nombre científico del "aguacate" es *Persea americana* Mill. (Lauraceae), y el nombre científico del ser humano es *Homo sapiens* L. La "L." es la abreviatura de Linnaeus. Mientras que los nombres comunes para una misma planta pueden cambiar de un lugar a otro, hay únicamente un nombre científico para una especie en todo el mundo.[7]

El sistema de clasificación de las plantas tiene una estructura jerárquica. El cuadro 2.1 presenta esta jerarquía taxonómica. Obsérvese que mientras una familia puede tener varios géneros, un género nunca puede estar en varias familias. Si se habla de una especie, todos los niveles superiores de clasificación al cual pertenece ésta (por ejemplo, la familia), se encuentran asociados a ella. Para fines prácticos, dado que muchos géneros son sólo conocidos por especialistas, se recomienda mencionar entre paréntesis la familia a la cual pertenece la especie.

CUADRO 2.1. La jerarquía taxonómica

Ormosia macrocalyx: género y especie.

Sophoreae: tribu, comprende varios géneros (definido únicamente en familias muy diversificadas).

Fabaceae[a] = **Leguminosae:** familia; la terminación «aceae» es típica para familias; en ocasiones algunos taxónomos usan la categoría de subfamilia, por ejemplo, Leguminosae-Papilionoideae.

Fabales: orden, comprende varias familias.

Rosidae: superorden, comprende varios órdenes.

Dicotyledonae: clase, comprende varios superórdenes.

Angiospermae: división, comprende las Dicotyledonae y las Monocotyledonae, es decir, todos las plantas con flores; las semillas se encuentran en un integumento.

Espermatofitas:[b] plantas con semillas; comprende las Angiospermae y las Gymnospermae espermatofitas; en las últimas las semillas están "desnudas".

Plantas vasculares: comprende las espermatofitas y las pteridofitas, es decir los helechos; las plantas contienen un sistema especializado para la conducción de fluidos.

Plantas: reino; comprende plantas vasculares y plantas no vasculares como musgos y algas; los hongos con frecuencia están separados del reino vegetal, dado que no fotosintetizan; los animales, por otro lado, se caracterizan por su sistema digestivo.

[a] La taxonomía en esta gran familia no está utilizada de manera consistente. En este trabajo Leguminosae se considera formada por tres subfamilias (Caesalpinioideae, Mimosoideae y Papilionoideae) según Polhill y Raven (1981), aunque otros autores como Cronquist (1981) elevan a nivel de familia cada subfamilia (Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Fabaceae = Papilionaceae). El término Fabaceae es ambiguo porque se puede referir a los miembros de la subfamilia Leguminosae-Papilionoideae o a todos los miembros de la Leguminosae.

[b] Espermatofitas = fanerógamas: plantas con semillas; el complemento son las criptógamas = plantas que se reproducen por esporas: helechos, musgos y algas.

[5] Carolus Linnaeus = Carlos Linneo = Carl von Linné.

[6] Desafortunadamente, los taxónomos no utilizan consistentemente la misma abreviatura para un autor, y como consecuencia puede haber varias abreviaturas; Brummitt y Powell (1992) publicaron un libro en el que proponen abreviaturas estándares. Información sobre los autores y sus abreviaturas se encuentra también en Mabberley (1989).

[7] En algunos casos, el género científico es bien reconocido en la denominación común; por ejemplo, en América del Norte todos los "true oaks" son del género *Quercus* L., y los "true pines", del género *Pinus* L.

Los taxónomos identifican principalmente las plantas mediante la utilización de herbarios y bibliotecas. Un herbario es una institución en donde se almacenan ejemplares secos, se identifican y se comparan con ejemplares de plantas que representan la misma especie o alguna especie cercana. Numerosos ejemplares de cada especie ayudan a determinar su variación morfológica, su distribución geográfica y aspectos básicos de su ecología (esta información se obtiene de las etiquetas). En consecuencia, el número de ejemplares en un herbario es mucho mayor que el número de especies representadas. Las colecciones repetidas de la misma especie permiten al herbario realizar un intercambio de ejemplares con otros herbarios.

Los individuos de una especie varían en apariencia; por ejemplo, *Homo sapiens* es una especie, pero fácilmente distinguimos las diferencias entre las personas (excepto los gemelos genéticamente idénticos). Los humanos como especie son fáciles de identificar, pero para la mayor parte de los otros organismos, como los árboles, se necesita acceso a uno o varios ejemplares contenidos en un herbario para confirmar la identidad de una colección no identificada.

Un principio importante en taxonomía es el *concepto del tipo*. Nombrar a las plantas de acuerdo con las convenciones internacionales es la base para cualquier estudio de botánica económica y de conservación. Actualmente para que una especie sea válida científicamente, debe estar representada por una colección tipo (Greuter, 1988). La *colección tipo,* designada así por el autor de la especie, pretende representar idealmente las características distintivas (un "promedio morfológico"). Generalmente, la colección tipo tiene varios duplicados con el mismo número de colección, lo que significa que los duplicados consisten en varias ramitas de la misma planta o —en el caso de animales y de hierbas más pequeñas— en varios individuos del mismo lugar y población. Al duplicado más representativo de la especie se le denomina *holotipo* y se le considera el ejemplar más importante de la especie. Los otros duplicados, denominados *isotipos*, se depositan usualmente en otros herbarios, lo que permite a más botánicos un acceso a estas importantes colecciones.

REVISIONES

Se denomina *revisión* a la publicación de un análisis taxonómico detallado de un género (o un taxón de tamaño factible). Normalmente una revisión se restringe a los miembros de un grupo en un área geográfica. Cuando la revisión contiene a todas las especies del grupo taxonómico, entonces se le denomina *monografía*. Por ejemplo, uno de nosotros (D. Daly) escribió una revisión del género *Protium* Burm f. (Burseraceae) al este de la región amazónica y las Guayanas (Daly, 1987). El nombre "revisión" refleja la idea de que la clasificación taxonómica es un proceso continuo que busca perfeccionar y mejorar el trabajo que se ha desarrollado antes.

Las revisiones proporcionan descripciones taxonómicas, así como "claves"[8] para todas las especies en el grupo investigado, junto con un listado de todos los ejemplares de herbario examinados. Además, una revisión incluye un análisis de las características taxonómicas y de las relaciones evolutivas entre las especies. La distribución geográfica de las especies se proporciona con frecuencia al marcar los lugares de colecta en mapas (véase la figura 2.7 como ejemplo). Las revisiones modernas deberían también incluir nombres comunes, usos locales e información sobre los compuestos fitoquímicos.

[8] Una *clave* es un texto escrito que permite la identificación de una especie mediante el seguimiento de una serie de opciones basadas en características morfológicas de diferentes órganos.

El cuadro 2.2 enlista las monografías que se han terminado hasta la fecha en la serie monográfica *Flora Neotropica* que se restringe a los trópicos americanos. Otras series de monografías taxonómicas de plantas a nivel mundial son *Systematic Botany Monographs*, publicadas por la American Society of Plant Taxonomists, *Memoirs of the New York Botanical Garden, Monographs in Systematic Botany* del Missouri Botanical Garden (Estados Unidos) y *Kew Bulletin Additional Series* del Royal Botanic Gardens, Kew (Inglaterra). Los análisis taxonómicos pueden publicarse también individualmente; contribuciones taxonómicas más pequeñas se encuentran en varias revistas científicas, como *Brittonia, Annals of the Missouri Botanical Garden, o Kew Bulletin.*

Una familia vegetal que ha recibido gran atención por parte de los científicos, incluso en revisiones, es la familia Leguminosae. Esto último se debe en parte a la biología en esta familia, interesante por su alto número de especies y su amplia distribución, pero quizá más a sus numerosas especies con alto valor económico y a la capacidad de muchas de ellas para fijar nitrógeno.[9] Ejemplos bien conocidos son los géneros *Glycine* Willd. ("soya"), *Phaseolus* L. ("frijol"), y *Dalbergia* L.f. (maderas valiosas). Regularmente hay conferencias internacionales, cuyos resultados se publican en libros (*Advances in Legume Science*). De especial utilidad ha sido la compilación de la taxonomía de los más de 600 géneros de Leguminosae (Polhill y Raven, 1981).

Un taxónomo emprenderá una revisión de un género cuando considere que las clasificaciones anteriores están incompletas y/o inexactas, cuando hay nuevos ejemplares, nuevos caracteres a considerar, y/o nuevos métodos para analizar caracteres que permitan clarificar las distinciones y relaciones entre las especies.

Las revisiones se basan fundamentalmente en la comparación de características morfológicas, principalmente de las hojas, las flores y los frutos de numerosos ejemplares. Las revisiones modernas pueden examinar características adicionales de la anatomía de las hojas y/o el tallo, así como la morfología del polen, la fitoquímica, la citología, las superficies de varios órganos (examinadas bajo el microscopio electrónico) y más recientemente las diferencias en las secuencias genéticas que se obtienen mediante la utilización de las técnicas de biología molecular.

Al principio de una revisión, un taxónomo recolectará toda la literatura científica relativa al género y sus parientes taxonómicos más cercanos, incluyendo la literatura histórica. Además, examinará todos los ejemplares disponibles; esto comprende visitar diversos herbarios y/o solicitar en préstamo un gran número de ejemplares de diferentes herbarios —frecuentemente de todo el mundo— para consultar sus colecciones. En su revisión de la familia Sapotaceae en América tropical, Pennington, 1990, ¡examinó alrededor de 15, 000 ejemplares de herbario!

El trabajo básico del taxónomo es encontrar diferencias consistentes entre las especies. Un principio fundamental de la taxonomía es el de la discontinuidad de la variación. Si se tiene un grupo taxonómico determinado, el taxónomo asocia o separa sus miembros con base en sus similitudes y diferencias. De hecho, para ordenar un grupo, los miembros que no muestran

---

[9] Muchas especies de la familia Leguminosae y algunas de otras familias tienen estructuras en sus raíces para hospedar bacterias que pueden cambiar el nitrógeno del aire (N_2) en nitrógeno ligado (NH_3) empleado en el metabolismo de la planta. Las angiospermas no son capaces de hacer este proceso químico, por lo que muchas veces carecen de nitrógeno en su nutrición; la mayoría de los fertilizantes comerciales contienen nitrógeno.

CUADRO 2.2. ***Flora Neotropica*: revisiones publicadas**[a]

No.	*Autor*	*Taxa*
1	Cowan, B.	*Swartzia* (Leguminosae, Caesalpinioideae, Swartzieae)
2+sup.	Cuatrecasas, J.	Brunelliaceae
3-5	Singer, R.	Omphalinae-*Phaeocollybia*-Strobilomycetaceae
6+sup.	Lowy, B.	Tremellales
7	Berg, C.C.	Moraceae, Olmedieae & Brosimeae
8	Maas, P.J.M.	Zingiberaceae: Costoideae
9+sup.	Prance, G.T.	Chrysobalanaceae
10-11	Prance, G.T.	Dichapetalaceae & Rhabdodendraceae
12	Prance, G.T., Y M.F. Silva	Caryocaraceae
13	Rogers, D.J., y S.G. Appun	*Manihot, Manihotoides* (Euphorbiaceae)
14(1)	Smith, L.B. y R.J. Downs	Pitcairnioideae (Bromeliaceae)
14(2)	Smith, L.B. y R.J. Downs	Tillandsioideae (Bromeliaceae)
14(3)	Smith, L.B. y R.J. Downs	Bromelioideae (Bromeliaceae)
15	Morley, T.	Memecyleae (Melastomataceae)
16	Farr, M.L.	Myxomycetes
17	Singer, R.	Marasmieae (Tricholomataceae)
18	Maas, P.J.M.	Renealmia (Zingiberaceae-Zingiberoideae), Costoideae (Additions)
19	Lleras, E.	Trigoniaceae
20	Johnston, M.C. Y L.A. Johnston	Rhamnus
21	Prance, G.T. y S.A. Mori	Lecythidaceae-Part I
21(II)	Mori, S.A. y G.T. Prance	Lecythidaceae-Part II. Zygomorphic-flowered Genera
22	Sleumer, H.O.	Flacourtiaceae
23	Hansen, B.	Balanophoraceae
24	Buritica, P. y J.F. Hennen	Pucciniosireae (Uredinales, Pucciniaceae)
25	Gentry, A.H.	Bignoniaceae-Part 1 (Crescentieae & Tourretieae)
26	Mesa, A.	Nolanaceae
27	Poppendieck, H-H.	Cochlospermaceae
28	Pennington, T.D.	Meliaceae
29	Landrum, L.R.	*Myrceugenia* (Myrtaceae)
30	Gates, B.	*Banisteriopsis, Diplopterys* (Malpighiaceae)
31	Kubitzki, K. y S. Renner	Lauraceae I (*Aniba* and *Aiouea*)

[a] Las revisones los publica y se pueden obtener en la *Organization for Flora Neotropica*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York 10458, EUA.

variación en sus caracteres no resultarán útiles desde el punto de vista taxonómico para este grupo. Los caracteres que muestran variación son de utilidad sólo para distinguir "taxa" si exhiben una *discontinuidad en su variación*, es decir, que no hay continuidad en el cambio de la característica entre ejemplares. Los caracteres diagnósticos pueden ser diferentes en dependencia de los grupos de organismos y éstos sólo pueden determinarse mediante el estudio cuidadoso de muchos ejemplares. En la mayor parte de los casos, un carácter que muestra discontinuidades en su variación puede servir para separar algunas, aunque no todas las especies de un género. Dos ejemplos sirven para ilustrar estos puntos.

Un carácter discreto es el número de pétalos. *Protium giganteum* Engl. y *P. decandrum* (Aublet) Marchand parecen muy similares, pero la primera tiene siempre cuatro pétalos mientras que

CUADRO 2.2. (continuación)

No.	*Autor*	*Taxa*
32	Singer, R.	*Hydropus* (Basidiomycetes)
33	Kaastra, R.C.	*Pilocarpineae* (Rutaceae)
34	Daniel, T.	*Carlowrightia* (Acanthaceae)
35	Luteyn, J.L.	*Cavendishia* (Ericaceae)
36	Forero, E.	Connaraceae
37	Paden, J.W.	Sarcosomataceae (Pezizales Sarcoscyphineae)
38	Sleumer, H.O	Olacaceae
39	Rogers, G.K.	Henriquezieae (Rubiaceae)
40-42	Maas, P.J.M.et al.	Saprophytes, pro parte
43, 44	Hopkins, H.C.F. y da Silva, M.F.	*Dimorphandra* (Caesalpiniaceae)
45	Landrum, L.R.	*Campomanesia*, etc. (Myrtaceae)
46	Hekking, W.H.A.	Violaceae. Part I - *Rinorea* and *Rinoreocarpus*
47	Molau, U.	Scrophulariaceae-Part I. Calceolarieae
48	Todzia, C.A.	Chloranthaceae: *Hedyosmum*
49	Simpson, B.B.	Krameriaceae
50	Buck, W.R. y R.R. Ireland	Plagiothecaceae
51	Berg, C.C. et al.	Cecropiaceae: *Coussapoa* and *Pourouma*
52	Pennington, T.D.	Sapotaceae
53	Henderson, A.	Arecaceae. Part I.
54	Frahm, J.-P.	Dicranaceae: Campylopodioideae, Paraleucobryoideae
55	Brako, L.	*Phyllopsora* (Bacidiaceae)
56	Haynes, R.R y L.B. Holm-Nielsen	Limnocharitaceae
57	Maas, P.J.M., L.Y.Th. Westra et al.	*Rollinia* (Annonaceae)
58,59	Reese, W.D. y Salazar Allen, N.	Leucophanaceae
60	Rohwer, J.G.	*Nectandra* (Lauraceae)
61	Maas, P.J.M. y H. Maas-van de Kamer	Haemodoraceae
62	Gradstein, S.R.	Lejeuniaceae: Ptychantheae, Brachiolejeuneae
63	Bohs, L.	*Cyphomandra* (Solanaceae)
64	Haynes, R.R., y L. Holm-Nielsen	The Alismataceae
65	Ireland, R.R., y W.R. Buck	Stereophyllaceae
66	Luteyn, J.L. y colaboradores	Ericaceae. Part II

la segunda siempre tiene cinco. La discontinuidad entre estas dos especies es obvia, ya que no hay flores con 4.5 pétalos.

Las discontinuidades entre caracteres continuos frecuentemente no son tan obvias y la variación puede ser difícil de detectar. Por ejemplo, *Protium apiculatum* Swart y *P. plagiocarpium* Bénoist varían en el tamaño de sus sacos de polen (anteras). Después de medir un gran número de flores se puede determinar que las anteras de la primera especie tiene una longitud de 0.55 a 0.75 milímetros, mientras que las de la segunda especie son 0.25 a 0.30 milímetros de largo. Existe una discontinuidad entre 0.30 y 0.55 milímetros, y en consecuencia, el tamaño de las anteras es un carácter que ayuda a separar estas dos especies.

Para cada grupo de plantas, el taxónomo examina el mayor número posible de caracteres. Busca caracteres que varían dentro del

grupo en cuestión y determina si existen patrones y discontinuidades en la variación. La figura 2.1 muestra algunas de las características que se pueden utilizar para separar dos especies arbóreas recientemente descubiertas en la familia Burseraceae, *Protium strumosum* Daly y *P. carolense* Daly (Daly, 1992b). Por otra parte, la figura 2.2, junto con el cuadro 2.3, muestra las diferencias entre tres especies arbóreas estrechamente relacionadas de la familia Sapotaceae: *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn, *P. fossicola* Cronquist, y *P. viridis* (Pittier) Cronquist. Las ilustraciones presentan partes de las ramitas con flores y dibujos detallados de otras partes de la planta, incluyendo hojas, flores y frutos.

Cabe señalar, que desde el punto de vista evolutivo, las características evolucionan de diferente manera en diversos grupos taxonómicos, es decir, cambian con diferente velocidad y pueden tener mayor o menor impacto sobre la adecuación de la especie (potencial para la sobrevivencia y la reprodución). La evidencia obtenida demuestra que dentro de cada taxón ciertos caracteres presentan variación y otros no; es más, ciertos caracteres pueden mostrar variación al azar, mientras que otros pueden hacerlo en conjunto.

Un ejemplo de características que varían en conjunto entre dos grupos taxonómicos se encuentra en los dos subgéneros de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae). El subgénero *Bursera* tiene un raquis ("tallo" de la hoja compuesta) usualmente no alado, corteza exfoliante, flores femeninas de tres partes, un endocarpo ("semilla") cubierto completamente por una estructura carnosa (*pseudarilo*), y frutos que se abren por tres valvas. Por otro lado, el subgenus *Elaphrium* (Jacq.) Triana & Planchón difiere en *todas* estas características: tiene hojas con raquis alado, flores femeninas de cuatro partes, un endocarpo cubierto sólo parcialmente por el pseudarilo y frutas de dos valvas (Gillett, 1980).

Muchas familias o géneros muy diversificados tienen algunas especies que son altamente variables en su morfología. Estas *ocloespecies*[10] no presentan patrones consistentes de variación ni las características diferentes varían en conjunto, por lo que no se pueden identificar variedades o subespecies. Un ejemplo de lo anterior es el polimorfo *Protium heptaphyllum* (Aublet) Marchand, el cual se extiende desde Costa Rica a Paraguay. Esta especie presenta una gran variación en tamaño, forma y consistencia de los folíolos, en longitud de los pétalos de las flores y en tamaño de los frutos, caracteres que difieren con base en su distribución, pero no es posible definir ningún patrón consistente.

Las especies que comparten varias características se agrupan en un género. No existen reglas determinadas para decir cuántas características son necesarias para definir un género o cuáles características deberán ser consideradas. Este mismo problema se presenta también para la definición de familias. Dentro de los estudios taxonómicos, el especialista se basa incialmente en los esquemas taxonómicos propuestos con anterioridad, aunque este esquema puede modificarse con base en las nuevas evidencias que permitan reflejar mejor las relaciones evolutivas entre las especies.

Uno de los primeros pasos para una revisión taxonómica de un grupo es la reevaluación de los caracteres que se utilizaron previamente para determinar si son todavía de utilidad, dado que usualmente se cuenta con un número más grande de ejemplares en comparación con el tratamiento anterior. Independientemente de cuántas características sean todavía vali-

[10] El término "ochlospecies" (en inglés) fue propuesto por White (1962); "ochlo" significa "masa confusa".

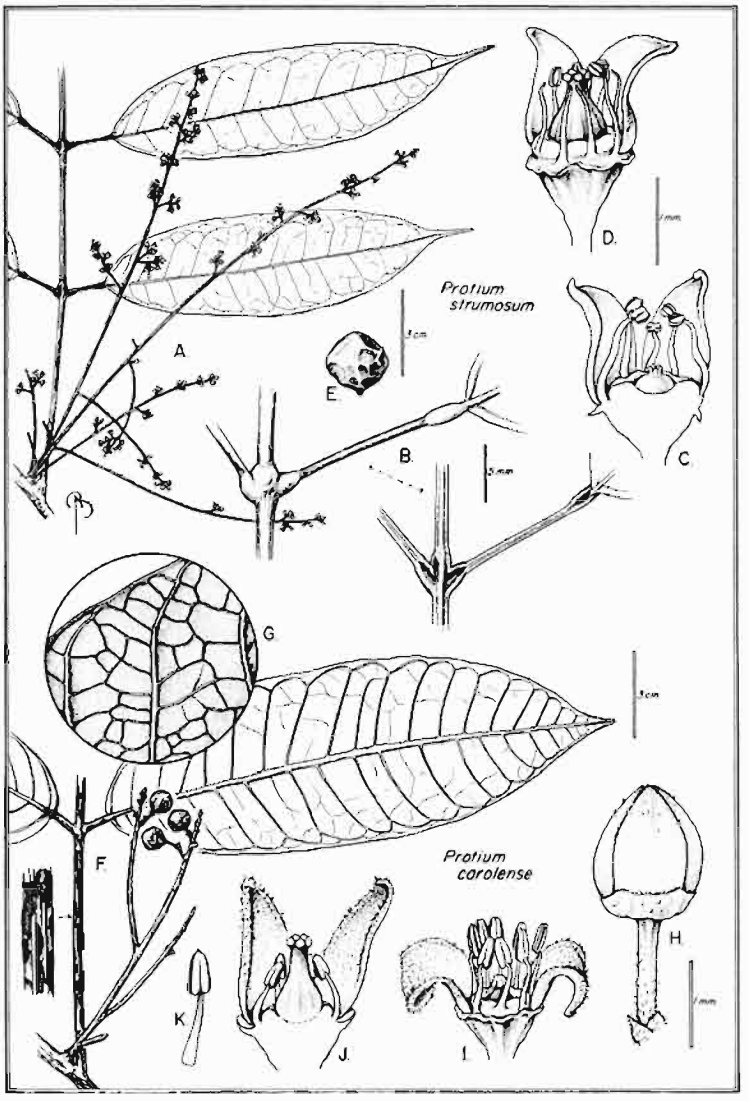


Figura 2.1. Características para la diferenciación de *Protium strumosum* (A-E) y *P. carolense* (F-K; ilustración de Bobbi Angell, The New York Botanical Garden, Nueva York). *Protium strumosum: A)* Ramita con flores. Se muestra parte de una hoja compuesta, incluyendo los folíolos estrechamente elípticos que tienen un tallo largo (*peciólulo*), el extremo apical terminando en una punta prolongada y recta (*acumen*), y la inflorescencia compuesta de una gran cantidad de flores pequeñas. *B)* Detalle del folíolo que muestra el engrosamiento (*pulvínulo*) en ambos extremos del tallo (*peciólulo*). *C)* Flor masculina (= flor estaminada) en donde se muestran las partes externas de la flor (*sépalos*) que se curvan hacia abajo, los pétalos sin pelos (*glabros*) casi erectos, los estambres, y el ovario esférico no funcional (*pistilodio*). *D)* Flor feminina (= flor pistilada) con dos pétalos y los estambres no funcionales (*estaminodios*); se muestran los estaminodios tan largos como el ovario. *E)* Fruto. *Protium carolense: F)* Ramita con frutos. Se muestra el peciólulo corto, el pulvínulo no conspicuo y los folíolos ampliamente elípticos con extremo apical y acumen corto. *G)* Detalle de venación de un folíolo. *H)* Flor no abierta que muestra el cáliz relativamente largo. *I)*. Flor masculina que muestra los pétalos pelosos, estambres con filamentos relativamente cortos y anteras largas y el pistilodio central con forma de huevo (*ovoide*). *J)*. Flor feminina que muestra los estaminodios más cortos que el pistilo. *K)*. Estambre con la antera muy aguda.

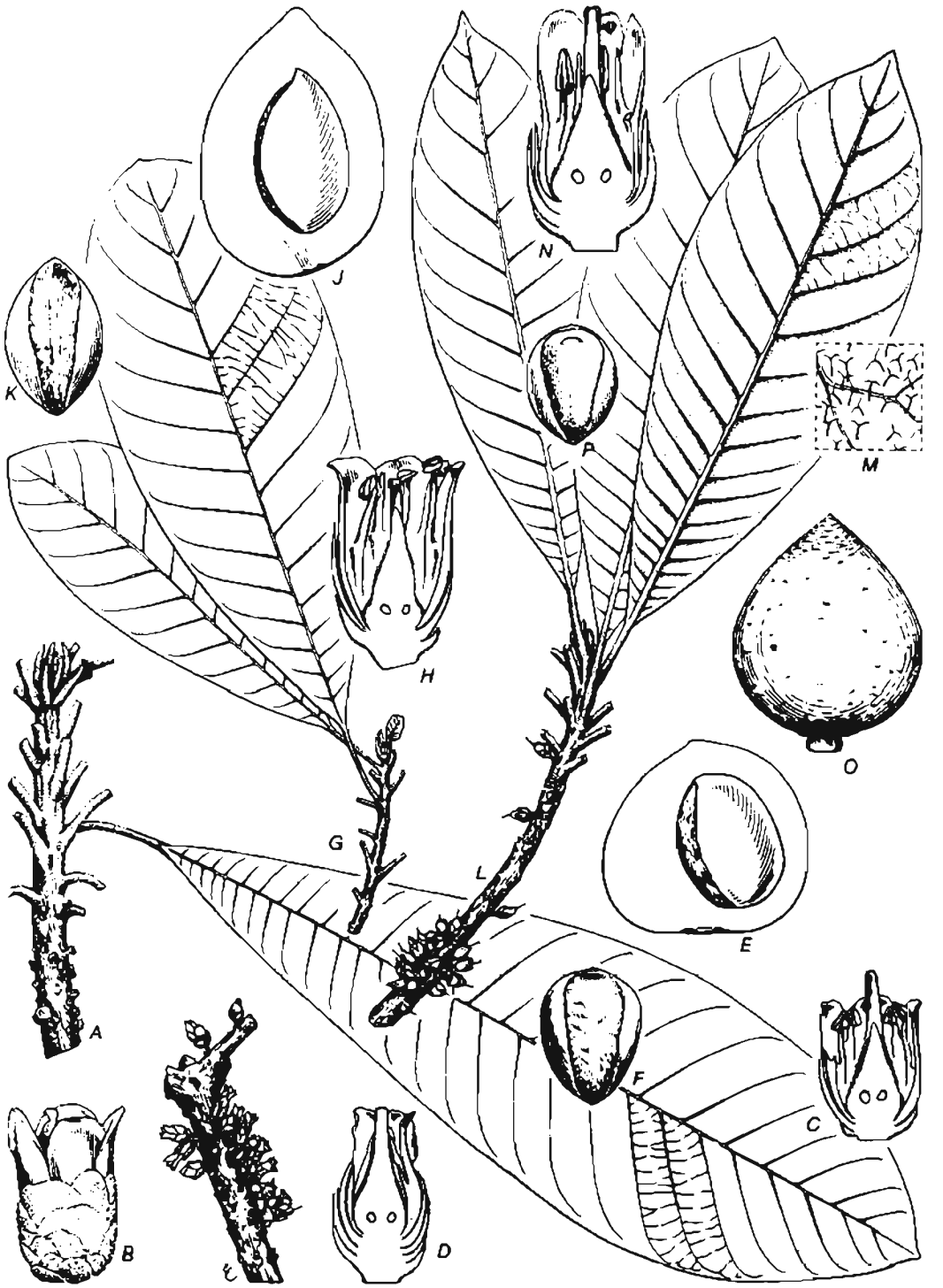


Figura 2.2. Características para diferenciar *Pouteria sapota, P. fossicola y P. viridis* (véase también el cuadro 2.3 y la figura 2.7). Los frutos de las tres especies son comestibles aunque con distintos sabores, y se venden en los mercados. *Pouteria sapota*: A) hábito; B) flor; C) flor macho; D) flor hembra; E) fruto; F) semilla; *P. fossicola*: G) hábito; H) flor; J) fruto; K) semilla; *P. viridis*: L) hábito; M) detalle del indumento; N) flor; O) fruto; P) semilla. Ilustración de Pennington (1990, p. 497), reimpresa con el permiso del New York Botanical Garden, Nueva York.

das, el taxónomo trata de descubrir tantas características útiles como sea posible para la revisión.

Una buena revisión taxonómica comprende normalmente una gran cantidad de trabajo de campo. Esto es necesario por las siguientes razones:

1) La representación de una especie en los herbarios se limita frecuentemente a unos cuantos ejemplares, especialmente en en el caso de especies.
2) Los ejemplares existentes son con frecuencia de pobre calidad (por ejemplo, carecen de flores y/o frutos) y pueden tener información escasa acerca de la localidad.
3) Ciertas características que ahora se consideran de utilidad no se incluyen en los ejemplares o en la información de las etiquetas, como por ejemplo, los patrones de ramificación, las características de la corteza y madera, además de que las formas, las texturas y los colores del material vegetal se modifican en el proceso de desecación.
4) Se requieren materiales especialmente preparados para el conteo de cromosomas y los estudios anatómicos, moleculares, químicos y embriológicos.
5) Es importante estudiar la variación que se puede presentar dentro de las poblaciones y sus posibles relaciones con gradientes ambientales como por ejemplo, la altitud, el tipo de suelo o el acceso al agua.

ACERCA DE LAS NUEVAS ESPECIES Y LOS CAMBIOS DE NOMBRES

Durante la revisión de un género, son frecuentes tres tipos de cambio en los nombres de las especies. Primero, se pueden encontrar y publicar nuevas especies, "descubiertas" durante el examen de los ejemplares de herbario o durante el trabajo de campo (véase el cuadro 2.4 para un ejemplo). Segundo, puede resultar que una especie pertenezca a un género o aun a una familia diferente: por ejemplo, *Cyrtocarpa velutinifolia* (Cowan) Mitchell & Daly de la familia Anacardiaceae fue originalmente publicado como *Bursera velutinifolia* Cowan de la familia Burseraceae; la identificación inco-

CUADRO 2.3. **Características taxonómicas para separar *Pouteria sapota, P. fossicola* y *P. viridis*** (según Pennington, 1990)

	Pouteria sapota	*P. fossicola*	*P. viridis*
Yemas	largo pubescente,[a] o vilosa[b], café	adpresa pubescente, pálida	denso pubescente o o tomentosa,[c] café
Base de la hoja	atenuada	generalmente no atenuada	no atenuada
Venas secundarias	20-25 pares	13-20 pares	13-20 pares
Lámina	glabra	glabra	pubescente con pelos erectos y ramificados
Longitud de la corola	0.7-1.0 cm	1.0-1.3 cm	1.0-1.2 cm
Longitud de las anteras	1.5-2.0 mm	1.5-2.0 mm	2.0-3.0 mm
Superficie del fruto	rugosa, café	lisa o lenticelada, gris o café	lisa o enticelada, verde

[a] *pubescente* = con "pelos" simples, delgados y rectos;
[b] *viloso* = con "pelos" largos y suaves, curvados;
[c] *tomentoso* = con "pelos" largos y muy entrecruzados.

rrecta se basó en únicamente una recolección de ejemplares con flores y el error no fue descubierto sino hasta que se tuvo disposición de ejemplares con frutos.Tercero, el nombre de una especie puede ser desechado por alguna de las dos siguientes razones:

1) En un caso dado, el nombre no fue publicado de acuerdo a los lineamientos establecidos en el "Código Internacional de Nomenclatura Botánica" (Greuter, 1988); un ejemplo es *Protium verecaudatum* que apareció en Spichiger *et al.* (1990) pero que no había sido oficialmente publicado como una nueva especie.
2) El nombre de la especie es un sinónimo. Por ejemplo, *Protium altsonii* Sandw. fue descrita en 1928 en una colección hecha en Guayana. Posteriormente, *P. puberulenta* Steyerm. fue descrita de Venezuela en 1952 y *P. paraense* Cuatrec. fue descrita de Pará, Brasil, en 1961. Durante una revisión del género *Protium* durante los años ochenta, uno de los autores (Daly, 1987) examinó las colecciones del tipo al igual que todo el material que se refería a estos tres nombres, y encontró que no se podían separar de manera consistente. En consecuencia, los dos últimos nombres se consideraron sinónimos de *P. altsonii*, al que se le da prioridad, ya que fue el primero en publicarse. En otras ocasiones, se puede incluir un género en otro. Por ejemplo, el género del «chico zapote», *Achras* L., se convirtió en *Manilkara* Adanson (Sapotaceae; Pennington, 1990). Para *Manilkara zapota* (L.) van Royen ("chicozapote"), Pennington enlista en total 57 nombres de especies y subespecies pertenecientes a varios géneros, los cuales él considera sinónimos de esta especie; ejemplos son *Achras zapota* L., *Sapota achras* Miller, *Vitellaria mammosa* (L.) Radlkofer, *Calospermum mammosum* (L.) Pierre, *Mimusops grisebachii* Pierre, *Acradelpha mammosa* (L.) O.F. Cook, *Manilkara grisebachii* (Pierre) Dubard, *Nispero achras* (Miller) Aubréville, y *Manilkariopsis meridionalis* (Gilly) Lundell.

Existen dos maneras para evitar confusiones sobre los nombres de plantas y sus cambios de nomenclaturas. Primero, los taxónomos deberán enviar ejemplares duplicados de sus colecciones, al igual que copias de sus publicaciones científicas a las instituciones de las regiones donde existen los grupos de plantas que estudian. Segundo, aquellas personas que trabajan en proyectos de botánica económica o de conservación a escala regional deberán recolectar ejemplares de herbario de las especies de interés y enviarlos a los taxónomos especializados en estos grupos. La lista de especialistas se puede encontrar en el herbario más cercano de la región (véase el apartado 2.6). Además, existe un índice mundial de taxónomos de plantas y de sus especialidades publicadas por Holmgren y Holmgren (1992).

Se pueden consultar dos índices para encontrar el nombre correcto, el autor y la referencia de la publicación de las especies de plantas: el *Index Kewensis*, un compendio que abarca a todo el mundo, es publicado por el Royal Botanic Gardens en Kew; el *Gray Index*, restringido a las especies vegetales del Nuevo Mundo y publicado por el herbario de la Universidad de Harvard, está disponible como un catálogo de tarjetas o por medio de un sistema computarizado. Para obtener información sobre estos índices se puede contactar a los dos herbarios (cuyos domicilios se proporcionan al principio del apartado 2.6. bajo "KEW" y "CAMBRIDGE", respectivamente).

Científicos no taxonómicos —incluyendo agrónomos, conservacionistas, ecólogos y personas que trabajan en floras locales— con frecuencia resienten los cambios de nombres que

CUADRO 2.4. Descubrimiento de una nueva especie arbórea en Colombia

Para mostrar cómo trabaja un taxónomo, analizamos aquí el reciente descubrimiento de una nueva especie arbórea en el género *Bursera* Jacq. ex L. Los árboles de este género, conocido como "copal" en México y "anime" en Colombia, dominan algunos de los bosques con hojas caedizas de México. Alrededor de 80 de las aproximadamente 100 especies del género habitan sólo en México (Rzedowski, 1986), aunque el género se encuentra en Texas y Florida, América Central y las Antillas hasta el norte de Perú y la región amazónica de Brasil.

En 1987, uno de los autores (D. Daly) recolectó ejemplares de un gran árbol con frutos, mientras estudiaba un área de bosque cercano al Golfo de Urabá, en Antioquia, Colombia. Se percató de que pertenecía a la familia Burseraceae, porque entre otras características era un árbol con exudado resinoso, hojas compuestas, alternas, imparipinnadas (es decir, las hojas se insertan a distintos niveles, una después de la otra a lo largo de la rama, y cada hoja con varios folíolos, pero terminando en un solo folíolo), y pequeños frutos similares a drupas (es decir, como un durazno, con un exterior carnoso y un relativamente duro endocarpo en su interior, que cubre la semilla).

Existen también numerosas características de las flores que habrían ayudado a identificar el género y a distinguirlo de otros géneros de Burseraceae si hubieran estado disponibles en el árbol, por ejemplo, las flores en tres a cinco partes, el receptáculo ligeramente cupular, el disco anular o adnado hacia el receptáculo, formando un tipo de hipantio. En contraste, el género más cercano, *Commiphora* Jacq. tiene únicamente flores en cuatro o cinco partes y un receptáculo profundamente cupular que forma un hipantio distinto, además de que frecuentemente tiene ramas espinosas, lo que es muy raro en *Bursera*. Supo que pertenecía al género *Bursera* subgénero *Bursera*, porque tenía una corteza rojiza exfoliante (la corteza del otro subgénero *Elaphrium* no se descascara), el fruto abierto en tres partes (no en dos), y había una estructura carnosa roja (llamada pseudarilo) que cubría completamente (y no parcialmente) a la "semilla" (endocarpo).

Varias ramas con frutos de este árbol se prensaron entre hojas de periódico y se le dio a la colección el número *Daly et al. 5314*. Después de secarlas, duplicados de los ejemplares se dejaron en el herbario en Medellín (HUA) y otros fueron llevados al herbario del New York Botanical Garden (NY), para un estudio mas cuidadoso.

Al principio, Daly pensó que era una especie ampliamente distribuida, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., porque tenía similitudes en corteza (color y textura) y hojas (forma, número de folíolos, tipo de pubescencia). Posteriormente consideró que se trataba de una nueva especie, porque ninguna especie conocida de *Bursera* tiene un fruto largo, obovoide (con forma de huevo invertido) con una "semilla" (endocarpo) muy gruesa y dura. Sabía, por haber estudiado el género, que la forma y tamaño del fruto en *Bursera* es relativamente consistente en cada especie. Sin los frutos, no habría sido posible darse cuenta de que ésta era una nueva especie, porque ésta se asemeja fuertemente en sus características foliares a *B. simaruba*.

En el herbario de Nueva York, descubrió dos colecciones más antiguas de la misma especie —una del sur de Panamá y otra cerca del Lago Maracaibo en Venezuela— y las citó también. Estos ejemplares adicionales mostraron la consistencia de las características del fruto que distinguen a esta especie de cualquier otra en el género.

Esta nueva especie fue denominada como *Bursera inversa* Daly, a causa de la forma invertida del fruto. Con el fin de publicarla válidamente, Daly hizo una descripción detallada en inglés y una parte en latín, en donde se discutían las semejanzas y diferencias de la nueva especie con sus parientes más cercanos. Toda esta información fue enviada a una revista especializada, con distribución internacional, y una vez revisado el manuscrito, por otros taxónomos, se publicó formalmente la especie (Daly, 1993).

La publicación incluye la cita de la colección del tipo, con la siguiente información de la etiqueta de herbario (las abreviaturas al final son acrónimos de los herbarios donde se archivan los duplicados): "COLOMBIA. Antioquia: Carepa, 45 km S de Turbo sobre la carretera Turbo-Mutatá, Reserva Forestal Tulenapa (ICA) elev. 20 m., ca. 7°50'N, 77°40'W, 31 de julio 1987, *D. C. Daly et al. 5314* (AAU, K, HUA, IEB, MEXU, MO, NY, US)".

los taxónomos realizan. Existen dos mecanismos para evitar cambios innecesarios en la nomenclatura: primero, un nombre que se ha utilizado ampliamente durante muchos años se puede conservar por encima de nombres más antiguos que tienen prioridad. Esto último se hace mediante la proposición de la conservación del nombre en el Congreso Botánico Internacional, que se celebra cada seis años. Segundo, las publicaciones taxonómicas son sometidas a un proceso de revisión para prevenir la publicación de trabajos no profesionales. Sin

embargo, en muchos casos, un mejoramiento en la taxonomía de un grupo vegetal que refleje mejor la organización evolutiva del grupo requiere necesariamente de cambios de nombres.

Los avances taxonómicos tienen aplicaciones prácticas. Pueden ayudar a dirigir búsquedas de compuestos químicos y germoplasma (recursos genéticos), mediante la indicación de las relaciones entre las especies de un grupo. Las especies estrechamente relacionadas a plantas valiosas frecuentemente comparten cualidades deseables o valiosas, que corresponden a las características taxonómicas. Por ejemplo, varias especies del género *Annona* L., relacionadas con *Annona muricata* L. ("guanábana"; Annonaceae), también tienen una deliciosa pulpa carnosa y dulce alrededor de las semillas (véase el género en el apartado 2.4 [#3]). De manera similar, varias especies relacionadas a *Dalbergia nigra* Allem. ex Benth. (Leguminosae-Papilionoideae) también tienen maderas de buena calidad, las cuales se utilizan para una variedad de productos especiales, como instrumentos musicales; ejemplos de ello son *D. retusa* Hemsl. en América Central y *D. stevensonii* Standley en Belice.

Este principio se aplica también a las plantas medicinales. Un ejemplo reciente abarca el taxol, un terpenoide complejo que ha mostrado resultados prometedores en el tratamiento de diferentes tipos de cáncer, incluyendo el cáncer ovárico y el cáncer de pecho. Aunque esta sustancia fue originalmente descubierta en *Taxus brevifolia* Nutt. (Taxaceae; Gymnospermae), un árbol del sotobosque del noroeste de Estados Unidos y la frontera de Canadá, se ha demostrado que otras especies de *Taxus* L. contienen también taxol. Algunas de ellas, como por ejemplo, *T. baccata* L. de Europa, tienen altas concentraciones de los precursores del taxol, los cuales se pueden convertir químicamente en taxol con relativa facilidad (Daly, 1992a).

LA TAXONOMÍA COMO CIENCIA

La taxonomía ha sido considerada como ciencia y a la vez como arte. La taxonomía utiliza métodos científicos —en particular indagación empírica pero también lógica matemática— para entender las relaciones evolutivas de los organismos (véase Cronquist, 1988; Jones y Luchsinger, 1986; de la Sota, 1982; Redford *et al.*, 1974). No obstante, la carencia de un registro completo de fósiles (Banks, 1970) hace imposible observar la verdadera progresión evolutiva, por lo que ésta tiene que ser inferida. Además, la diversidad existe frecuentemente de manera continua, pero los grupos taxonómicos son definidos discretos. Por ambas razones, no siempre se pueden evitar las decisiones subjetivas.

En la taxonomía moderna, las clasificaciones evolutivas se desarrollan primariamente por determinar, para un carácter en cuestión, cuáles características son más avanzadas (= derivadas) o más ancestrales de acuerdo a su evolución y agrupar a aquellos organismos que comparten las características avanzadas.[11] En el curso de la evolución, las características cambian en tasas independientes dentro de cada grupo taxonómico, de manera que cada organismo combina características ancestrales con derivadas. Las características ancestrales

[11] Se han desarrollado tres escuelas de taxonomía: la tradicional, la cladística, y la fenética. En la *escuela tradicional*, el taxónomo utiliza su amplia experiencia para examinar ejemplares de herbarios y agrupar las especies. En las otras dos escuelas se emplean mucho los métodos computarizados. En la *escuela cladística* los taxónomos consideran la ancestralidad de características y establecen las relaciones filogenéticas con base en características derivadas compartidas (véase Villaseñor y Dávila, 1992; Ridley, 1986). Por otro lado, la *escuela fenética* establece las relaciones entre los organismos con base en la semejanza fenotípica actual, considerando el mayor número posible de caracteres (véase Sneath & Sokal, 1973).

se asemejan a la condición original, mientras que las derivadas han sido modificadas con el paso del tiempo. Los fósiles han ayudado a los taxónomos a identificar algunas de las características que son muy antiguas entre las plantas y aquellas que han aparecido recientemente. Por ejemplo, algunos de los fósiles más antiguos de plantas con flores se asemejan a *Talauma* Juss.[12] y *Magnolia* L. (ambas Magnoliaceae) en que tienen partes florales numerosas que están ordenadas en espiral, lo que hace que presenten una apariencia similar desde cualquier posición en que se observen (simetría radial). Por otra parte, las flores de la familia de las orquídeas (Orchidaceae), la cual evolucionó más recientemente, tienen relativamente pocas partes y únicamente dos lados de la flor son imágenes en el espejo (simetría bilateral). Desafortunadamente, para muchos caracteres como la estructura vascular del tallo y de la flor, no existe un registro fósil para indicar cuándo una característica es ancestral y cuándo es derivada.

Hoy en día, los taxónomos utilizan frecuentemente matrices de datos que se componen de características que se clasifican en ancestrales o derivadas, y se comparan entre grupos estrechamente relacionados. Estos métodos pueden revelar la proximidad evolutiva de los organismos. Aunque el grado de cercanía se presenta de manera continua, es deseable y necesario colocar a grupos de organismos en rangos taxonómicos discretos, como especies, géneros y familias (véase el cuadro 2.1): Cuando la taxonomía se desarrolló formalmente como una ciencia, la elección de un rango fue relativamente arbitraria, pero en la actualidad los grupos taxonómicos tienen que acomodarse dentro de los sistemas existentes. Por ejemplo, hay tres grupos dentro de la familia Leguminosae las cuales se reconocen universalmente como grupos taxonómicos naturales. Si se les denomina subfamilias (Papilionoideae, Caesalpinoideae, Mimosoideae) de la Leguminosae, o tres familias separadas pero estrechamente relacionadas (Papilionaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaceae) es un asunto de definición más que de certeza.

La taxonomía o sistemática ha desarrollado metodologías mucho más rigurosas durante los últimos 20 años. Además, ahora es más difícil publicar clasificaciones taxonómicas infundadas o preparadas de manera descuidada. Cuando se entrega un manuscrito para una revista científica que publica trabajos taxonómicos, los editores lo envían por lo menos a otros dos taxónomos para su evaluación, típicamente especialistas del mismo grupo o de grupos vegetales relacionados. Casi sin excepción, los revisores solicitarán mejoras en el manuscrito y los trabajos que no proporcionen la evidencia y justificación adecuadas para la taxonomía propuesta son rechazados.

2.2 TRABAJO DE CAMPO Y DE HERBARIO

La taxonomía es de importancia fundamental para la botánica económica. Entender la naturaleza del trabajo taxonómico va a permitir a los interesados en la evaluación y/o el estudio de los recursos de los bosques tropicales a colaborar más eficientemente con los taxónomos y utilizar mejor los recursos científicos profesionales para sus propósitos. El herbario regional más cercano al área de estudio es un recurso esencial para cualquier proyecto de botánica económica. Los domicilios de algunos herbarios latinoamericanos e internacionales se proporcionan en el apartado 2.6. Una compilación de casi todos los herbarios existentes en el mundo ha sido publicada por Holmgren *et al.* (1990).

[12] Algunos taxónomos incluyen el género *Talauma* en *Magnolia*.

Muchas familias de plantas tropicales contienen tantas especies y son tan complejas que es difícil identificar una de éstas sin ser un taxónomo experto de ese grupo en particular. Sin embargo, muchas familias e incluso algunos géneros se pueden determinar con algún entrenamiento y con las referencias adecuadas.

Una descripción taxonómica ilustrada de todas las familias de plantas con flores, incluyendo notas sobre especies económicas, ha sido proporcionada por Heywood (1993). Claves para la identificación de todas las familias de plantas con flores son proporcionadas en inglés por Geesink *et al.* (1981). Hutchinson produjo descripciones y claves de todas las familias de plantas con flores (Hutchinson, 1979) y muchos géneros (Hutchinson, 1967 y 1964). Cronquist (1981) describió y proporcionó claves para todas las subclases, órdenes y familias de plantas con flores. Smith y Simpson (1977) tienen claves para las familias de importancia económica y ornamental, al igual que para todas las que existen en América del Norte.

Maas y Westra (1993) proporcionaron descripciones e ilustraciones de las familias vegetales neotropicales. De la obra de Geesink *et al.* (1981) hay una versión editada en español, que incluye solamente las familias de Venezuela (Badillo *et al.*, 1985) y una en portugués que incluye solamente a aquellas que existen en Brasil (Joly, 1970). Barroso (1986, 1984 y 1978) proporcionó descripciones en portugués de las familias que existen en Brasil, al igual que claves para todas las familias y géneros. Finalmente, Murguía y Villaseñor (1993) desarrollaron una clave computarizada para la identificación de familias de plantas con flores en México.

Para plantas leñosas y algunas herbaceas del noroeste de Sudamérica, Gentry (1993) proporcionó descripciones y claves prácticas basadas primariamente en caracteres de campo para familias y géneros. Pennington y Sarukhán (1968) publicaron un manual para la identificación de árboles tropicales de México, en el que también proporcionan información sobre la distribución y los usos. Van Roosmalen (1985) publicó claves acerca de la identificación de frutos para la flora guayanesa del norte de Sudamérica. Definiciones, ilustraciones y explicaciones del abundante vocabulario taxonómico se pueden encontrar en inglés en Heywood (1993), y en español en Font Quer (1985). Spjut (1994) proporciona un tratamiento sistemático de los tipos de frutos.

Para que la taxonomía sea de utilidad práctica, debe proporcionar claves útiles de las especies de un grupo vegetal o de una región geográfica. Las mejores claves utilizan un lenguaje relativamente simple pero exacto, aquellos caracteres relativamente fáciles de observar —sin requerir de equipo o procedimientos especializados, y que idealmente no requieren de tener ejemplares con flores y frutos simultáneamente.

Una planta con flores (casi todos los árboles tropicales son plantas con flores) se identifica mediante la observación de una ramita con hojas, flores y/o frutos. En consecuencia, los taxónomos no necesitan ver el árbol completo y por lo general pueden realizar la identificación de éste fuera del campo en un herbario.

RECOLECCIÓN DE EJEMPLARES DE HERBARIO[13]

La modificación evolutiva de la estructura de la flor es en gran medida responsable del aislamiento reproductivo de una especie a otra, y las modificaciones morfológicas las puede detec-

[13] Se han publicado manuales acerca de la colecta y preparación de ejemplares de herbario, al igual que sobre los procedimientos y el manejo de herbarios: Bridson y Forman (1992) han publicado uno en inglés, Lot y Chiang (1986) en español, y Mori *et al.* (1985) en portugués.

tar el taxónomo. Por esta razón, la flor es el órgano más importante para la determinación de la identidad de una planta y de las relaciones con otras plantas. Sin embargo, el fruto es también de un valor casi equivalente para la identificación ya que se desarrolla a partir del ovario de la flor, y algunas de las características de esta última pueden ser inferidas al estudiarlo, como la disposición de los óvulos ("huevos") fertilizados que eventualmente formarán las semillas. Para una identificación sin ambigüedad, los taxónomos requieren generalmente de *colecciones fértiles*, es decir, de ramitas con flores y/o frutos —de preferencia con ambas. La ramita debería incluir puntos de ramificación. Otras partes de la planta, como la corteza, son también útiles.

Cabe destacar que es muy importante registrar las observaciones de cualesquiera de las características que no se puedan incluir en la colección del herbario o que se alterarán por la desecación. Por ejemplo, si se recolecta una uva, es necesario tomar en cuenta que durante el prensado y el secado, las uvas cambian de color, tamaño, forma y textura. Las observaciones deberán describir al lector cómo era originalmente este fruto. Los frutos y flores carnosos pueden ser colocados en vasijas con alcohol, para preservar su forma.

La primera etapa de la recolección del material para el herbario es obtener todos los permisos necesarios para recolectar legalmente en el sitio del estudio, y determinar cuáles son los procedimientos legales para la transportación, y cuando sea necesario, el embarque de plantas fuera del país. La mayor parte de los países tropicales piden a todos los botánicos —extranjeros y nacionales— que obtengan permisos antes de recolectar el material vegetal. El embarque de material vivo o secado fuera de un país, por lo general, comprende la obtención de un permiso fitosanitario. Si algún país es miembro de la "Comisión Sobre Tráfico Internacional de Especies en Peligro" (CITES = Commission on International Traffic in Endangered Species), se requerirá de un permiso especial para exportar o importar especies protegidas por la CITES (como muchas orquídeas).

Lo que se presenta a continuación describe un procedimiento usual para la recolección de ejemplares de herbario de un árbol: se localiza algún individuo en reproducción por medio de binoculares que permitan al colector ver pequeñas flores y/o frutos que se encuentran en la copa. Una persona asciende al árbol con una garrocha[14] para cortar varias ramitas que contengan flores y/o frutos. Se seleccionan de 5 a 10 ramitas para formar de 5 a 10 ejemplares de herbario. Cada una es cuidadosamente extendida y prensada entre dos hojas de periódico, evitando que los órganos se traslapen entre sí; algunas hojas (o folíolos) se deberán voltear para que las superficies superior e inferior se puedan ver al mismo tiempo. Las hojas que sean demasiado largas para el periódico se doblan en forma de zig-zag o, en casos extremos, uno de los lados se puede cortar y doblarse el lado restante (el tamaño estándar de un ejemplar de herbario es de 45 por 30 centímetros). El periódico se cierra después sobre el ejemplar y se presiona fuertemente dentro de una prensa de herbario portátil. Dicha prensa se compone de dos tablas o fuertes enrejados de madera, más dos cordones para apretar el "sandwich" con las plantas en su interior.

Se necesitan por lo menos tres ejemplares para cada una de las colecciones: una para el herbario local, otra para el experto taxonómico que identifica la planta y una más para el pro-

[14] Una garrocha es un tubo largo con tijeras en la punta para cortar ramitas a una distancia de dos o más metros.

CUADRO 2.5. **Datos deseables en la etiqueta de un ejemplar de herbario**

La información que se presenta a continuación se deberá registrar en el manual de campo y transcribirlo sobre la etiqueta que se imprimirá e incluirá en cada uno de los ejemplares del herbario:

1) *El nombre del colector y el número de colección.* Esta información se deberá escribir con lápiz oscuro o con tinta indeleble sobre la hoja de periódico en la cual el ejemplar se prensa para darle a esa colección un identificador único (por ejemplo, "MR30" para la colección número 30 de Martin Ricker).
2) *La localización exacta del lugar y la fecha de la colección.* En la colección nombrada anteriormente, el lugar fue "México, Oaxaca: distrito Pochutla, ciudad Pluma Hidalgo, dos horas a pie a la Finca Monte Cristo, 100 metros sobre la vereda, antes de llegar a la finca". Se deberán llevar consigo mapas exactos y anotarse las coordenadas geográficas. La altitud se deberá medir con un altímetro u obtenerla de mapas.
3) *Descripción del tipo de vegetación.* Los nombres locales de los tipos de vegetación con frecuencia son comprendidos sólo en una región limitada, por lo que los tipos de vegetación que se utilizan internacionalmente se deberían anotar también (véase el esquema de Holdridge en la figura 2.4; para Sudamérica véase también Hueck y Seibert, 1981).
4) *Descripción de la planta y su localización*, incluyendo la siguiente información:
   - hábito, altura y diámetro de la planta;
   - forma de la copa y patrones de ramificación;
   - presencia de contrafuertes;
   - características externas e internas de la corteza, así como del exudado;
   - posición y descripción de la inflorescencia (= la estructura sobre la cual las flores nacen), orientación, color, y olor de las flores;
   - forma, tamaño y textura del fruto;
   - observaciones de los polinizadores y de los dispersores;
   - características del hábitat; por ejemplo, localización bajo la sombra en una inclinación y/o cerca del agua;
   - descripción del suelo;
   - abundancia relativa de las especies;
   - otras observaciones como por ejemplo, el daño por insectos.
5) *Nombres comunes y usos locales* (si es posible); las observaciones detalladas y la información referente a los usos, modos de preparación de los productos, así como nombres y conocimientos de las personas que proporcionaron la información (véase el cuadro 3.1 para un ejemplo de un cuestionario etnofarmacológico que abarca plantas medicinales).

yecto. Cuando es posible, se recolectan más, puesto que los ejemplares adicionales son valiosos para distribuirlos a otros herbarios, tanto dentro como fuera del país.

Cada ejemplar preparado recibe un número de colección, y los múltiples ejemplares de la misma planta reciben el mismo número. Por ejemplo, se escribió "MR30" sobre el periódico para la colección número 30 de la serie de Martin Ricker. Las descripciones detalladas de la localización y de la planta son esenciales para hacer posible una identificación exacta y poder retornar al sitio de colecta. El cuadro 2.5 describe qué datos se deben recolectar y registrar en el manual de campo para transcribirlos posteriormente en la etiqueta del ejemplar (para un ejemplo de una etiqueta véase la figura 2.3).

En un plazo máximo de dos días, los ejemplares vegetales tienen que ser secados con el fin de evitar que se deterioren. Si no es posible secarlos en el campo, entonces los ejemplares amarrados se pueden saturar con una solución de etanol (por lo menos 50 por ciento etanol); se introducen dentro de una bolsa de plástico, se amarra la bolsa para evitar que el etanol se evapore y se almacenan en un lugar frío y sombreado, hasta que se puedan llevar a una instalación para secarlas.

Para secar los ejemplares vegetales en el periódico, se coloca cada uno de ellos entre

PROGRAMA FLORA PROJETO FLORA AMAZÔNICA
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - MUSEU GOELDI

PLANTS OF BRAZIL Musaceae

No. 8540 Phenakospermum guyanense Endl.
det. T. Plowman 1980

MUNICIPIO CONCEICÃO DO ARAGUAIA: Range of low hills ca. 20 km. west of Redenção, near Côrrego São João and Troncamento Santa Teresa. Approx. 8°03'S., 50°10'W. Alt. 350 - 620 m.

Arborescent herb 10 m. tall growing in forest clearing left after lumbering. About 15 individuals present. Trunk 2 - 3 m. tall, to 10 cm. diameter, dark brown. Petiole 1 m. long, leaf blade 2 - 3 m. long, ovate, truncate at apex. Inflorescence terminal, pruinose throughout. Branch bracts 3 - 4, distichous, 10 - 15 cm. apart, to 40 cm. long, 12 - 13 cm. wide, light yellowish green with white waxy covering. Floral bracts creamy white, fleshy. Pedicel and 5 perianth parts cream. Inner 2 perianth segments with narrow yellow-green margin. Perianth opening by spring mechanism. Filaments white, anthers cream, dehiscing in bud. Pollen creamy white. Style and stigma cream, stigma with narrow green band at base. Style pendulous at anthesis. Fls. very fragrant, odor like Cananga odorata. Fresh pollen eagerly collected by 2 species of small bees called "arapua amarela"(yellow) and "arapua preta" (black). Frequent. N.v. "sororoco"

T. Plowman, G. Davidse, N. A. Rosa,
C. S. Rosário & M. R. dos Santos Feb. 9, 1980

Plants collected under the joint sponsorship of the National Science Foundation Latin American collaborative program and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, in collaboration with the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Museu Goeldi, Belém.

Spirit collection, photographs.

Figura 2.3. Ejemplo de una etiqueta de ejemplar de herbario. La información incluida en la etiqueta también depende de los objetivos de la colección, por lo que no todas las etiquetas son iguales.

láminas de cartón grueso (45 por 30 centímetros). La prensa se cierra fuertemente y se coloca sobre una fuente de aire caliente y seco (40 a 70 °C). El cartón permite que el aire caliente pase a través de la prensa, y seque los ejemplares eficientemente. El tejido vegetal contiene hasta un 90 por ciento de agua, por lo que el proceso de desecación puede tomar de 12 a 50 horas, o aun más tiempo para hojas gruesas, madera, frutos carnosos y otro material suculento. Los ejemplares de herbario adecuadamente secados deberán tener un color café o verde y ser un poco flexibles, no negros y quebradizos (aunque algunas especies de las familias Loranthaceae y Nyctaginaceae inevitablemente se ponen negras al secarse).

Existen diversas estrategias para obtener la identificación de una colección de plantas. Si

se cuenta con una buena flora[15] publicada de la región, el investigador puede tratar de utilizar las claves para identificar a los ejemplares. Si hay un botánico local especializado en la flora de la región, el investigador puede solicitarle que identifique los ejemplares.

Las identificaciones más confiables son proporcionadas por los especialistas de los grupos taxonómicos. Generalmente, un duplicado de la colección se envía como "donación para la determinación" al taxónomo experto en el grupo vegetal en cuestión, quien regresa por correo la identificación. Esto se hace usualmente a través de algún herbario. En el caso de la colección MR30, se donó un duplicado al doctor Mario Sousa, especialista en la familia Leguminosae en el herbario de la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU). Con base en su conocimiento de la Leguminosae y en trabajos publicados previamente sobre el género al cual pertenece la colección (Rudd y Wendt, 1988; Rudd, 1981, 1965), concluyó que MR30 es *Ormosia oaxacana* Rudd. En el futuro, el nombre de la especie podría cambiar como resultado de una revisión taxonómica del género o de un cambio en la identificación. Sin embargo, nunca se modificará el número de la colección.

Para el almacenamiento en un herbario, se fija el ejemplar vegetal con pegamento blanco (las partes delgadas también se cosen) sobre una hoja de papel rígido de baja acidez (tamaño de 45 por 30 centímetros). Los ejemplares de corteza, al igual que los frutos sueltos, hojas, flores y otras partes de la planta, se pueden colocar en bolsas de papel y pegarlas a la hoja de herbario. Las partes vegetales voluminosas, como los frutos de tamaño enorme y los tallos extremadamente gruesos, se empaquetan o se colocan en cajones y se almacenan por separado. Por ejemplo, los ejemplares de la mayoría de las especies de palmas se meten en cajas debido a su gran tamaño.

Se prepara una etiqueta que incluya la identificación y toda la información proveniente del campo (véanse las figuras 1.9 y 2.3, y el cuadro 2.5) y se pega sobre la hoja de herbario. El nombre científico, el cual termina con el autor de la especie, junto con el nombre del taxónomo que identificó el ejemplar y la fecha en que lo hizo, se ponen sobre la etiqueta. Por ejemplo, la colección MR30 fue etiquetada como "MR30: *Ormosia oaxacana* Rudd, identificada en abril 1991 por M. Sousa (MEXU)".

Una vez que los ejemplares están secos, pueden durar indefinidamente si se les mantiene en condiciones secas y frías y si no son atacados por insectos. En zonas templadas y en los trópicos secos, el congelamiento de los ejemplares durante 48 horas permite controlar las posibles plagas del material del herbario. Esto último funciona en los lugares donde los ejemplares se pueden archivar en condiciones secas y frías, es decir, donde la reinfestación ocurre de manera lenta. Muchos herbarios tropicales colocan naftalina en los gabinetes del herbario y este químico parece controlar a la mayor parte de las plagas, pero es también nocivo para el ser humano. Un problema similar representan las fumigaciones semestrales o anuales del herbario; sin embargo, todavía no se ha encontrado una solución más satisfactoria.

2.3 DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PLANTAS

Los bosques tropicales fueron anteriormente considerados como una comunidad más o me-

[15] El término *flora* se refiere aquí no a la vegetación real, sino a un libro o una publicación que describe en detalle la vegetación de una localidad.

nos homogénea de árboles, similares a muchos bosques templados, ya que algunas regiones tropicales mostraban grandes extensiones de bosques con una fisonomía[16] relativamente consistente. Sin embargo, la investigación de una gran cantidad de bosques ha revelado no sólo una alta riqueza local de especies, sino que también la composición florística y las especies dominantes cambian rápidamente dependiendo de la distancia. Estos cambios parecen estar parcialmente relacionados con la diversidad de hábitat dentro los bosques tropicales y con sus historias ecológicas, incluyendo perturbaciones y el subsecuente restablecimiento del bosque. De manera similar, el examen de los patrones geográficos de las distribuciones de las especies demostró que aun dentro de una región tropical caracterizada por un cierto tipo de vegetación, las especies tienden a tener distribuciones restringidas o interrumpidas.

Las especies que se limitan a cierta área se denominan como *endémicas* a esta área (*éndon* significa "dentro" en griego). Muchas regiones de bosques tropicales contienen numerosas especies vegetales endémicas. El endemismo se puede presentar a varias escalas. Algunas especies se restringen a una sola montaña, a una cordillera, o a una cuenca de un río, mientras que otras son endémicas a una región fitogeográfica mayor.

Aquí examinaremos dos ejemplos de especies arbóreas con distribuciones restringidas: *Pouteria sapota* ("mamey") y *Borojoa patinoi* Cuatrec. ("borojó"; Rubiaceae). Ambas especies tienen importancia y potencial económico, a causa de sus deliciosos frutos (véanse los "mameyes" en la portada y la figura 1.11, y los "borojos" en la figura 1.14).

El género *Pouteria* Aublet tiene 188 especies en el neotrópico, y probablemente alrededor de 150 especies en Asia tropical; las especies en el neotrópico de la familia Sapotaceae fueron revisadas por Pennington (1990). *Pouteria sapota* parece ser endémica a la parte norte de América Central, desde el sureste de México hasta Guatemala, Belice, el norte de Honduras y posiblemente hasta los bosques de la costa atlántica de Nicaragua. La especie se presenta como un árbol del dosel con baja densidad en bosques tropicales húmedos en altitudes desde el nivel del mar hasta 500 metros. En Costa Rica y Panamá, *P. sapota* parece ser sustituido por *P. fossicola*, y parcialmente por *P. viridis*, la cual en Guatemala habita en bosques montañosos, pero en Nicaragua y Costa Rica se localiza en bosques de tierras bajas (véase la figura 2.7). Estas otras dos especies también tienen frutos deliciosos aunque con sabor diferente (Pennington, 1990). Los frutos de alrededor de 10 cm de longitud de *P. sapota* no son únicamente comercializados a nivel local, sino también en las principales metrópolis mexicanas como la ciudad de México. Los frutos son también usados en la elaboración de bebidas y helados. La madera de este árbol es de buena calidad, aunque pesada.

El género *Borojoa* Cuatrec. tiene aproximadamente 10 especies en Sudamérica. Lamentablemente, no existe ninguna revisión actualizada publicada para el género, por lo que la taxonomía y la distribución exacta quedan todavía poco conocidas. La especie *B. patinoi* es un árbol o arbusto relativamente pequeño del sotobosque, encontrado con bajas densidades en los bosques lluviosos de la región biogeográfica del Chocó en la costa pacífica de Colombia y del norte de Ecuador. La especie es endémica a esta región. Sus deliciosos frutos de alrededor de 10 centímetros de diámetro son recogidos y comercializados en las ciudades

[16] Fisonomía = apariencia de la estructura física o la disposición espacial de la vegetación.

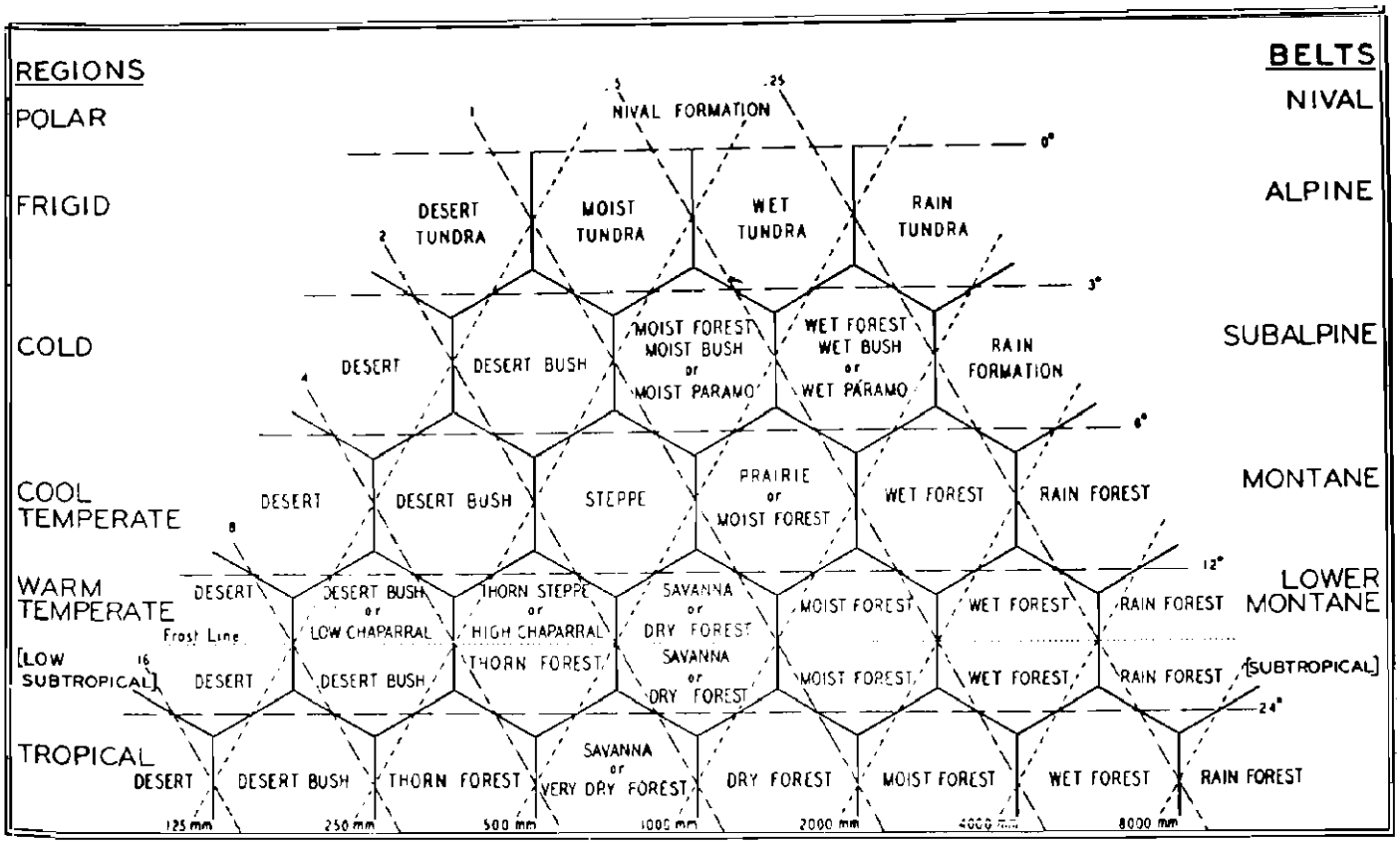


Figura 2.4. Zonas de vida del mundo según Holdridge. Este esquema enfatiza la relación entre la temperatura promedio (en grados Celsius a la derecha) y la cantidad de lluvia (en milímetros abajo). Las temperaturas promedio se aproximan a las temperaturas de la estación del año con crecimiento vegetal (biotemperatura); se determinaron para cada lugar al sumar los promedios (a través de los años) de las temperaturas mensuales mayores a 0 grados Celsius y dividir la suma entre 12. Los números a la izquierda entre 16 y 0.25 se refieren a la evapotranspiración potencial relativo, es decir, cuántas veces la cantidad de lluvia podrá evaporarse en un año bajo la presión a nivel del mar. Por ejemplo, partes del Chocó en Colombia tienen una temperatura anual promedio de más de 24 °C y una cantidad anual promedio de lluvia superior de 8,000 milímetros, por lo que se ubica como *rain forest* en el sentido de Holdridge (este término está utilizado para muchos tipos de bosques, que según Holdridge no lo son). Ilustración de Holdridge (1947), reimpresa con el permiso de la American Association for the Advancement of Science (Washington, D.C.).

locales como Quibdó, pero también llegan a los mercados de Bogotá. Los frutos se utilizan principalmente para bebidas (Ricker *et al.*, 1997; Arenas *et al.*, 1985; Romero, 1985).

ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

Los tipos de vegetación representan solamente una medida cruda de la diversidad, porque

un tipo de vegetación abarca una gran cantidad de hábitats. Para el neotrópico existen mapas de vegetación en diversas escalas. Mapas de la vegetación de Sudamérica han sido elaborados por Hueck y Seibert (1981), y por la UNESCO (1981). Los mapas en las figuras 1.4 al 1.6 ilustran la riqueza de tipos de vegetación en México, Colombia y Brasil. Existen mapas de vegetación a una escala más grande para la mayoría de los países neotropicales. Por ejemplo, en México el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), publicó un mapa detallado de todo el país a una escala de 1:250,000 (INEGI, 1987). Para Colombia, el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" ha publicado un mapa de la vegetación a una escala de 1:500,000 (Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1983).

Desafortunadamente, los esquemas de clasificación en mapas de vegetación frecuentemente no son comparables, puesto que están basados en conceptos y categorías nacionales más que internacionales. Un esquema que se ha aplicado internacionalmente como estándar, es el sistema de zonas de vida de Holdridge (1947; véase también Holdridge, 1987 [en español], 1971, 1967). Este esquema se muestra en la figura 2.4.

Descripciones y análisis de la vegetación han sido publicados para los bosques tropicales en Sudamérica (Prance, 1989), África (Hamilton, 1989), sureste de Asia (Whitmore, 1989), y los archipiélagos del Pacífico (Schmid, 1989). Walter y Breekle (1984) proporcionan un análisis para todos los trópicos y subtrópicos. Davis *et al.* (1986) han publicado un estudio de la información florística básica para todos los países del mundo. Este libro incluye un breve análisis de la flora y de los tipos de vegetación, referencias de las listas florísticas, floras y guías de campo, fuentes de información sobre plantas amenazadas, información sobre las leyes para la protección de plantas, domicilios de organizaciones civiles y jardines botánicos, así como referencias bibliográficas adicionales. Royal Botanic Gardens Kew (1990) compiló una bibliografía de conservación global de plantas.

Una evaluación del conocimiento sobre el inventario florístico de muchas regiones tropicales fue recopilado por Campbell y Hammond (1989). Botánicos especializados en diferentes partes de los trópicos proporcionaron para sus regiones un informe de la presencia de bosque tropical, una revisión de los mapas de vegetación y aspectos fitogeográficos, la situación del inventario florístico, información sobre las densidades y endemismos de las colecciones, una evaluación de inventarios anteriores, sugerencias para la investigación en el futuro, referencias y análisis de las áreas amenazadas por procesos de deforestación.

Para el botánico económico es de gran ayuda si un estudio local o regional puede basarse en un listado florístico y/o una flora publicada. Un *listado florístico* es un trabajo en donde se enumeran todas las especies de una región. También puede incluir información referente a la distribución, sinónimos, nombres comunes, altitudes y hábitat. Una *flora* (en el sentido de una publicación) es un tratamiento más completo de todas las especies que incluye claves y descripciones. Un *manual* es similar a un listado florístico, pero contiene claves para identificar las especies. El acceso más directo a publicaciones e información reciente se puede obtener generalmente en un herbario involucrado en el estudio del área de interés. En el cuadro 2.6 se proporcionan los proyectos de investigación —terminados o en preparación— para elaborar listados florísticos y floras para varias áreas de América Latina

DIVERSIDAD Y GEOGRAFÍA GLOBAL DE LAS PLANTAS

Las plantas terrestres dominantes en el mundo son las plantas con semillas. En términos de

biomasa y madera, las gimnospermas (literalmente plantas con "semillas desnudas") son importantes, porque enormes regiones de los bosques boreales del norte de América, Europa y Asia están dominados por gimnospermas de los géneros *Abies* Miller, *Picea* A. Dietr., *Pinus*, y *Tsuga* Carrière (todos Pinaceae). Sin embargo, en términos de biodiversidad, las gimnospermas aportan sólo una pequeña contribución, si se comparan las aproximadamente 530 especies de gimnospermas con las aproximadamente 230,000 especies de angiospermas (plantas con flores; literalmente plantas con "semillas cubiertas"). Además, las gimnospermas casi no habitan en los bosques tropicales de altitudes bajas, donde prácticamente todos los árboles son angiospermas; por otro lado, las gimnospermas habitan ampliamente en las regiones tropicales montañosas.

Para las plantas sin semillas, se han publicado las siguientes estimaciones de diversidad de especies (Wilson, 1988): alrededor de 11,000 especies de Pteridofita (helechos y grupos afines), 17,000 especies de Briofita (musgos, hepáticas y antoceros), 27,000 especies de Ficofita (algas) y 47,000 especies de Micofita (hongos; a veces considerado un reino separado entre los animales y las plantas). Este libro no trata las plantas sin semillas, a pesar de que algunas tienen uso y valor económico. Queremos enfocarnos en los árboles con flores.

En Heywood (1993), se proporcionan estimaciones sobre el número de géneros y especies en cada familia de angiospermas (dado por especialistas en las familias). Estas estimaciones totalizan 229,000 a 232,000 especies en el mundo, incluidas en 12,160 a 12,230 géneros de 306 familias.[17] La figura 2.5 muestra una distribución de los números de especies por familia. Obsérvese la escala logarítmica del eje horizontal. Las tres familas más grandes en el extremo derecho de la distribución son Compositae con aproximadamente 25,000 especies, Orchidaceae con aproximadamente 18,000 especies y Leguminosae con alrededor de 17,000 especies. En el extremo izquierdo de la distribución están 16 familias con únicamente una sola especie. La mayoría de las familias tienen entre 100 y 1,000 especies (el promedio es de 750 especies, y la mediana de 125). La distribución refleja la diferente evolución y extinción de las distintas familias. Las familias ricas en especies, a la derecha de la distribución, requieren para su investigación de una gran cantidad de taxónomos, mientras que unos cuantos taxónomos pueden encargarse de las familias con pocas especies.

La geografía de las plantas es el resultado de sucesos globales en la historia geológica, en particular el movimiento de los continentes y los cambios climáticos drásticos, como las glaciaciones. Los primeros fitogeógrafos dividieron al mundo en *reinos florísticos*, los cuales abarcan grandes áreas del planeta con historias geológicas compartidas y en consecuencia con floras similares; en particular, las mismas familias vegetales habitan en estas regiones. Se han diferenciado seis reinos florísticos sobre el globo: *holártico* (América del Norte, Europa y norte de Asia), *neotrópico* (América Latina sin la porción sur lejana, que forma parte del Antártico), *paleotrópico* (sureste de Asia y África sin la región del Cabo de Hornos), *capense* (la región sur del Cabo de Hornos en África), *australiano* (Australia) y *antártico* (véase Takhtajan, 1986; Czihak *et al.*, 1981).

Cada uno de los reinos florísticos muestra diferencias fundamentales entre sí, incluyendo tipos de vegetación particulares y un número de familias endémicas. Por ejemplo, Bromeliaceae

[17] El número de familias vegetales en el mundo también puede variar dependiendo del sistema de taxonomía; véase Brummitt (1992) para una presentación de ocho sistemas sugeridos para la clasificación de plantas.

CUADRO 2.6. **Ejemplos de listados florísticos y proyectos de floras terminados o en proceso para varias áreas latinoaméricanas**[a]

País	*Flora*
Brasil	Flora brasiliense (1840-1906), Flora Ilustrada Catarinense (estado de Santa Catarina), flora del estado de Goiás (en proceso), flora de la Ilha de Cardoso (estado de São Paulo, en proceso); listado florístico para el estado de Acre (en proceso) y la Reserva Ducke (estado de Amazonas; en proceso),
Colombia	Flora de Antioquia (en proceso); listado florístico del Chocó.
Costa Rica	Manual de la flora de Costa Rica.
Cuba	Flora de Cuba.
Ecuador	Flora de Ecuador (en proceso), flora de la estación biológica de Río Palenque (estado de Esmeralda, en el bosque del Pacífico); listado florístico de la Amazonía ecuatoriana.
Española	Flora Española.
Francia	Flora de Guadalupe y Martinica.
Guayana Francesa	Flora de la Guayana Francesa (en proceso).
Guatemala	Flora de Guatemala.
Jamaica	Flora sinóptica (abreviada) de Jamaica.
México	Flora de Veracruz (en proceso), Flora del Valle de México, Flora del Bajío (partes de los estados de Querétaro, Guanajuato y Michoacán); listados florísticos para las reservas de Los Tuxtlas (estado de Veracruz) y de Chamela (estado de Jalisco), listados florísticos para los estados Baja California, Chiapas, Nayarit (en proceso), Oaxaca (en proceso), Quintana Roo, Tabasco y para la Península de Yucatán.
Panamá	Flora de Panamá, flora de la isla de Barro Colorado.
Paraguay	Flora de Paraguay (en proceso).
Perú:	Flora del vivero Jenaro Herrera (en la región de Iquitos, región amazónica), listado florístico de Perú.
Venezuela	Flora de Ávila (una región subcostera cercana a Caracas).

PROYECTOS INTERREGIONALES:

Flora of the Guianas: en proceso; ponerse en contacto con el herbario nacional en Washington (EUA).[b]

Flora of the Greater Antilles: las mayores islas caribeñas, incluyendo las Bahamas, Jamaica, Española, Puerto Rico y Cuba; en proceso; ponerse en contacto con el herbario del New Botanical Garden en Nueva York (NY).[b]

Flora of the Lesser Antilles: las menores islas caribeñas, incluyendo las Islas Vírgenes, Dominica, Martinica, Santa Lucía, San Vicente y Granada; ponerse en contacto con el herbario de la Harvard University en Cambridge (GH).[b]

Flora Mesoamericana: en proceso; véase Davidse et al. (1994); ponerse en contacto con el herbario nacional en la ciudad de México (MEXU).[b]

Flora Neotropica: estructurado como una serie de revisiones; véase el cuadro 2.2; ponerse en contacto con el herbario del New Botanical Garden en Nueva York (NY).[b]

[a] Estas publicaciones se pueden obtener más fácilmente de los herbarios regionales involucrados o de un herbario internacional (sus direcciones se encuentran en el apartado 2.6).

[b] El herbario proporcionado es el principal responsable en el trabajo (domicilio en el apartado 2.6).

(la familia de la piña) y Cactaceae (la familia de los cactos) habitan de manera natural casi exclusivamente en la región neotropical, con sólo un representante de cada una de ellas en África (y la Cactaceae se extiende dentro de la parte sur de América del Norte, es decir, el holártico). Restringidas exclusivamente o casi exclusivamente al neotrópico están también las familias vegetales Quiinaceae, Marcgraviaceae, Lacistemataceae, Bixaceae, Tovariaceae, Cyrillaceae, Brunelliaceae, Krameriaceae, Martyniaceae, Thurniaceae y Tropaeolaceae. Por otra

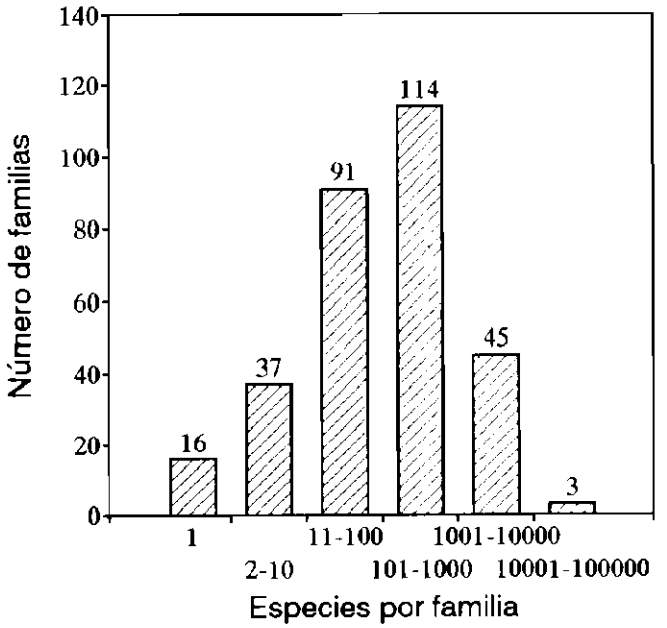


Figura 2.5. Distribución de las familias de angiospermas con base en su número de especies. Las tres familias del extremo izquierdo de la distribución son Compositae, Orchidaceae y Leguminosae. En el extremo izquierdo de la distribución están 16 familias con únicamente una sola especie. La mayoría de las familias tienen entre 100 y 1,000 especies. Obsérvese la escala logarítmica del eje horizontal (datos de Heywood, 1993).

parte, las familias vegetales características del holártico son la Salicaceae, Betulaceae, Fagaceae, Ranunculaceae, Brassicaceae, Apiaceae, y Primulaceae (Heywood, 1993; Czihak *et al.*, 1981).

A una escala global, generalmente se pueden observar tres cambios graduales de la diversidad. Primero, la diversidad biológica aumenta de los polos hacia el ecuador. Una hectárea de bosque de coníferas en el norte de Canadá tiene generalmente de una a cinco especies de árboles (DAP ≥ 10 centímetros,[18]) una hectárea de bosque deciduo, en la parte este de Estados Unidos tiene de 10 a 20 especies y una hectárea de bosque tropical tiene de 40 hasta más de 300 especies de árboles; la diversidad más alta medida ha sido de más de 300 especies de árboles (DAP ≥ 10 centímetros), obtenida sobre una hectárea de bosque en la reserva Yanamono, en la región amazónica de Perú (es decir, casi cada árbol representó una especie distinta; comunicación personal del Dr. A. Gentry, Missouri Botanical Garden, Estados Unidos, 1990). Una segunda tendencia consiste en que la diversidad disminuye dependiendo de la altitud, aunque algunos bosques montañosos pueden contener alta diversidad (véase Henderson *et al.*, 1991). Finalmente, existe una tendencia general hacia una diversidad más alta en localidades con precipitación mayor (Gentry, 1988; para más análisis véase Begon *et al.*, 1986).

La diversidad biológica está distribuida desigualmente entre los países del mundo. Por ejemplo, estimaciones del número de especies de plantas con flores son de 20,000 para México,[19] 45,000 para Colombia, 55,000 para Brasil, 11,000 para Zaire, 8,000 para Gabón, 20,000 para Indonesia, 9,000 para Papúa Nueva Guinea, 20,000 para Estados Unidos y 2,476 para la ex Alemania del Oeste (Davis et al., 1986). Algunas de estas diferencias en el número de especies se deben a las diferentes dimensiones de los países, pero mucho más importante es considerar el efecto de la latitud (tropical o templada), la topografía (la variación de la altitud), y los factores ecológicos (en particular el clima y los suelos). Ciertas áreas del planeta

[18] DAP = diámetro a la altura del pecho (1.3 metros).

[19] Estos datos varían mucho para países donde la elaboración de los inventarios florísticos básicos todavía está en proceso. Para México, Mittermeier y Goettsch (1992) reportan 26,000 especies de plantas, y Rzedowski (1993) reporta 220 familias, 2, 410 géneros y 22,000 especies de plantas con flores.

no sólo se distinguen por su alta diversidad sino también por su alto porcentaje de endemismo. Por ejemplo, para México, Rzedowski (1993) estima que el 52 por ciento de su flora fanerogámica (= plantas con semillas) se restringe a sus límites geopolíticos.

Los reinos florísticos se dividen en *provincias florísticas*, las cuales tienden a compartir los mismos géneros. La región amazónica es una provincia florística del reino florístico neotrópico; la región amazónica biogeográfica abarca alrededor de 6 millones de kilómetros cuadrados, de los cuales aproximadamente 3.7 millones están en Brasil (Pires, 1972; para un análisis de los tipos de vegetación de la región amazónica de Brasil véase también Pires y Prance, 1985).

Al igual que la mayoría de las provincias florísticas, la región amazónica muestra muy poco endemismo a nivel de la familia. De hecho, solamente las pequeñas familias Rhabdodendraceae, Duckeodendraceae y Dialypetalanthaceae se restringen a esta región, las dos últimas con únicamente una especie; además, la familia Peridiscaceae con dos géneros se restringe a la región amazónica y las Guayanas. Por otra parte, existe un grado relativamente alto de endemismo a nivel de las especies; quizá 25 por ciento de las 30,000 especies estimadas que se encuentran en la región amazónica son endémicas a esta área.

También, como en la mayoría de las provincias florísticas, existe un número de géneros endémicos para la región amazónica, incluyendo el género de los árboles del caucho de Pará *Hevea* Aublet, y la única especie de *Bixa* L., de la cual se extrae un colorante, ambas ahora también cultivadas en otras regiones. Además, muchos géneros tienen uno de sus centros de diversidad en la región amazónica, lo que significa que un alto número de las especies se encuentran ahí; algunos géneros, como *Hevea*, originalmente se restringieron completamente a la región amazónica. El cuadro 2.7 muestra algunos ejemplos de géneros con importancia económica, cuyo centro de diversidad está en la región amazónica (véase también Balick, 1985).

RAZONES PARA ESTUDIAR LA FITOGEOGRAFÍA

Existen varias razones para que un investigador dedicado a la botánica económica aproveche como herramientas las colecciones de herbarios, las publicaciones de floras (véase el cuadro 2.6) y las publicaciones taxonómicas para estudiar la fitogeografía de una especie o un género.

> *El conocimiento fitogeográfico se puede utilizar para inferir o confirmar la presencia de una especie comercial en un área determinada.*

Si un proyecto se enfoca sobre una especie en particular, la fitogeografía se puede utilizar para ayudar a ubicar las poblaciones naturales y para dirigir la selección de lugares para introducirlas en cultivo. Por ejemplo, *Dalbergia nigra* y *Caesalpinia echinata* Lam. ("palo de Brasil"), son especies maderables particularmente valiosas que se restringen a los bosques de la costa atlántica de Brasil, que han sido sobreexplotadas, y que en la actualidad son escasas en la región. Una vez que se haya determinado su extensión geográfica original, será posible buscar las poblaciones restantes para la protección, el manejo para una producción sustentable, la cosecha de semillas y la reintroducción en áreas desforestadas.

> *El conocimiento fitogeográfico se puede utilizar como herramienta para investigar nuevas especies comerciales.*

Para productos como maderas y frutas, las especies estrechamente relacionadas presentan

CUADRO 2.7. **Ejemplos de géneros económicamente importantes con centros de diversidad en la región amazónica**[a]

Arachis L. - género del "cacahuate", 22 especies, Leguminosae-Papilionoideae;
Anacardium L. - género del "anacardo", 11 especies, Anacardiaceae;
Annona L. - género de la "guanábana", alrededor de 100 especies, Annonaceae;
Bactris Jacq. ex Scop. - género del "pejibaye", 239 especies, Palmae;
Bixa L. - 2 especies (una se utiliza para la producción de un colorante rojo), Bixaceae;
Dalbergia L.f. - género de la madera "jacarandá", alrededor de 100 especies, Leguminosae-Papilionoideae;
Dipteryx Schreb. (= *Coumarouna* Aublet) - 10 especies incluyendo árboles maderables, Leguminosae-Papilionoideae;
Euterpe Mart. - género del "açai", 20 especies, Palmae;
Hevea Aublet - género del "caucho de Pará", 12 especies, Euphorbiaceae;
Hymenolobium Benth. - 10-15 especies incluyendo árboles maderables (el género está estrechamente relacionado con *Dalbergia*), Leguminosae-Papilionoideae;
Nectandra Rolander ex Rottb. - 114 especies incluyendo árboles maderables, Lauraceae;
Pouteria Aublet - género del "mamey", más de 300 especies, Sapotaceae;
Qualea Aublet - 59 especies incluyendo árboles maderables, Vochysiaceae;
Spondias L. - género del "jobo", 18 especies, Anacardiaceae;
Theobroma L. - género del "cacao"; 20 especies, Sterculiaceae;
Virola Aublet - 60 especies incluyendo árboles maderables, Myristicaceae;
Vouacapoua Aublet - 3 especies incluyendo árboles maderables, Leguminosae-Caesalpinioideae.

[a] Algunos géneros tienen varios centros de diversidad; por ejemplo, los géneros *Pouteria* y *Nectandra* tienen centros de diversidad no sólo en la región amazónica sino también en América Central. El número de especies que se proporciona considera a todas las especies del mundo.

con frecuencia cualidades similares (véanse los apartados 2.4 y 2.5). Como consecuencia, el empleo de la fitogeografía del género para localizar poblaciones de especies estrechamente relacionadas tiene varias aplicaciones prácticas:

1) Una especie relacionada con una especie maderable posiblemente se puede utilizar como fuente adicional de esta madera comercial.
2) Si la especie relacionada no se utiliza actualmente, entonces se podría introducir como una nueva fuente de frutos o de madera en el mercado.
3) Las semillas u otro material genético de las especies relacionadas que representan la diversidad genética del género, se pueden utilizar para mejoramiento genético, por lo que es importante inventariar y proteger las poblaciones de las especies relacionadas.

Un ejemplo que ilustra los puntos anteriores es el género *Dalbergia*, el cual tiene aproximadamente 100 especies distribuidas en Latinoamérica, África y Asia, muchas de las cuales se podrían investigar por su potencial como especies maderables. Otro ejemplo es el género *Nectandra*, el cual se extiende desde Florida (Estados Unidos) hasta Uruguay; de las aproximadamente 114 especies, varias se consideran buenas especies maderables (Rohwer, 1993), entre ellas la especie *N. ambigens* (Blake) Allen del sureste de México. Se debería investigar el potencial maderero de un mayor número de especies de este género en otras regiones.

Un ejemplo más es el género *Cedrela* P. Browne (Meliaceae). La especie *Cedrela odorata* L. ("cedro"), ampliamente apreciada en Latinoamérica por su madera, habita en bosques húmedos desde México hasta Argentina y en algunas islas del Caribe. Cinco de las otras siete especies de *Cedrela* producen madera con

cualidades ligeramente diferentes: *C. fissilis* Vellozo (véase la figura 2.6), *C. lilloi* C. de Candolle, *C. montana* Moritz ex Turczaninov, *C. salvadorensis* Standley, y *C. tonduzii* C. de Candolle. Algunas son menos susceptibles a las larvas de la polilla *Hypsipyla* spp. (una mariposa nocturna), una plaga grave en plantaciones de todas estas especies, al igual que para las relacionadas especies de "caoba" (*Swietenia macrophylla, S. humilis, S. mahagoni* e híbridos; Pennington *et al.*, 1981).

Buenos ejemplos de especies relacionadas con frutos valiosos se encuentran en los géneros *Pouteria* y *Annona*. *Pouteria* tiene aproximadamente 350 especies en el mundo. De las 188 especies que habitan en Latinoamérica, por lo menos 40 especies contienen frutos comestibles (véase Pennington, 1990). Ejemplos notables son *P. caimito* (Ruiz & Pavón) Radlkofer, *P. campechiana* (H.B.K.) Baehni, *P. sapota* y *P. viridis*. La figura 2.7, junto con el cuadro 2.8, proporciona las distribuciones de 16 especies, así como los nombres comunes e información acerca de su comestibilidad. Las aproximadamente 100 especies de *Annona* se encuentran en América y África. Ejemplos importantes en Latinoamérica son *A. cherimola* Miller, *A. glabra* L., *A. montana* Macfadyen, *A. muricata* y *A. squamosa* L. (para más detalles véase el género en el apartado 2.4 [#3]). Estos géneros deberían investigarse más a fondo para estudiar sus cualidades frutales y su potencial económico.

El conocimiento fitogeográfico se puede utilizar para evaluar y desarrollar áreas de producción con determinadas especies comerciales.

Para evaluar los mercados actuales y potenciales de determinadas especies económicas, es necesario conocer sus distribuciones geográficas. Una vez que se han localizado las poblaciones cultivadas y/o silvestres, se puede estu-

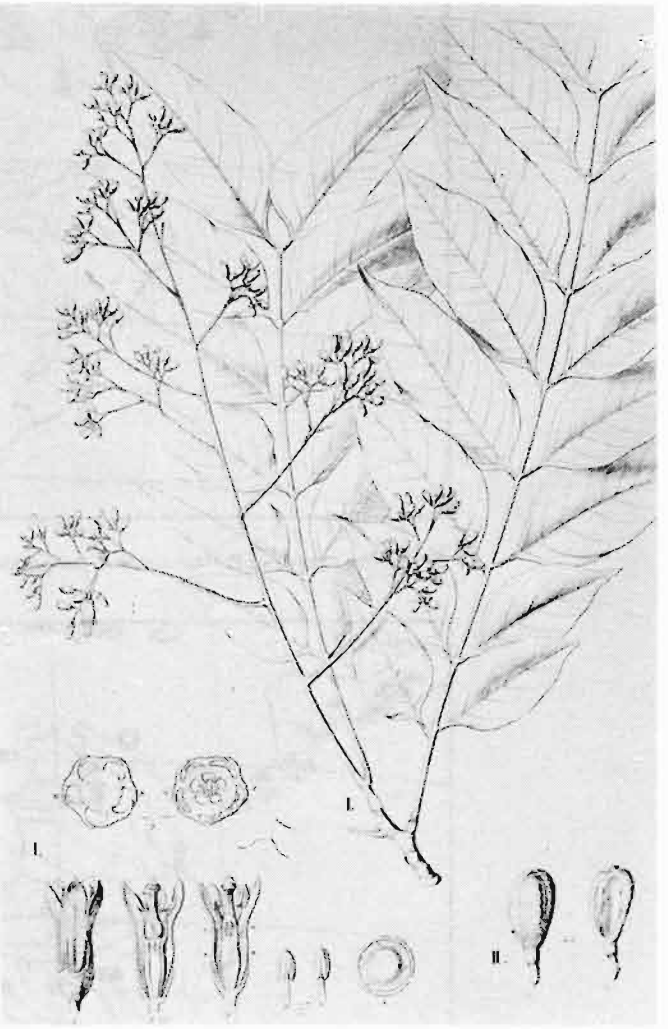
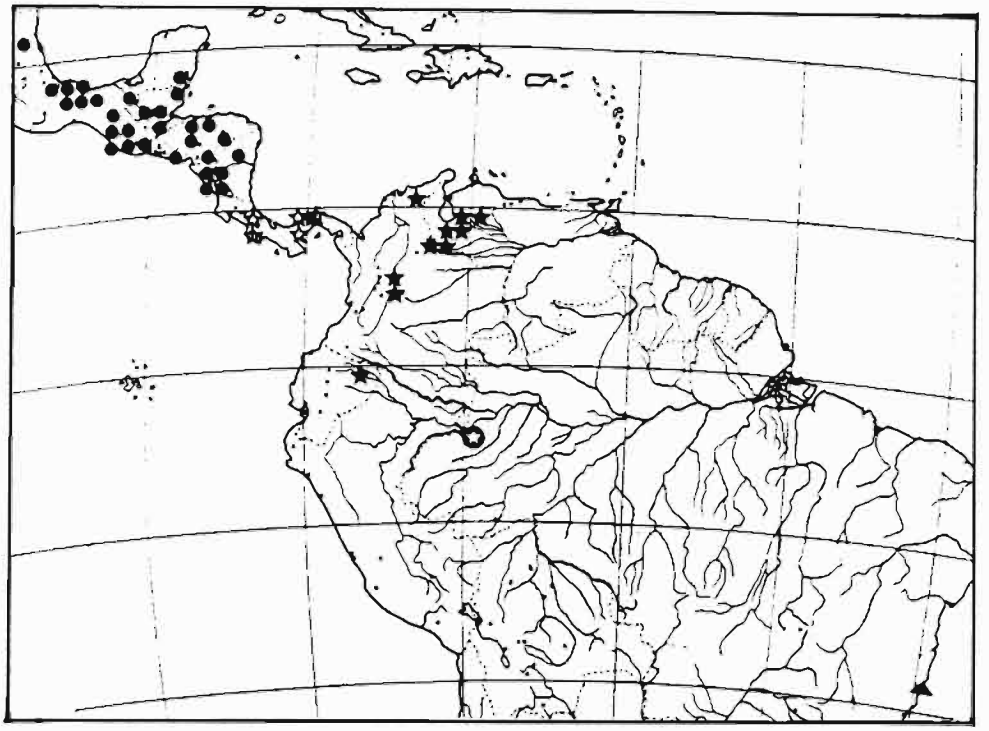
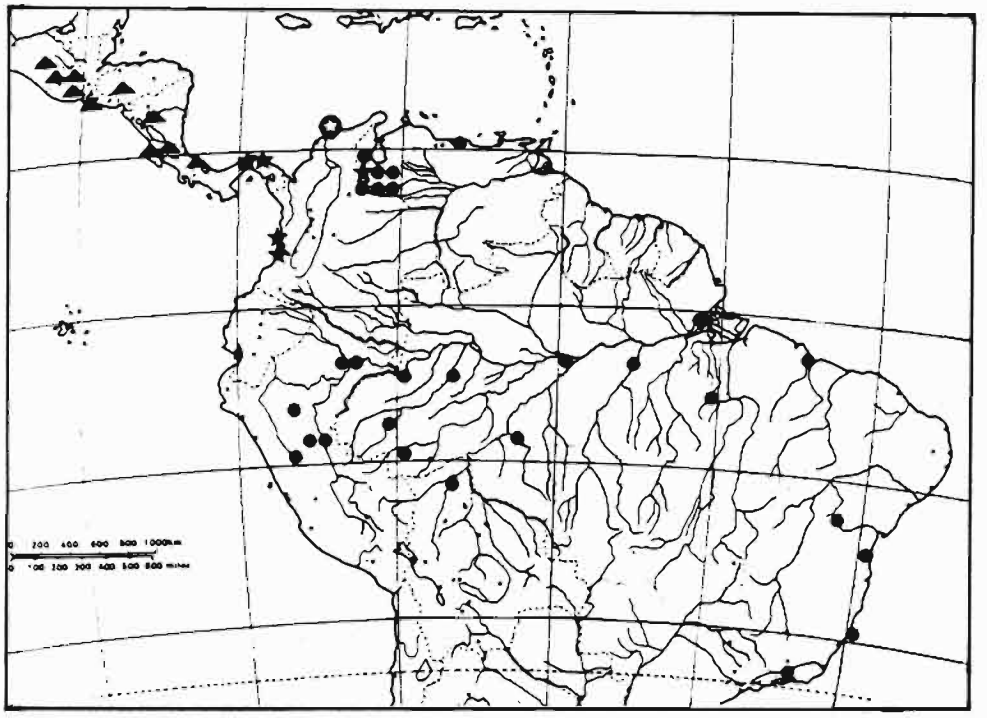


Figura 2.6. *Cedrela fissilis* Vellozo. La especie está distribuida ampliamente de Costa Rica hasta Argentina y Brasil, en bosques húmedos hasta 800 metros sobre el nivel del mar. Esta especie es menos frecuente y tiene madera de menor calidad si se compara con su más famoso pariente *C. odorata*. Sin embargo, la madera de *C. fissilis* también se comercializa y parece ser menos susceptible a los ataques de larvas de *Hypsipyla* spp. Ilustración de: von Martius, K. F. P., A. W. Eichler, I. Urban, S. L. Endlicher y E. Fenzl (eds.), *Flora brasiliensis* (volumen 11), Munich, 1840-1906; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

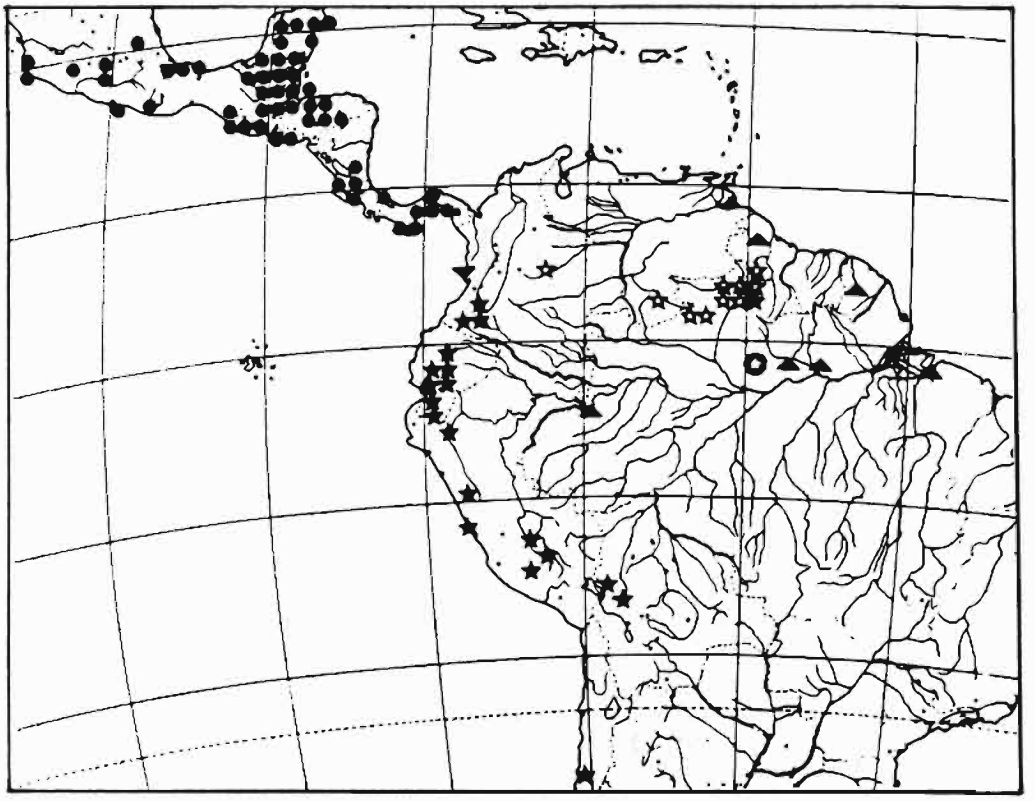


● *Pouteria sapota*; ☆ *P. fossicola*; ◐ *P. polysepala*; ▲ *P. butyrocarpa*; ★ *P. baehniana*.

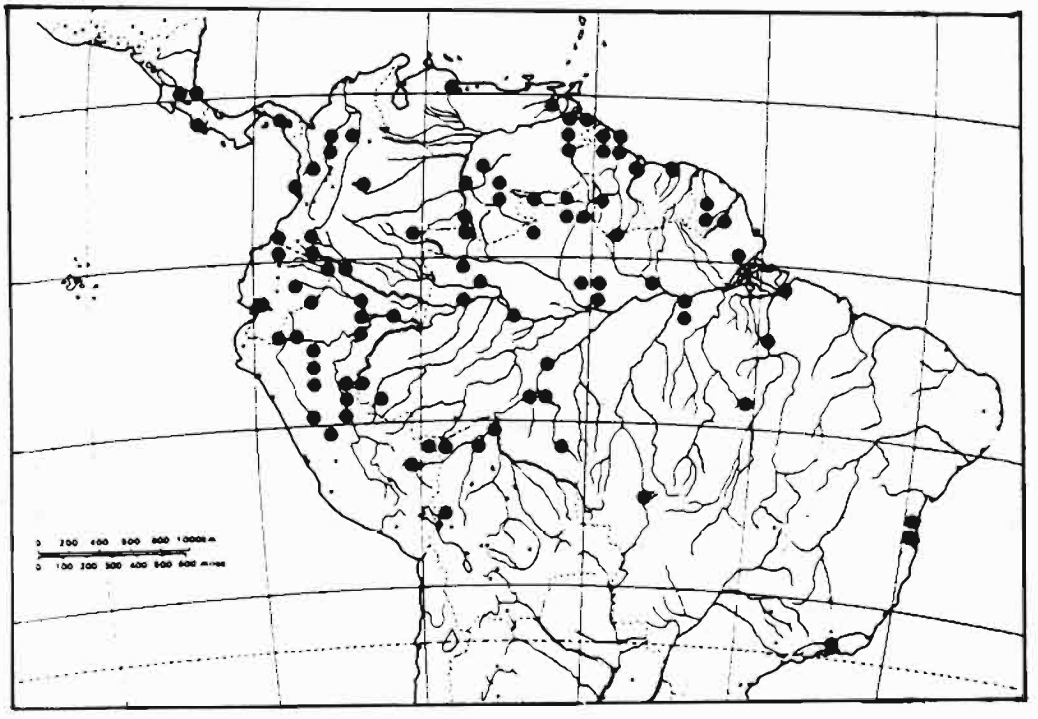


▲ *Pouteria viridis*; ★ *P. buenaventurensis*; ◐ *P. espinae*; ● *P. procera*.

Figura 2.7. Mapas de distribución de 16 *Pouteria* especies de un total de 188 en América tropical; obsérvese que en muchas regiones hay una combinación de especies de *Pouteria*, pero la combinación específica cambia de región a región. Para mayor información de cada especie véase el cuadro 2.8.



● *Pouteria campechiana*; ★ *P. lucuma*; ▲ *P. speciosa*; ☆ *P. surumuensis*; ● *P. exstaminodia*; ▼ *P. chocoensis*.



● *Pouteria caimito*.

Mapas de Pennington (1990, pp. 381, 472, 499), reimpresos con el permiso de The New York Botanical Garden, Nueva York.

CUADRO 2.8. **Nombres comunes, distribución natural y usos de las 16 *Pouteria* especies de la figura 2.7** (según Pennington, 1990)

Pouteria baehniana Monachino ("cacho", "lechoso", "níspero", "ojo de buey"); en Venezuela, Colombia hasta Panamá y Ecuador.

P. buenaventurensis (Aubréville) Pilz ("caimito propro"); en Panamá y la región del Chocó de Colombia;

P. butyrocarpa (Kuhlmann) Pennington ("cupgo", "fruta de manteiga", "pão do mato"); limitado a bosque húmedo en el sur de Bahía y Espíritu Santo en Brasil; el fruto presuntamente tiene un sabor delicioso y la madera es de buena calidad.

P. caimito (Ruiz & Pavón) Radlkofer ("abio", "abiu", "abiurana", "árbol de purma", "asipoca", "auinaquina", "caimitillo", "caimito", "caimo", "cajui", "cauje", "madura verde", "melaito", "queo", "quinilla", "temare", "wilaka", "yarazo", "yellow star apple", "ymaad", "zolive"); desde Costa Rica hasta la región amazónica de Brasil, y otra vez en la costa atlántica; en varios hábitat; frecuentemente cultivado por su fruto, que es uno de los mejores de la familia.

P. campechiana (H.B.K.) Baehni ("canisté", "guacamo", "huicame", "kakixo", "kanixte", "mamee ciruela", "mante", "narraco", "nisperillo", "ocotillo", "zapote amarillo", "zapote blanco", "zapote de niño", "zapote borracho", "zapuyul"); desde el sur de México hasta Panamá; cultivado en algunos otros países; el fruto es comestible y se vende en los mercados.

P. chocoensis (Aubréville) Pennington ("caimito popa"); conocida solamente de la colección tipo en bosque pluvial en el oeste de Colombia (Valle); su estrecha relación con las especies frutales *P. campechiana*, *P. lucuma*, y *P. surumuensis* indican que probablemente el fruto es también comestible.

P. espinae (Standley) Baehni; limitado a un área en Magdalena, norte de Colombia, en una altura de 2,000 a 2,300 metros.

P. exstaminodia Pires & Pennington; conocido solamente de la colección del tipo del río Uatuma en el Brasil amazónico; su relación cercana con *P. surumuensis* hace probable que el fruto sea comestible.

P. fossícola Cronquist ("mamey", "mamey de injerto", "mamey verde", "apote"); en Costa Rica y Panamá; el fruto es comestible y de buen sabor.

P. lucuma (Ruiz & Pavón) Kuntze ("logma", "louma", "lucuma", "lugma", "maco", "zapote mamei"); desde los Andes de Colombia hasta el norte de Chile en una altitud de 1,500 (posiblemente 700) a 3,000 metros; el fruto es muy apreciado por su sabor y la especie se cultiva.

P. polysepala Pennington; conocido solamente de la colección de tipo en el oeste de la región amazónica de Brasil; no tenemos información si el fruto es comestible, pero es probable por su estrecha relacion con *P. sapota*, *P. viridis* y *P. fossicola*.

P. procera (Mart.) Pennington ("abiurana cascuda", "cacaito", "caimito", "caimito colorado", "caramuri de várzea", "chupón", "massaranduba de várzea", "mucuri", "quina quina", "quinilla de bajo"); distribuida ampliamente en la región amazónica y alrededores.

P. sapota (Jacquin) H.E. Moore & Stearn ("grand sapotillier", "mamey", "mamey apple", "mamey colorado", "mammee sapota", "zapote colorado", "zapote", "zapote mamey"); desde México hasta Nicaragua; valioso en México y otros países por sus frutos comestibles; también tiene madera de buena calidad.

P. speciosa (Ducke) Baehni ("pajura", "pajura de Obidos"); desde Guayana hasta Pará (Brasil) y una muestra en Colombia amazónica; el fruto es comestible y de buen sabor.

P. surumuensis Baehni ("bakupar", "cucutiriba", "cutitiba", "goiti", "makararo"); en la región amazónica y parte de las Guayanas; el fruto es comestible.

P. viridis (Pittier) Cronquist ("chulul", "injerto", "yash-tul", "zapote" "zapote blanco", "zapote ingerto", "zapote mico"); desde México hasta Costa Rica; frutos comestibles de valor comparable a los de *P. sapota*, pero con sabor ligeramente distinto; también se encuentra cultivado.

diar su ecología y cuantificar su variación en productividad y calidad. Esta información se puede utilizar para localizar áreas de producción ecológicamente compatibles, para seleccionar plantas de alta productividad y calidad, y para estimar qué cantidad de producto se puede proveer bajo diferentes esquemas de manejo.

Es probable que en regiones que tienen floras similares se encuentre un número de las

mismas especies o especies estrechamente relacionadas. Especialmente a una escala menor, este tipo de información puede ayudar en el análisis y desarrollo de productos forestales, así como también de los mercados regionales para dichos productos. En regiones con recursos forestales similares, puede ser factible adoptar estrategias forestales de manejo, productos específicos y tecnologías de procesamiento que se han probado exitosamente en una región, pero que no se han intentado en otra.

Uno de los autores (D. Daly) está examinando los mercados y documentando los recursos vegetales en el estado de Acre en la región amazónica brasileña, y compara estos resultados con la investigación publicada sobre la región alrededor de la ciudad de Iquitos, en la región amazónica de Perú (por ejemplo, Peters y Hammond, 1990). En Acre, el gobierno permite asociaciones locales en áreas de bosque, experimentar con "reservas extractivas", en las cuales se practica la agricultura en pequeña escala y se busca cosechar productos forestales no-maderables de manera sustentable. Sin embargo, los recursos vegetales de Acre son poco conocidos, y los mercados locales y regionales de productos forestales están poco desarollados. Acre tiene algunos aspectos ecológicos similares y también varias de las mismas especies vegetales que la región de Iquitos, donde existe un mercado más grande y relativamente bien desarrollado para los productos forestales. Las investigaciones realizadas sugieren que podría ser posible desarrollar un mercado regional en Acre para algunos de los mismos recursos naturales, por ejemplo, las siguientes especies frutales:

- *Couma macrocarpa* Barb. Rodr. (Apocynaceae);
- *Inga* spp. (Leguminosae- Mimosoideae);
- *Jessenia bataua* (Mart.) Burret (Palmae; véase la figura 2.8);
- *Oenocarpus mapora* Karst. (Palmae)
- *Parahancornia peruviana* Monach. (Apocynaceae);
- *Rheedia* spp. (Guttiferae);
- *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae);
- *Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl., *T. subincanum* Mart. y algunas otras especies de *Theobroma* L. (Sterculiaceae).

También puede ser posible desarrollar mercados para especies relacionadas que no se presentan en el área de Iquitos, como *Spondias testudinis* Mitchell & Daly, una especie recientemente descrita, endémica a Acre y cercana a Madre de Dios, Perú. Finalmente, las especies maderables más importantes en Acre desde el punto de vista comercial podrían promoverse en la región de Iquitos; estas especies son *Swietenia macrophylla, Amburana cearensis* F.R. Allem. (Leguminosae-Papilionoideae), y *Tabernaemontana vargasii* A. DC. (Apocynaceae).

> *El conocimiento fitogeográfico es esencial para la conservación de la biodiversidad.*

Si el único lugar, donde habita una especie o aun un género, es destruido o alterado significativamente, éste se extinguirá. Por ejemplo, el género de bambú *Apoclada* McClure (Gramineae) fue endémico a una pequeña área del bosque de la costa atlántica de Brasil, pero fue extinguido antes de haberlo estudiado taxonómicamente y todo lo que se conoce de él son sólo algunos ejemplares de herbario (comunicación personal del Dr. G. Guala, University of Florida at Gainesville, Estados Unidos, 1992).

Pouteria rhynchocarpa Pennington (Sapotaceae) parece ser endémica al bosque tropical perennifolio de baja altitud en la región de Los Tuxtlas en Veracruz, México (Pennington, 1990). A diferencia de las otras especies arbóreas de este bosque, las cuales habitan en otras áreas de México, estudios fitogeográficos de *P. rhyn-*

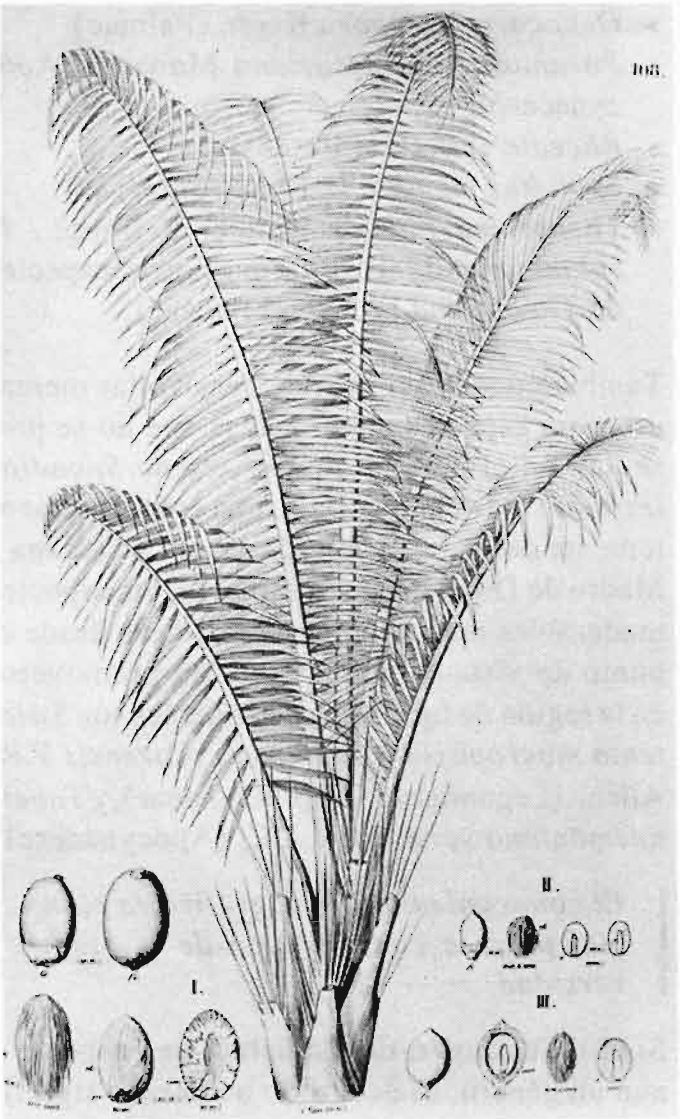


Figura 2.8. *Jessenia bataua* (Mart.) Burret. La especie se distribuye en la región amazónica y la costa pacífica de Colombia. El aceite del mesocarpio de los frutos es de alta calidad y similar al aceite de oliva. Ilustración de: von Martius, K. F. P., A. W. Eichler, I. Urban, S. L. Endlicher, y E. Fenzl (eds.), *Flora brasiliensis* (volumen 3), Munich, Alemania, 1840-1906; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

chocarpa indican que la conversión del bosque en pastizal para ganado en la región, ha restringido su hábitat a partes muy localizadas de la región de Los Tuxtlas, y sugieren la necesidad de instrumentar un programa de conservación para la especie. Varias otras especies de *Pouteria* también son conocidas de un único lugar o de una sola colección, incluyendo especies que probablemente tienen frutos comestibles (véase la figura 2.7 y el cuadro 2.8). El problema debería merecer especial atención, dado que el género *Pouteria* es económicamente importante en varios países de Latinoamérica, y se debería intentar conservar la mayor diversidad genética natural para programas futuros de mejoramiento.

Desafortunadamente, todavía es muy difícil para los taxónomos determinar con exactitud el estado de conservación de una especie. Las revisiones se basan en gran medida en ejemplares de herbario, con frecuencia recolectados hace décadas, cuando la deforestación tropical era mucho menor que en la actualidad. También debe contemplarse que muchas áreas carecen todavía de un inventario florístico local. Realizar inventarios en intervalos repetitivos, de preferencia combinados con el análisis de imágenes de satélite, jugará un papel de creciente importancia en el futuro para proteger recursos biológicos.

Si bien parece imposible detener todas las extinciones de especies, la fitogeografía puede ser utilizada para desarrollar estrategias y reducir las extinciones. Idealmente, se deberían conocer las distribuciones de todas las especies, de manera que si un área estuviera amenazada por la deforestación sabríamos a nivel local qué especies se extinguirían. Sin embargo, para la mayoría de las áreas de bosque tropical este enfoque todavía no es factible. Una estrategia práctica de conservación a nivel regional es examinar las distribuciones conocidas de especies, identificar los patrones que se repiten en aquellas distribuciones que indican las subdivisiones del área y asegurar que existen unidades de conservación en cada subdivisión fitogeográfica (véase Conservation Inter-

national, 1991). Es imperativo que al menos una porción de cada subdivisión fitogeográfica se incluya en cada clase de unidad de conservación, con el fin de maximizar el número de especies y ecosistemas protegidos.

Una subdivisión natural de la región amazónica es la parte superior del Río Negro, la cual se caracteriza por una precipitación pluvial relativamente alta, sin una pronunciada estación de sequía, una predominancia de suelos de arena blanca, pobres en nutrientes, que pueden estar inundadas por lluvias fuertes. Además, la subdivisión contiene "montañas" graníticas aisladas de hasta 1,000 metros de altitud, y bosques relativamente bajos con más troncos y menos árboles altos de gran diámetro, que es un panorama muy distinto al encontrado en otras regiones amazónicas. Además, esta región forma parte de una cuenca de río que sólo se conecta con el Río Orinoco vía el Río Casiquiare. La recientemente descrita *Protium carolense* Daly se ha encontrado en diversas partes de la parte superior del Río Negro, pero es desconocida fuera de esta subdivisión fitogeográfica. En la actualidad, a esta área no se presentan serias amenazas para su conservación (con excepción de los lugares donde se ha descubierto oro), porque los suelos son inadecuados para la agricultura. Sin embargo, mientras la colonización y el desarrollo económico continúen, los planificadores regionales tendrán que tomar las medidas necesarias para proteger una porción razonable de esta interesante región fitogeográfica.

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

Las subdivisiones fitogeográficas se basan en los patrones de distribución geográfica de numerosas especies, al igual que en otros factores como el clima, la geología y la topografía. Sin embargo, los patrones de distribución no se pueden deducir muy claramente porque no todas las especies de una región tienen las mismas distribuciones. En general, en los grupos vegetales tropicales, algunas de las especies están extendidas ampliamente dentro de una provincia florística o llegan a cubrir varias provincias. La mayoría de las especies muestran una mayor restricción y posiblemente distribuciones discontinuas (véase las distribuciones de 16 especies de *Pouteria* en la figura 2.7).

Gentry (1982) estudió una reserva forestal de 170 hectáreas en la región del Río Palenque en el bosque tropical de la costa pacífica en el oeste de Ecuador. De las 870 especies de plantas vasculares (incluyendo helechos) que habitan naturalmente en el lugar, el 31 por ciento está extendido ampliamente en América tropical, el 26 por ciento es endémico a la región del bosque pacífico, el 20 por ciento se encuentra también en América Central y las Indias Occidentales, pero no en la región amazónica, y el 19 por ciento está presente tanto en América Central como en la región amazónica; el 4 por ciento restante se encuentra en la región del río Palenque y en la región amazónica, pero no en América Central. En conclusión, la flora del Río Palenque que forma parte de la flora pacífica del noroeste de Sudamérica tiene sus afinidades florísticas más estrechas con América Central, seguida por sus afinidades con la región amazónica.

Un principio básico en ecología que tiene importantes implicaciones para la fitogeografía, es el *concepto individualista de las especies* (Gleason, 1926). Cada especie "responde" (en un sentido ecológico/evolutivo) de manera independiente a las circunstancias y los cambios en el ambiente, incluso a cambios en el pasado geológico y ecológico. Como resultado, aunque muchas distribuciones de especies en una región en cuestión se sobreponen, sus límites no corresponden exactamente. Además,

algunas especies pueden presentar un patrón de distribución muy distinto. Por ejemplo, *Protium carolense* y *Leopoldinia piassaba* Wallace ex Archer (Palmae) muestran un patrón de distribución que define la subdivisión fitogeográfica de la parte superior del Río Negro de la región amazónica. En contraparte, *Protium reticulatum* Engl. también ayuda a definir dicha subdivisión, pero sus límites de distribución son mucho más restringidos, ya que es conocido únicamente alrededor de San Carlos en la región del Río Negro, en Venezuela. No existe una explicación aparente para esta diferencia.

Otro patrón de distribución es seguido por *Protium pilosum* (Cuatrec.) Daly, el cual define la subdivisión fitogeográfica del este de la región amazónica. No obstante, algunas otras especies que se encuentran en la parte este de la región amazónica no siguen dicho patrón. Por ejemplo, la estrechamente relacionada *P. trifoliolatum* Engl. está distribuida desde Costa Rica a través de la región amazónica hasta los bosques de la costa atlántica de Brasil, cubriendo así varias provincias florísticas.

Las especies pueden estar distribuidas ampliamente, a causa de que sus hábitats están distribuidos ampliamente. Por ejemplo, *Protium aracouchini* (Aublet) Marchand es un pequeño árbol del sotobosque, adaptado a los bosques húmedos, y se encuentra en este hábitat desde Costa Rica a través del norte de Sudamérica hasta los bosques de la costa atlántica de Brasil. El hábitat preferido de *P. krukovii* Swart es el bosque de llanuras aluviales, ya que sus raíces y la parte inferior del tronco están adaptadas para sobrevivir durante largos periodos bajo el agua. A pesar de esta especialización ecológica, su hábitat es lo suficientemente amplio en la región amazónica, como para considerla una especie relativamente bien extendida dentro de dicha región.

Por otra parte, las especies pueden estar distribuidas ampliamente no porque sus hábitat estén distribuidos ampliamente, sino porque se han adaptado a varios hábitat. Por ejemplo, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertner (Bombacaceae) se encuentra en matorrales desérticos del suroeste de Ecuador, en las playas rocosas del Río Xingu en el este de la región amazónica, y en el bosque tropical húmedo del sureste de México. *Ormosia macrocalyx* Ducke (Leguminosae-Papilionoideae) se encuentra en el bosque tropical semiseco (selva baja caducifolia) en el oeste de México, así como en el bosque húmedo de baja altitud alrededor de Iquitos, Perú.

Las especies pueden tener distribuciones restringidas, lo cual puede obedecer a las siguientes razones.[20]

1) Son particularmente adaptadas o restringidas a ciertos hábitat que no están ampliamente distribuidos; esto implica básicamente que son especies menos competitivas en otros hábitat. Por ejemplo, *Protium carolense* habita solamente en los densos bosques que se encuentran sobre suelos de arena blanca en la parte superior del Río Negro de la región amazónica.
2) Existen barreras físicas que impiden la expansión de su distribución. El agua es una barrera para *Tetragastris balsamifera* (Sw.) Kuntze (Burseraceae), la cual se restringe a las islas Puerto Rico y Española. *Ormosia oaxacana* parece estar restringida a las áreas boscosas elevadas en los estados de Oaxaca y Chiapas, México (Rudd, 1981). Cada una de las especies de la familia Tepuianthaceae se restringe a la(s) cúspide(s) de una o de varias altiplanicies arenis-

[20] Para un estudio clásico sobre especiación y endemismo en la flora de California (Estados Unidos) véase Stebbins y Major (1965).

cas ("tepuis") de la región montañosa de Guayana; las altiplanicies están aisladas entre sí y de otras regiones montañosas mediante sabanas o bosques de baja altitud. Dentro de esta región, *Protium boomii* Daly es conocida sólo en una montaña en Guayana.

3) Son especies "jóvenes" en un sentido evolutivo, por lo que pueden estar en un proceso de expander su distribución, aunque este fenómeno es difícil de determinar.
4) Pueden tener polinización o dispersión de semillas restringida: los polinizadores y/o dispersadores de especies vegetales estrechamente distribuidas pueden ser escasos o con una extensión territorial limitada, provocando una baja capacidad reproductiva y de dispersión de las plantas. Un ejemplo de esto último es *Parinari montana* Aublet (Chrysobalanaceae), una especie arbórea tropical que tiene grandes y pesados frutos (alrededor de 10 centímetros de diámetro) que se dispersan únicamente en cortas distancias (comunicación personal del Dr. G. Prance, Royal Botanic Gardens, Kew, Inglaterra, 1991).
5) Posiblemente el hábitat de la especie se reduce debido a procesos naturales como cambios climáticos a largo plazo, o más frecuentemente a la actividad humana, ya sea directa por medio de la destrucción del hábitat o de manera indirecta, debido a la contaminación o a las modificaciones climatológicas regionales causadas por la conversión del bosque en las áreas circundantes. *Tetragastris occhionii* (Rizz.) Daly se restringe a la vegetación costera de dunas en los estados de Bahía y Espíritu Santo, en Brasil; este hábitat es destruido rápidamente por la expansión de ciudades y por la construcción de viviendas (Daly, 1990).

Las distribuciones geográficas pueden ser continuas o *disyuntas*. Este último concepto implica que las áreas se dividen en dos o más regiones geográficas particulares. Un ejemplo de lo anterior es *Anthodiscus amazonicus* Gleason & A.C. Sm. (Caryocaraceae), una especie de la región amazónica recientemente encontrada en los bosques subcosteros del este de Brasil (observación personal de D. Daly, 1985). Las disyunciones ocurren cuando una distribución continua es interrumpida por un suceso histórico, como el movimiento de los continentes, el levantamiento de montañas, los cambios climáticos o, en los años recientes, la conversión de los bosques por los humanos. Con excepción de las catástrofes como erupciones volcánicas y de las actividades humanas, estos sucesos usualmente tienen lugar durante varios miles de años. Finalmente, si las poblaciones separadas no vuelven a contactarse, es probable que difieran en su evolución produciendo distintas especies, aunque esto ocurra a tasas muy diferentes desde miles hasta varios millones de años[21] (Futuyma, 1986).

Para algunos casos donde las disyunciones no han dado por resultado la especiación, se ha manejado la probable existencia temporal de zonas de contacto, las cuales pueden ser producidas por cambios climatológicos. Por ejemplo, se piensa que los antiguos bosques de la costa atlántica de Brasil se han juntado en repetidas ocasiones con los bosques de la región amazónica durante periodos interglaciales

[21] Por ejemplo, el árbol *Christiana africana* DC. (Tiliaceae) se encuentra en el oeste de África, pero árboles morfológicamente idénticos habitan en el centro de Brasil y en el suroeste de Ecuador, aunque los continentes de África y Sudamérica comenzaron a separarse aproximadamente hace 100 millones de años (Rosen, 1985). Una dispersión de larga distancia es poco probable en este caso y obviamente las poblaciones aisladas de esta especie no han divergido en todo ese tiempo. Aún más notorio es el fenómeno de "fósiles vivientes"; un caso famoso es *Ginkgo biloba* L. (Ginkgoaceae, Gymnospermae), de la cual se han encontrado fósiles aparentemente idénticos, del periodo triásico, de hace 248 a 213 millones de años (Futuyma, 1986).

húmedos y que esta flora atlántica dio origen a una gran parte de la flora amazónica. Las dos regiones comparten especies, como *Anthodiscus amazonicus, Protium aracouchini, Trichilia lepidota* Mart. (Meliaceae), *Swartzia polyphylla* DC. (Leguminosae-Papilionoideae) y *Licania cymosa* Fritsch (Chrysobalanaceae). En otros grupos vegetales, estas repetidas interrupciones postuladas, han dado como resultado la especiación en *pares de especies* estrechamente relacionadas (Mori *et al.*, 1981). Un ejemplo de ello es *Spondias testudinis* del este de la región amazónica, la cual está estrechamente relacionada con *S. macrocarpa* Engl. del bosque de la costa atlántica en Brasil, en el estado de Río de Janeiro (observaciones personales de J. Mitchell y D. Daly, 1992).

De manera similar, se ha documentado que el surgimiento de los Andes hace 10 a 20 millones de años dio por resultado la formación de numerosas distribuciones disyuntas, así como de pares de especies relacionadas. *Tetragastris panamensis* (Engl.) Kuntze es disyunta en cualquiera de los dos lados de los Andes. Por otra parte, *T. altissima* (Aublet) Swart de la región amazónica es sustituida por *T. varians* E. Little a través de los Andes, cerca de la costa pacífica en el norte de Ecuador, y las dos representan un par de especies.

Es importante tener en mente el hecho de que la flora de la mayoría de los bosques tropicales no ha sido estudiada profundamente, y dado que la exploración botánica continúa, nuevas colecciones proporcionarán una panorámica cada vez más exacta de las distribuciones reales de las especies de los bosques tropicales. En muchos casos, las distribuciones conocidas se extenderán. Como consecuencia, las especies que en la actualidad se consideran endémicas a una pequeña región pueden tener una distribución más amplia. *Protium ptarianum* Steyerm. fue descrita de las laderas de Ptari-tepuí, una de las mesetas montañosas aisladas en Bolívar en la Guayana venezolana, y fue conocida únicamente de aquella localidad desde su descubrimiento en 1944 hasta 1989 cuando fue recolectada aproximadamente a 600 kilómetros de distancia del Cerro Cuao (también en la Guayana venezolana).

De igual manera, algunas especies aparentemente disyuntas podrían tener distribuciones continuas. *Protium pallidum* Cuatrec. fue descrita en el este de la región amazónica, y recientemente fue recolectada cerca de Manaus (Brasil). Contrariamente, *P. occultum* Daly fue conocida sólo de una localidad cerca de Manaus, hasta 1991, cuando fue recolectada en la región de Jari, también en el este de la región amazónica. El área intermedia está pobremente colectada, pero es incierta la posibilidad de que la especie se encuentre en esta zona, ya que los valores de precipitación pluvial son más bajos. Otro caso similar es el de *Ormosia panamensis* Benth., que es aparentemente disyunta entre el oeste de Panamá y el sureste de México (y este de Guatemala). Fue descrita en Panamá en 1854 y recolectada en México hasta la década de 1980 (Rudd y Wendt, 1988; Ibarra y Sinaca, 1987). Otra vez, está por verse si ésta es una disyunción verdadera o un efecto de una colección insuficiente en las regiones intermedias.

Un concepto que ha recibido gran atención por parte de los biólogos tropicales, aunque está todavía sujeto a controversia, es la teoría de los refugios pleistocénicos. Algunos biogeógrafos supusieron que durante los periodos de glaciación de los últimos 2 millones de años, los bosques tropicales se redujeron a "islas" separadas por grandes extensiones de sabana, debido a un clima más seco. Estas islas posiblemente se convirtieron en centros de diversificación de especies durante el periodo desfavorable, y cuando las condiciones se reestablecieron, los bosques se expandieron y se unieron otra vez. Como consecuencia, actualmente se encontrarían centros de endemismo y

alta diversidad en los bosques tropicales. En la región amazónica, varias áreas fueron sugeridas como posibles refugios (véase Prance, 1982, 1985).

Mientras que existe evidencia concreta de cambios de la vegetación en algunas regiones tropicales, existen también fuertes controversias acerca de la validez de esta teoría. Se ha cuestionado si la fragmentación de bosques fue una causa principal de diversificación (véase Bush, 1994), así como la validez de ciertos refugios sugeridos. Por ejemplo, Nelson *et al.* (1990) señalaron que en la región amazónica, los supuestos centros de refugio estaban principalmente concentrados alrededor de centros de investigación botánica y recolección (como herbarios), por lo que argumentan que el mayor grado de diversidad y endemismo en estas áreas se podría explicar por tratarse de sitios con una alta intensidad de trabajo de colecta.

2.4 FRUTOS COMESTIBLES DE AMÉRICA TROPICAL

Algunas de las especies frutales más importantes en América tropical son originarias del Viejo Mundo, como los formas cultivadas de *Musa* x *paradisiaca* L. ("plátano"; Musaceae; "x" significa que es un híbrido) de Indomalaya, *Coffea arabica* L., *C. canephora* Pierre ex Fröhner y *C. liberica* W. Bull ex Hiern ("café"; Rubiaceae) de África tropical, *Mangifera indica* L. y otras especies ("mango"; Anacardiaceae) de la India y el sureste de Asia, o diversas especies de *Citrus* L. ("naranja", "limón", "lima", "toronja"; Rutaceae) y *Artocarpus* Forster & Forster f. ("árbol de pan"; Moraceae) también del sureste de Asia. Sin embargo, el énfasis del apartado no se dará en aquellas especies introducidas y bien conocidas, sino en las especies nativas menos conocidas. Probablemente las especies frutales nativas a América tropical más conocidas son *Ananas comosus* ("piña" [#9]), *Arachis hypogaea* ("cacahuate" [#30]), *Carica papaya* ("papaya" [#11]), *Persea americana* ("aguacate" [#25]) y *Theobroma cacao* ("cacao" [#62]).

Este libro no analiza las técnicas para el cultivo de frutos. Existen textos sobre varios aspectos de la fruticultura tropical. Buenos libros en español incluyen Calderón (1993), Becerra (1992), Ochse *et al.* (1991; el original en inglés), Avilan et al. (1989), y León (1987). En inglés, Verheij y Coronel (1991), Bose y Mitra (1990), Nagy *et al.* (1990), Morton (1987), Phillipps y Dahlen (1985), así como Popenoe (1974) proporcionan información valiosa. Verheij y Coronel, así como Phillipps y Dahlen tratan las especies del sureste de Asia; sin embargo, incluyen algunas introducidas del neotrópico.

La siguiente lista es una muestra de la diversidad y las distribuciones de especies de árboles y arbustos de bosques tropicales con frutos comestibles (en su mayoría dulces) o, en ocasiones, semillas comestibles, nativas de América tropical. La información en esta lista se recopiló consultando principalmente a Hoyos (1989), complementada con Smith *et al.* (1992), Mabberley (1989), Sarmiento (1986), Chavelas y González (1985) y Cavalcante (1979, 1974 y 1972). La lista proporciona solamente ejemplos de especies con frutos comestibles y no pretende ser una recopilación completa de todas las que existen en América tropical; por ejemplo, mencionamos sólamente cuatro de las más de 40 especies en América tropical con frutos comestibles en el género *Pouteria*. Para especies adicionales, en especial de la región amazonica, véase también FAO (1987). La información acerca de las distribuciones geográficas es en ocasiones vaga o incierta, dado que la flora de muchas regiones tropicales está pobremente documentada en la literatura y en herbarios. Existen con frecuencia muchos nombres comunes para una especie, dependiendo del lugar originario de las mismas, y los nom-

bres que aquí se proporcionan son sólo ejemplos.

Muchas especies son raramente distribuidas en los mercados, y con frecuencia, sólo localmente. El potencial para la comercialización depende mucho de la especie. Sin duda alguna, varias especies están todavía poco aprovechadas, aunque sus frutos podrían ser distribuidos en los mercados internacionales, como es el caso de *Diospyros digyna* (#15), *Borojoa patinoi* (#52) y *Pouteria sapota* (#59).

ANACARDIACEAE

1) *Anacardium occidentale* L. NOMBRES COMUNES: "cashew", "cajú", "casho", "merey", "marañón", "paují", "caracolí", "chorote", "lacre rosado". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil, de Cuba a Trinidad, cultivado en India y Malaya. CARACTERÍSTICAS: árbol de alrededor de 10 metros; frutos (en realidad la base engrosada del fruto) de cerca de 8 centímetros de largo, con un sabor ácido, ligeramente astringente.
2) *Spondias mombin* L. [A], *S. purpurea* L. [B] [una especie de Asia, *Spondias dulcis* L., es ampliamente cultivada en todos trópicos]. NOMBRES COMUNES: [A] en México, "jobo"; en Nicaragua y Honduras, "jocote"; en Costa Rica "balá"; en Panamá, "jobito"; en Venezuela, "jobo", "ciruelo jobo", "hobo" y "marapa"; en Colombia, "hobo"; en Surinam, "hoeboe"; en Brasil, "acaíba", "cajá", "pau da tapera" y "taperebá"; en Perú, "taperíva" y "uvos"; [B] en Venezuela, "ciruela de huesito" y "cirigüelo". DISTRIBUCIÓN: [A] desde Mexico hasta Perú y Brasil, cultivado en Florida (Estados Unidos); [B] desde México a través de América Central hasta el norte de Perú y noroeste de Venezuela, ampliamente cultivado. CARACTERÍSTICAS: [A] árbol de hasta 40 metros; frutos 2 a 4 centímetros de largo que se utilizan en bebidas y helado, y para alimentar animales; [B] árbol de hasta 6 metros; sabrosos frutos de 2 a 3 centímetros de largo.

ANNONACEAE

3) *Annona cherimola* Miller [A], *A. glabra* L. [B], *A. montana* Macfadyen [C], *A. muricata* L. [D], *A. squamosa* L. [E]. NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "chirimoya" y "cherimoya"; [B] en México, "anona", "xmaak" y "corcho"; en Venezuela, "anón", "cayube", "chirimoya cimarrona", y "guanábano"; [C] en Venezuela, "guanábano" y "cimarrón"; en Brasil, "araticum"; [D] en inglés "soursop"; en México «guanábana»; en Brasil, "graveola"; en Venezuela, "guanábano" y "catuche"; [E] en Venezuela, "riñón", "nón", y "saramuyo". DISTRIBUCIÓN: [A] en Venezuela, Colombia, Perú, Bolivia (encima de 900 metros de altura); cultivado también en Florida (Estados Unidos); [B] en América tropical; [C] desde América Central hasta Brasil; [D] originaria probablemente de las Antillas, ampliamente introducida en América y África; [E] en América Central, ampliamente cultivada en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: [A] árbol de hasta cinco metros; frutos 15 a 30 centímetros de largo, consumidos frescos y en postres; [B] árbol de hasta 10 metros; frutos 5 a 15 centímetros de largo, consumidos frescos y en jugos; [C] árbol de hasta 6 metros; frutos 10 a 15 centímetros de largo, consumidos frescos; [D] árbol de hasta 7 metros; frutos 15 a 20 centímetros de largo, consumidos frescos, en jugos, yogurt, dulces y helados; [E] árbol de hasta 6 metros; frutos 8 a 12 centímetros de largo, consumidos frescos y en jugos.
4) *Rollinia mucosa* Jacq. Baill. NOMBRES COMUNES: "biribá", "anón", "cimarrón". DISTRIBUCIÓN: desde el norte de Sudamérica

hasta Brasil, Perú y Ecuador. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 10 metros; frutos de 8 a 10 centímetros de largo, consumidos en postres.

APOCYNACEAE

5) *Couma macrocarpa* Barb. Rodr. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "cumguaçu" y "sorva grande"; en Perú, "leche huayo". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de tamaño regular a grande; fruto de 5 a 7 centímetros en diámetro, con pulpa dulce y sabrosa.

BIGNONIACEAE

6) *Parmentiera edulis* DC. NOMBRES COMUNES: en México, "cuajilote", "guachilote", y "huajilote"; en Venezuela, "camburito" y "guajilote". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 10 metros; frutos de ocho a 15 centímetros de largo; se consume en mermelada.

BOMBACACEAE

7) *Pachira aquatica* Aublet [A], *P. macrocarpa* Walp. [B] NOMBRES COMUNES: [A] en México, "palo de agua", "apompo", "guacta" y "zapote bobo"; en Venezuela, "palo de boya", "tetón", "castaño" y "cacao del monte"; [B] "castaño", "apompo" y "zapote bobo". DISTRIBUCIÓN: [A] desde México hasta Brasil y Perú; [B] en el sur de México y América Central e introducido en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: [A] árbol de hasta 25 metros; frutos de 18 a 24 centímetros, de los cuales las semillas tostadas son comestibles y sabrosas; [B] es un árbol de hasta 20 metros; frutos de 20 a 30 centímetros de largo, de los cuales las semillas se comen hervidas o tostadas.

8) *Quararibea cordata* (Humb. & Bonpl.) Visch. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "sapota"; en Venezuela, "zapote andino", "zapote colombiano" y "zapote"; en Perú, "zapote". DISTRIBUCIÓN: Colombia, Ecuador, Perú, Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; frutos de 10 a 13 centímetros de largo, que se consumen frescos.

BROMELIACEAE

9) *Ananas comosus* (L.) Merrill [A], *A. parguazensis* Camargo & L.B. Smith [B]. NOMBRES COMUNES: [A] "pineapple"; "piña"; [B] "piña silvestre". DISTRIBUCIÓN: [A] quizá originaria de Mato Grosso en Brasil, introducida ampliamente en todo los trópicos; [B] desde Colombia hasta Surinam y la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] es una hierba de hasta un metro o más; los frutos pueden ser de más de 30 centímetros de largo y se venden en todo el mundo; existen diferentes variedades del cultivo; [B] es una epífita de hasta 1.5 metros; los frutos son menores de 15 centímetros, y no tan sabrosos como los de [A].

10) *Bromelia chrysantha Jacq.* [A], *B. plumieri* (E. Morr.) L. B. Smith [B]: NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "maya"; [B] en Venezuela, "curujujul" y "carata". DISTRIBUCIÓN: [A] en el norte de Sudamérica; [B] desde México hasta Brasil. CARACTERÍSTICAS: [A] es una herbácea epífita o terrestre de hasta 1.5 metros; frutos de cuatro centímetros de largo con sabor similar a *Ananas comosus* [#9A]; [B] como [A] pero los frutos tienen un tamaño dos veces más grande.

CARICACEAE

11) *Carica papaya* L. [A], *C. pubescens* Lenné & Koch [B]. NOMBRES COMUNES: [A] "papaya"; en Brasil, "mamgo"; en Cuba, "fruta de bomba"; [B] en Venezuela, "papayito de los Andes" y "papayola". DISTRIBUCIÓN: [A] en las laderas orientales de los Andes, en América Central y el sur de México, introducido ampliamente en otros países; [B] en Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, en altitudes de 1,500 a 3,000 metros. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 6 metros; frutos de 20 a 40 centímetros de largo (dependiendo del cultivo); se consumen frescos o en conserva; [B] es un árbol de hasta 6 metros; frutos de hasta 20 centímetros de largo, consumidos frescos o en mermeladas.

CARYOCARACEAE

12) *Caryocar nuciferum* L. [A], *C. glabrum* (Aublet) Persoon [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "almendra" y "almendro"; en Guayana, "kola", "sawarie"; en Surinam, "fireberoe", "hoera", "ingi notto" y "sawari-noot"; en inglés "souari nut" y "butter nut"; [B] en Brasil, "pequiarana"; en Venezuela, "jigua"; en la Guayana francesa, "chawari", "agougagui"; en Perú, "almendra" y "almendro"; en Surinam, "sawarie" y "sopoheodoe". DISTRIBUCIÓN: [A] originario de los bosques primarios de las Guayanas, Venezuela y Brasil, cultivado en Trinidad y las Antillas; [B] en las Guayanas y la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 45 metros de altura; fruto, una drupa de 15 centímetros de largo, semillas comestibles, ricas en aceite; [B] es un árbol de hasta 50 metros de altura, fruto de cinco a seis centímetros de largo, semillas comestibles.

CECROPIACEAE[22]

13) *Pourouma cecropiifolia* Mart. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "uva amazónica" y "cucura"; en Perú, "uvilla"; en Brasil, "mapati". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; frutos dulces, similares a uvas, de 2 a 3 centímetros de largo, consumidos frescos o en ocasiones se fermentan para producir un licor similar al vino tinto.

CHRYSOBALANACEAE

14) *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "sunsapote" y "sonzapote". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta el sur de Colombia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; frutos de 10 centímetros de largo; sabrosos a pesar de su elevado contenido de fibra.

EBENACEAE

15) *Diospyros digyna* Jacq. NOMBRES COMUNES: en México, "zapote negro" y "zapote prieto"; en inglés «black sapote». DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Costa Rica; introducido en el sur de Estados Unidos, Sudamérica y el sureste de Asia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; frutos de 10 centímetros de diámetro, dulce, con pulpa negra; se come fresco, en postres y mezclado con jugo de naranja.

ELAEOCARPACEAE

16) *Muntingia calabura* L. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "nigüito" y "majagüillo".

---

[22] Algunos taxónomos incluyen la familia Cecropiaceae en la familia Moraceae o la Urticaceae.

DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil y Bolivia. CARACTERÍSTICAS: árbol o arbusto de hasta 10 metros; frutos de 1 centímetro de diámetro, jugosos y dulces.

EUPHORBIACEAE

17) *Caryodendron orinocense* Karsten [A], *C. amazonicum* Ducke [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "palo de nuez" y "nogal de barquisimeto"; [B] en Brasil, "castanha de porco". DISTRIBUCIÓN: [A] en el valle del Orinoco en Venezuela; [B] en el noroeste de la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] árboles de 20 metros, [B] hasta 40 metros; frutos de 2 a 4 centímetros, las semillas son comestibles y apreciadas por su aceite.

GNETACEAE [GYMNOSPERMAE]

18) *Gnetum nodiflorum* Brongn. [y otras especies]. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "ituaí", "ituá" y "curucuda"; en Perú, "almendra". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: lianas de hasta 20 centímetros de diámetro, semillas rojas de 2 a 7 centímetros de largo; las semillas se tuestan y se comen o se muelen para elaborar una harina.

GUTTIFERAE (= CLUSIACEAE)

19) *Mammea americana* L. NOMBRES COMUNES: "mamey". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil, también en Florida (Estados Unidos) y el Caribe. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; frutos de 8 a 15 centímetros de diámetro; se consumen frescos o en conservas y mermeladas.

20) *Platonia esculenta* (Arruda) Rickett & Staflen. NOMBRES COMUNES: "bacuri". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; frutos de 5 a 10 centímetros de diámetro, consumidos frescos y en bebidas.

21) *Rheedia macrophylla* (Mart.) Planch. & Triana [A], *R. madruno* (H.B.K) Planch. & Triana [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "cozoiba", "bao" y "bacuri"; en Brasil, "bacuripari"; en Perú, "charichuelo"; [B] en Venezuela, "madroño" y "cozoiba". DISTRIBUCIÓN: [A] en la región amazónica; [B] desde México hasta Perú. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 17 metros; frutos de 7 centímetros de largo, consumidos frescos o procesados en bebidas y dulces; [B] es un árbol de hasta 9 metros; frutos de 4 a 9 centímetros de largo, consumidos frescos y en dulces.

HUMIRIACEAE

22) *Humiria balsamifera* (Aublet) St. Hil. NOMBRES COMUNES: en las Guayanas, "tabaniro", "tawanangro" y "houmiri"; en Colombia "oloroso"; en Brasil, "umiri", "couramira" y "turanira". DISTRIBUCIÓN: Guayanas, Colombia, Venezuela, Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; fruto, una drupa de 1 a 2 centímetros de diámetro, dulce.

ICACINACEAE

23) *Poraqueiba sericea* Tul. [y otras especies]. NOMBRES COMUNES: en Brasil "umari" y "umari preto"; en Perú "humari"; en Venezuela "cuyubi", "yuri" y "madi". DISTRIBUCIÓN: centro y oeste de la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 12 metros; fruto, una drupa de 6 a 8 centímetros de largo, amarilla o morada, la pulpa es dulce y se consume fresca.

LAURACEAE

24) *Beilschmiedia anay* (Blake) Kosterm. NOMBRES COMUNES: en México "anay negra" y "escalán". DISTRIBUCIÓN: en el sureste de México (Puebla, Oaxaca, Veracruz). CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 35 metros; frutos alrededor de 10 centímetros de largo, similar a los de *Persea americana* [#25].

25) *Persea americana* Mill. [A], *P. schiedeana* Nees [B]. NOMBRES COMUNES: [A] "aguacate" en muchos países con idioma español; en Perú "palta"; en Brasil "abacate"; [B] en México "chinine" y "chinín". DISTRIBUCIÓN: [A] en el sur de México y América Central; [B] en el sur de México. CARACTERÍSTICAS: [A] árbol de hasta 20 metros; frutos de 8 a 15 centímetros de largo, con un mesocarpo rico en aceite; distribuido en todo el mundo para su consumo fresco o procesado; [B] es un árbol de hasta 20 metros; frutos de 6 a 8 centímetros de largo, sabrosos.

LECYTHIDACEAE

26) *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. NOMBRES COMUNES: "Brazil nut", "jubía", "nuez de Brasil", "nuez de Pará", "toucá", "castanha do Brasil", "castanha do Pará". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 50 metros; frutos de 10 a 15 centímetros de diámetro y hasta 1.8 kg; las semillas ("nueces"; este último término no es correcto, porque nueces son un tipo de fruto, no solamente las semillas) se parten para comer el interior.

LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE (= CAESALPINIACEAE)

27) *Campsiandra comosa* Benth. NOMBRES COMUNES: "guamo", "chigo". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 12 metros; frutos de 20 a 35 centímetros de largo y cuatro a ocho centímetros de ancho; las semillas son comestibles aunque amargas; algunos grupos indígenas preparan bebidas y alimentan a los animales con las semillas.

28) *Dialium guianense* (Aublet) Sandw. NOMBRES COMUNES: en México, "paque" y "guapaque"; en América Central "paleta", "tamarindo montero" y "hauso"; en Colombia, "tamarindo"; en Venezuela, "cacho"; en Perú, "huitillo"; en Brasil, "jutaípeba" y "parajuba". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; frutos alrededor de 2 centímetros de largo; las semillas contienen un arilo dulce y sabroso, con sabor similar a "tamarindo" (*Tamarindus indica* L.).

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE (= MIMOSACEAE)

29) *Inga edulis* Mart. [A], *I. spectabilis* (Vahl) Willd. [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en México, "jinicuil" y "guajinicuil"; en Brasil, "ingá"; en Perú, "pala vaca"; en Venezuela, "guamo bejuco" y "rabo de mico"; [B] en Venezuela, "guamo machete" y "guamo cajero". DISTRIBUCIÓN: [A] desde México hasta la región amazónica; [B] desde México hasta el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 15 metros; frutos de hasta 1 metro de largo y 4 centímetros de ancho; la pulpa alrededor de la semillas es dulce y comestible; [B] como [A] pero con frutos más pequeños con sabrosa pulpa; muchas otras especies de este diverso género tienen una sabrosa pulpa alrededor de las semillas.

LEGUMINOSAE-PAPILIONOIDEAE (= PAPILIONACEAE)

30) *Arachis hypogaea* L. NOMBRES COMUNES: en inglés "peanut"; en México, "cacahuate"; en Venezuela, "maní" y "cacahuete". DISTRIBUCIÓN: probablemente originario en Brasil, crece en forma silvestre entre la costa atlántica y Bolivia en Sudamérica; cultivada en India, China, Estados Unidos y otros países. CARACTERÍSTICAS: planta anual de 30 a 60 centímetros de alto; las semillas se pueden comer crudas, pero en general se comen tostadas; su valioso aceite es de importancia internacional.

MELASTOMATACEAE

31) *Bellucia grossularioides* (L.) Triana. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "manzana de corona"; en Brasil, "araçá de anta"; en Perú, "níspero". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Perú y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; frutos de 3 a 4 centímetros de diámetro, con sabor aromático similar al de *Psidium guajava* [#40].

32) *Mouriri guianensis* Aublet. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "cometura" y "cascarito"; en Brasil, "gurguri"; en Perú, "lanza huayo". DISTRIBUCIÓN: en el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; frutos de alrededor de 1 centímetro de diámetro, con pulpa comestible.

MORACEAE

33) *Brosimum alicastrum* Sw. NOMBRES COMUNES: en México, "ramón", "ojite", "ojoche" y "ox"; en Belice, "macica"; en El Salvador, "ujushte blanco"; en Colombia, "palanco"; en Perú "manchinga"; en Venezuela "charo". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México a través de América Central hasta Colombia, Perú y Venezuela. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; frutos de 2 a 3 centímetros de diámetro, consumidos frescos o tostados.

34) *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaud. [sinónimo: *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.]. NOMBRES COMUNES: en México, "barossa" y "moral"; en Colombia, "dinde" y "palo amarillo"; en Perú, "insira"; en Brasil, "taiúva amarelo" y "tatajuba"; en Argentina, "tatayivásaiyú". DISTRIBUCIÓN: América tropical. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; frutos de 1 centímetro de diámetro, dulces.

35) *Poulsenia armata* (Miq.) Standley. NOMBRES COMUNES: en México, "abasbabi" y "aguatoso". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Bolivia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; frutos de 2 a 3 centímetros de diámetro, con un sabor dulce arómatico.

36) *Pseudolmedia oxyphyllaria* Donn. Sm. NOMBRES COMUNES: en México, "tomatillo", "mamba", "manash" y "ramón colorado". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Costa Rica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; frutos de 1 a 2 centímetros de diámetro, dulces.

MUSACEAE

37) *Phenakospermum guyanensis* (L.C. Rich.) Endl. ex Miq. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "platanillo", "taná" y "davillo"; en Brasil, "sororoca"; en Bolivia, "patuhucito"; en Guayana, "paroien". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: hierba con apariencia similar a un árbol, de hasta 12 metros; racimo con frutas de hasta 40 centímetros de largo, con semillas comestibles; esta planta es un pariente de *Musa* x *paradisiaca* L. ("plátano"),

el cual ha sido introducido de Indomalaya hacia todos los trópicos.

MYRTACEAE

38) *Eugenia aggregata* (Vell.) Kiaersk. [A], *E. dombeyi* (Spreng.) Skeels [B], *E. luschnathiana* Klotzsch Berg [C], *E. stipitata* McVaugh [D]. NOMBRES COMUNES: [A] "cerezo de Río Grande"; [B] "grumichama"; [C] "pitomba"; [D] "araçá-boi". DISTRIBUCIÓN: el género tiene alrededor de 1,000 especies en América tropical: [A] a [D] en Brasil; [B] cultivado en Florida (Estados Unidos); [D] en la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] es un pequeño árbol o arbusto; frutos de alrededor de 2 centímetros de largo, consumidos frescos o en bebidas; [B] es un árbol de hasta 6 metros; frutos como los de [A]; [C] es un árbol de hasta 9 metros; frutos como los de [A]; [D] es un árbol o arbusto de hasta 3 metros; frutos de hasta 12 centímetros de diámetro, muy ácidos; endulzados se utilizan en bebidas y mermelada.

39) *Myrciaria floribunda* (West et Willd.) Berg [A], *M. dubia* (H.B.K.) McVaugh [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en Venezuela, "jaboticaba amarilla"; [B] "camu-camu". DISTRIBUCIÓN: [A] desde México hasta Brasil; [B] en la región amazónica, cultivado en Florida (Estados Unidos). CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 5 metros; frutos de 1 a 2 cm de largo, consumidos frescos y en mermelada; [B] es un árbol de las llanuras aluviales de hasta 3 metros; tiene frutos ácidos de 2 a 3 centímetros de largo, y es utilizado en bebidas y mermelada.

40) *Psidium acutangulum* DC. [A], *P. friedrichsthalianum* (Berg) Niedz. [B], *P. guajava* L. [C]. NOMBRES COMUNES: [A] "guayabo agrio" y "araçá-pera"; [B] "cas", "guayabo de agua"; [C] "guava", "goiaba", "guayaba", "guayabo". DISTRIBUCIÓN: [A] norte de Sudamérica; [B] desde México hasta el norte de Sudamérica; [C] desde México hasta Brasil y Perú; cultivado en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 6 metros; tiene frutos ácidos de 5 a 7 centímetros de diámetro, los cuales se procesan en bebidas y mermelada; [B] es un árbol de hasta 8 metros; frutos de 2 a 6 centímetros de diámetro, utilizados como los de [A]; [C] es un árbol de hasta 8 metros; frutos de 3 a 8 centímetros de largo; consumidos frescos o utilizados en bebidas, dulces ("bocadillos"), y mermelada a nivel internacional.

PALMAE (= ARECACEAE)

41) *Aiphanes aculeata* Willd. (sinónimo: *A. caryotifolia* Kunth en H.B.K. NOMBRES COMUNES: "macagüita". DISTRIBUCIÓN: en el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol de hasta 10 metros; frutos de 1 a 2 centímetros; la semilla se quita del fruto seco y se puede comer fresca o en dulces.

42) *Bactris gasipaes* H.B.K. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "pijiguao" y "macanilla"; en Perú, "pijuayo"; en Brasil, "pupunha"; en América Central, "pejibaye". DISTRIBUCIÓN: desde América Central hasta Brasil. CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol de hasta 20 metros; frutos alrededor de 5 centímetros de diámetro; la pulpa almidonosa se hierve y consume o se tuesta para producir harina.

43) *Cocos nucifera* L. NOMBRES COMUNES: "coconut", "côco", "coco". DISTRIBUCIÓN: en las playas de todos los países tropicales (dispersado por corriente de agua), también cultivado tierra adentro. CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol de hasta

25 metros; las semillas ("cocos") contienen un sabroso jugo lechoso y "carne"; el jugo se procesa en bebidas y dulces.

44) *Euterpe oleracea* Mart. [A]; *E. precatoria* Mart. [B]. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "assaí" y "açaí"; en Perú, "huassai"; en Venezuela, "manaca", "palmito" y "morroque". DISTRIBUCIÓN: [A] en el este de la región amazónica; [B] en el oeste de la región amazónica y las laderas orientales de Los Andes. CARACTERÍSTICAS: [A] y [B] son palma parecidas a árboles de hasta 20 metros; frutos alrededor de 1 centímetro de largo, pulpa aceitosa que se procesa en una bebida; de los frutos también se puede extraer un aceite.

45) *Jessenia bataua* (Mart.) Burret [véase la figura 2.8]. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "patauá"; en Colombia y Venezuela, "seje"; en Bolivia, "majo". DISTRIBUCIÓN: región amazónica y la costa pacífica de Colombia. CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol, de hasta 20 metros; frutos de 3 a 4 centímetros de largo, procesados en una bebida y en un aceite de alta calidad (similar al aceite de oliva).

46) *Manicaria saccifera* Gaertn. NOMBRES COMUNES: "temiche". DISTRIBUCIÓN: desde América Central hasta el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol de hasta 6 metros; frutos alrededor de 7 centímetros de diámetro, que contienen un sabroso líquido.

47) *Mauritia flexuosa* L.f. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "moriche"; en Brasil, "buriti"; en Perú "aguaje". DISTRIBUCIÓN: en el norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; frutos alrededor de 4 centímetros de diámetro; pulpa de color naranja rica en aceite; la pulpa se come fresca o se prepara como bebida o helado; es uno de los árboles más importantes para los indígenas Warao de la región del Río Orinoco, quienes producen pan y bebidas de la pulpa interior.

48) *Orbignya cohune* (Mart.) Standley [A], *O. eichleri* Drude [B], *O. oleifera* Burret [C], *O. phalerata* Mart. [D]. NOMBRES COMUNES: [A] "cojune" y "corozo"; [B] "piassava"; [C] "côco palmeira"; [D] "babassu". DISTRIBUCIÓN: [A] en México y América Central; [B] en el noreste de Brasil; [C] en Minas Gerais y Bahía (Brasil); [D] en Maranhgo y Piauí (Brasil). CARACTERÍSTICAS: palmas parecidas a árboles (excepto [B], con tallo subterráneo); frutos de [A] y [B] alrededor de 5 centímetros de largo, de [C] y [D] alrededor de 9 centímetros de largo, con un mesocarpo almidonoso, endocarpo leñoso y semillas ricas en aceite, las cuales se consumen frescas o, más frecuentemente, se prensan para extraer el aceite.

49) *Oenocarpus bacaba* Mart. [A], *O. distichus* Mart. [B]. NOMBRES COMUNES: [A] en Brasil, "bacaba"; en Colombia, "manoco" y "milpesos"; en Perú, "baniba"y "ungurahui"; [B] "bacaba-de-leque", "bacaba-de-azeite", "bacaba-do-Pará". DISTRIBUCIÓN: [A] en el norte de Sudamérica y Panamá; [B] en Pará y Maranhgo (Brasil). CARACTERÍSTICAS: palma parecida a un árbol con alrededor de 12 metros; frutos alrededor de 2 centímetros de diámetro; se prensan para elaborar una bebida a partir de la pulpa aceitosa; con frecuencia, el aceite se separa y se utiliza para cocinar.

PASSIFLORACEAE

50) *Passiflora edulis* Sims [A], *P. laurifolia* L. [B], *P. ligularis* Juss. [C]. NOMBRES COMUNES: [A] "parchita maracuyá", "maracuyá"; [B] "parcha de culebra"; [C] "parchita amarilla", "granadilla dulce". DISTRIBUCIÓN: [A] en Brasil, cultivado en otras

regiones; [B] en el norte de Sudamérica; [C] desde México hasta Perú y Bolivia en 1,000 a 3,000 metros de altitud. CARACTERÍSTICAS: [A] a [C] son trepadoras; sabrosos frutos de 4 a 7 centímetros de diámetro. consumidos frescos o se preparan jugos y postres.

RUBIACEAE

51) *Alibertia edulis* A. Rich. NOMBRES COMUNES: en Brasil, "puruí", "apuruí", "genipapinho", "kiraru", "mermelada de cachorro"; en Perú, "huitillo"; en Surinam, "tontoe siri". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Bolivia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 7 metros; frutos dulces, carnosos de 2 a 3 centímetros de largo; las semillas tostadas se utilizan como sustitutos de café (*Coffea* sp. es de la misma familia, pero originario de África).

52) *Borojoa patinoi* Cuatrec. [A]; *Borojoa sorbilis* (Ducke) Cuatrec. (sinónimos: *Thieleodoxa sorbilis* Ducke, *Alibertia sorbilis* Ducke) [B]. NOMBRES COMUNES: [A] "borojó"; [B] "puruí grande". DISTRIBUCIÓN: [A] en los bosques de la costa pacífica de Colombia; [B] en el oeste de la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] y [B] son árboles de hasta 6 metros; frutos de 6 a 10 centímetros de diámetro, con sabor aromático y dulce; se utilizan para elaborar bebidas; aun cuando todavía son poco conocidos fuera de sus regiones, resultan muy apreciados por la gente local.

53) *Genipa americana* L. NOMBRES COMUNES: en México, "yuale" y "jagua azul"; en Colombia, "angelina"; en Venezuela, "caruto"; en Perú "palo colorado" y "huitoc"; en Brasil, "genipapeiro". DISTRIBUCIÓN: en América tropical (ampliamente cultivado por algunos grupos indígenas). CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; fruto de 10 a 12 centímetros de diámetro; se consumen solos, en ensaladas y se utilizan para preparar mermelada o un licor.

RUTACEAE

54) *Casimiroa edulis* Llave & Lexarza. NOMBRES COMUNES: "manzana de México" y "zapote blanco". DISTRIBUCIÓN: en zonas alta altitud de México y América Central. CARACTERÍSTICAS: árbol de tamaño regular; frutos de ocho a 12 centímetros de diámetro, dulces, no ácidos y con un elevado contenido de vitamina C (el género *Citrus* ["limones" y "naranjas"] es relacionado, pero introducido en América tropical del sureste de Asia).

SAPINDACEAE

55) *Melicoccus bijugatus* Jacq. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "mamón", "mamoncillo" y "maco"; en Brasil, "pitomba"; en Surinam, "tackeboom"; en las Indias Occidentales, "genip" y "quenette". DISTRIBUCIÓN: Sudamérica tropical, cultivado en África y Asia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; frutos de 2 a 3 centímetros de diámetro; se consume la pulpa fresca y las semillas tostadas (contienen proteína).

56) *Talisia esculenta* Radlk. [A], *T. hexaphylla* Vahl [B], *T. oliviformis* (H.B.K.) Radlk. [C]. NOMBRES COMUNES: [A] "pitomba" y "cotopalo"; [B] "mamón cutuplís" y "cotopalo"; [C] "guaya". DISTRIBUCIÓN: [A] y [B] en la región amazónica; [C] en el sur de México. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 15 metros; frutos agridulces alrededor de 3 centímetros de largo; [B] y [C] son árboles de hasta 25 metros; frutos como los de [A].

SAPOTACEAE

57) *Chrysophyllum cainito* L. NOMBRES COMUNES: "caimito". DISTRIBUCIÓN: América Central, cultivado en Sudamérica y en Florida (Estados Unidos). CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; frutos dulces de 5 a 8 centímetros de diámetro.

58) *Manilkara zapota* (L.) von Royen (sinónimo: *Achras zapota* L.). NOMBRES COMUNES: en México, "chicozapote"; en Venezuela, "níspero". DISTRIBUCIÓN: aparentemente nativo al sur de México, Guatemala, Belice y Nicaragua; cultivado ampliamente en América Central y las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; frutos sabrosos de 5 a 10 centímetros de diámetro, consumidos frescos; la especie es también valioso por su látex para la producción de chicle, y por su madera.

59) *Pouteria caimito* (Ruiz & Pavón) Radlkofer [A], *P. campechiana* (H.B.K.) Baehni [B], *P. sapota* (Jacquin) H. E. Moore & Stearn [C], *P. viridis* (Pittier) Cronquist [D] y otras de las 188 especies neotropicales (véanse la figura 2.7 y el cuadro 2.8 para mayor información). NOMBRES COMUNES: [A] en Ecuador, "abio" y «cajui»; en Brasil, "abiu" y "abiurana"; en Perú, "caimitillo"; en Ecuador, "cajui"; en Colombia, "caimo" y "madura verde"; [B] "canisté", "zapote amarillo", y "huevo vegetal"; [C] "mamey" y "zapote mamey"; [D] "zapote verde". DISTRIBUCIÓN: [A] desde Costa Rica hasta la región amazónica central, también en los bosques de la costa atlántica de Brasil; ampliamente cultivado; [B] desde México hasta Panamá; [C] desde México hasta Nicaragua; [B] y [C] cultivado en Sudamérica y Florida (Estados Unidos); [D] en Guatemala y Honduras de 1,000 a 2,000 metros de altitud. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol grande con frutos de 3 a 8 centímetros de largo, que se consumen frescos; [B] es un árbol de hasta 20 metros; frutos de 5 a 8 centímetros de largo, consumidos frescos, en bebidas o helados; [C] es un árbol de hasta 40 metros; frutos de 8 a 20 centímetros de largo, utilizados frescos o procesados; [D] es un árbol de hasta 20 metros; frutos de 10 centímetros de largo; todos los frutos de [A] a [D] son muy apreciados por su dulce y típico sabor.

SOLANACEAE

60) *Solanum quitoense* Lamarck [A], *S. sessiliflorum* Dunal (sinónimo: *S. topiro* Humb. & Bonpl. ex Dunal) [B]. NOMBRES COMUNES: [A] "lulo" y "naranjilla"; [B] "topiro", "lulo grande", "cocona". DISTRIBUCIÓN: [A] en Perú, Ecuador y Colombia de 1,500 a 2,300 metros de altitud; [B] en la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] es un árbol de hasta 4 metros, con frutos ácidos de 2 a 6 centímetros de diámetro, con un alto contenido de vitamina C, utilizado en bebidas y conservas; [B] es un arbusto de hasta 2 metros con frutos similares a los de [A].

STERCULIACEAE

61) *Sterculia apetala* Karsten. NOMBRES COMUNES: en México, "bellota" y "castaño"; en Venezuela, "cascaito" y "camoruco"; en Colombia, "amajaru" y "camajoru". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta el norte de Sudamérica, cultivado en Florida (Estados Unidos) y en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; frutos de 6 a 12 centímetros de largo; las semillas contienen grasa y se consumen tostadas.

62) *Theobroma cacao* L. [A], *T. bicolor* Humb. & Bonpl. [B], *T. grandiflorum* K. Sch. [C], *T. speciosum* Willd. ex Spreng. [D]. NOM-

BRES COMUNES: [A] "cacao"; [B] en Brasil, "cacau-do-Perú"; en Perú, amazónica, en Colombia, "macambo"; [C] "cupuaçu", "cacao silvestre" y "bacao"; [D] en español "cacao amazónico"; en Brasil, "caucauarana"; en la Guayana francesa, "cacao sauvage"; en Surinam, "bouchi kakao". DISTRIBUCIÓN: [A] en las regiones húmedas de América tropical (probablemente se originó en la región amazónica), cultivado en todos los trópicos húmedos; [B] es cultivado desde el sur de México hasta Bolivia y Brasil; originario de Guatemala o el oeste de la región amazónica; [C] desde el sur de México hasta Brasil; [D] en la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: [A] es un pequeño árbol; frutos de 10 a 20 centímetros de largo; las semillas están rodeadas de una pulpa dulce la cual se puede comer; con las semillas se elabora el chocolate; existen diversas variedades de cultivos; [B] es un árbol de 12 a 15 metros; fruto de hasta 30 centímetros de largo y de 12 centímetros de diámetro; la pulpa se utiliza en bebidas, las semillas se tuestan; [C] es un árbol de hasta 20 metros; frutos alrededor de 30 centímetros de largo, utilizados como los de [A], aunque el chocolate es de calidad inferior; [D] es un árbol de hasta 12 metros; frutos de siete a 10 centímetros de largo, utilizados como las de [A].

ZINGIBERACEAE

63) *Renealmia occidentalis* (Sw.) Sweet. NOMBRES COMUNES: "conopio" y "bijao". DISTRIBUCIÓN: América tropical, especialmente en la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: hierba de hasta 2 metros; frutos alrededor de 1 centímetro de diámetro; la pulpa que rodea a la semilla es comestible.

2.5 MADERAS DE AMÉRICA TROPICAL

La mayoría de las maderas se venden bajo un nombre común, sin conocer o denominarlas por su nombre científico. Esto es una fuente de confusión y un problema para la investigación científica sobre producción y comercialización de maderas. Estudios futuros al respecto, ya sea locales, regionales o internacionales, deberían incluir medidas para asegurar la identificación científica de las especies maderables.

Una gran parte de la literatura sobre maderas menciona solamente el género de éstas, sin proporcionar cuáles especies han sido analizadas en dichos casos. Las excepciones son las especies más valiosas como *Dalbergia nigra* (#45) o *Swietenia macrophylla* (#52), así como especies ampliamente utilizadas por su alto rendimiento como *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae; de Australia), *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae; de India) o *Pinus caribaea* (#58). El tratado de Chudnoff (1980), al igual que otros inventarios, muestra que el mercado maderero se enfoca frecuentemente sobre el nivel genérico en lugar de considerar especies particulares. Este enfoque es relativamente sencillo de aplicar en aquellos casos en que las propiedades madereras son lo suficientemente similares para la comercialización. Sin embargo, esto es solamente válido hasta cierto grado; es útil o hasta indispensable conocer las especies que se están manejando.

La siguiente lista, compilada de Chudnoff (1980) proporciona ejemplos de especies maderables de América tropical. No obstante, citamos únicamente los árboles maderables de los cuales se conoce la especie. En algunos casos, proporcionamos varias especies para un género, como por ejemplo, para *Dalbergia* y *Pinus*. Otros géneros también pueden contener varias especies con valor comercial de su madera, pero citamos solamente a una de ellas.

La lista no contiene todas las maderas de América tropical. Otras fuentes bibliográficas sobre recursos maderables tropicales incluyen: Record y Hess (1943), acerca de maderas en el Nuevo Mundo; Echenique-Manrique y Plumptre (1990), sobre maderas mexicanas y beliceñas; Barajas-Morales *et al.* (en prensa), sobre maderas mexicanas de los bosques húmedos, así como Mahecha *et al.* (1984) y Suárez *et al.* (1984), sobre los recursos madereros de Colombia. Loureiro *et al.* (1979) y el Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1988) proporcionan información sobre las especies maderables de la región amazónica, y Longwood (1971) sobre las maderas del Caribe. También puede encontrarse información valiosa en Mabberley (1989).

Este libro no incluye aspectos sobre la tecnología y la evaluación de las propiedades de las maderas; este tema es tratado por ejemplo en Haygreen y Bowyer (1989). Tampoco se enfoca en la selección de especies para la silvicultura intensiva. En su lugar, este apartado pretende demostrar la diversidad de los recursos maderables; no únicamente su diversidad taxonómica, sino también la variedad en la calidad de las maderas.

Se proporcionan dos parámetros técnicos: la *densidad* de la madera seca y la *resistencia máxima al aplastamiento a 12 por ciento de humedad*. La densidad se calcula a partir del peso y del volumen al secar la madera al aire libre, con un contenido de humedad de aproximadamente 12 por ciento. El índice de aplastamiento máximo mide la cantidad de presión de compresión que se puede aplicar paralelamente a la fibra de la madera hasta que ésta se aplasta. La densidad se proporciona en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3); la resistencia máxima al aplastamiento se da en Mega-Pascal (Pascal es una unidad de física para cuantificar presión; un Mega-Pascal es 10^6 Pascal).

Chudnoff (1980) proporciona además una descripción general de la madera, propiedades mecánicas adicionales como *resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, dureza lateral de Janka, firmeza del [Madison] Products Laboratory*, información sobre secado y contracción, propiedades de trabajo, durabilidad y preservación. El autor incluye información sobre un gran número de géneros neotropicales, así como maderas de África y del sureste de Asia.

Los datos técnicos presentados por Chudnoff (1980) proporcionan para la mayoría de las especies un solo valor para cada parámetro, sin ninguna información sobre la variabilidad de las medidas, por lo que se deben emplearlos con cuidado. El análisis de los datos sobre la densidad y la resistencia máxima al aplastamiento para todas las especies enlistadas aquí, da por resultado las siguientes conclusiones: la densidad de la madera varía entre 200 y 1,300 kg/m^3 con una distribución normal y con un promedio aproximado de 700 kg/m^3.[23] La resistencia al aplastamiento varía entre 10 y 110 Mega-Pascal, y también presentaba una distribución normal, con un promedio aproximado de 50 Mega-Pascal.

Si se realiza una gráfica de la resistencia máxima al aplastamiento contra la densidad (véase la figura 2.9) y se lleva a cabo una regresión (véase el cuadro 4.7) queda demostrado que existe una dependencia lineal significantiva. Esto indica que los datos sobre la densidad de una madera, la cual es relativamente simple de medir aun en el campo, proporcionan también cierta información sobre la resistencia al aplastamiento. Como resultado de esto, puede concluirse que la resistencia máxima al aplastamiento en Mega-Pascal es

[23] El agua tiene una densidad de 1,000 kg/m^3 y las maderas con una densidad más alta se hunden.

aproximadamente la densidad en kilogramos por metro cúbico, multiplicado por 0.08.

En la siguiente lista, las especies maderables tropicales están ordenadas alfabéticamente por familia. Para cada especie se presenta el nombre científico y su autor, algunos nombres comerciales y comunes, la distribución geográfica natural, las propiedades de la madera, así como sus usos. Nombres comunes adicionales se encuentran en Ross (1989).

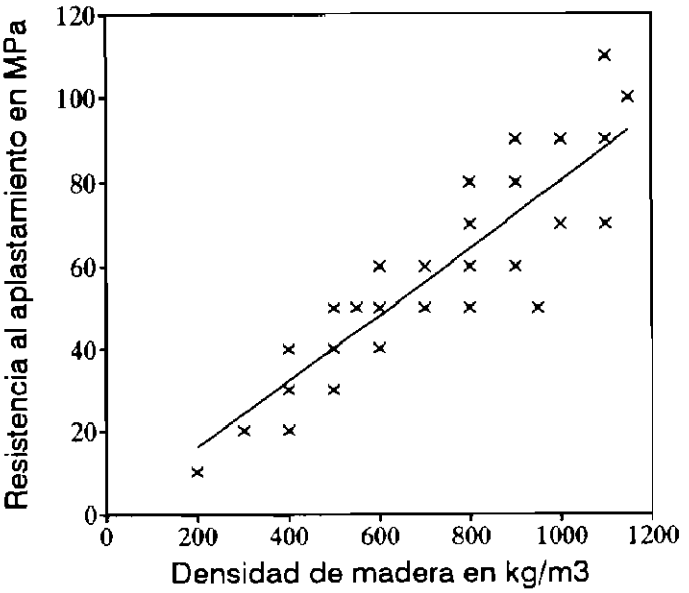


Figura 2.9. Relación entre la densidad de la madera y la resistencia máxima al aplastamiento de las especies maderables incluidas en la lista de este apartado (MPa = Mega-Pascal). Al incrementar la densidad, también aumenta la resistencia al aplastamiento de manera lineal (datos de Chudnoff, 1980).

ANACARDIACEAE

1) *Anacardium excelsum* (Bertol. & Balb.) Skeels. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "espave"; en Venezuela, "mijao"; en Colombia, "caracoli"; en Brasil, "caju-assú y "caju da mata"; en Ecuador, "marañón". DISTRIBUCIÓN: Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Brasil y Ecuador. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: recomendada para construcción, muebles, enchapado, contrachapado, pulpa de madera y papel.
2) *Astronium graveolens* Jacq. [también se utilizan *A. fraxinifolium* Schott y *A. urundeuva* (Allemão) Engl.]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Gonçalo Alves"; en México, "palo de cera" y "palo de culebra", en Colombia, "gusanero"; en Venezuela, "gateado"; en Brasil, "guaritá"; en Ecuador, "guasango". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú, Paraguay y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 35 metros; densidad de la madera, 1,000 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 70 Mega-Pascal. Usos: madera pesada, duradera, excepcional para construcción, muebles, ebanistería, enchapado, y tallados.
3) *Campnosperma panamensis* Standl. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "sajo" y "orey". DISTRIBUCIÓN: Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. Usos: para cajas, componentes de muebles, contrachapado, pulpa de madera y papel.
4) *Spondias mombin* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "jobo" o "hog plum"; en México, "jobo"; en Nicaragua, y Honduras "jocote"; en Costa Rica, "balá"; en Panamá, "jobito"; en Venezuela, "jobo", "ciruelo jobo", "hobo" y "marapa"; en Colombia, "hobo"; en Surinam, "hoeboe"; en Brasil, "acaíba", "cajá", "pau da tapera" y "taperebá"; en Perú, "taperíva" y "uvos". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú y Brasil, también cultivado. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta

40 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para cajas, carpintería general, contrachapado y componentes de muebles (también se comen los frutos; véase la especie en el apartado 2.4 [#2]).

ANNONACEAE

5) *Oxandra lanceolata* (Sw.) Baillon. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "West Indian lancewood"; en Puerto Rico, "haya prieta"; en Panamá y Cuba, "yaya"; en Haití, "bois de lance". DISTRIBUCIÓN: Cuba, Jamaica, Española y Puerto Rico. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 15 metros; densidad de la madera, 1,000 kg/m^3. Usos: para cañas de pescar, tacos de billar, arcos para ballestería, trabajos de tornería y mangos de herramientas pequeñas.

APOCYNACEAE

6) *Couma macrocarpa* Barb. Rodr. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "cow tree"; en Colombia, "perillo negro" y "avichuri"; en Venezuela, "guaimaro macho" y "vacahosca"; en Guayana, "dukaballi"; en Surinam, "amaapa"; en Perú, "leche caspi"; en Brasil, "cumguaçu" y "sorva grande". DISTRIBUCIÓN: región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para talleres interiores, construcción general, componentes de muebles, enchapado, cajas (también se comen los frutos; véase la especie en el apartado 2.4 [#5]).

ARALIACEAE

7) *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planchón. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Angelica tree"; en México, "mano de oso" y "palo santo"; en Panamá, "nagua blanca" y "vaquero"; en Venezuela, "quesito" y "pama"; en Colombia, "banco"; en Brasil, "Maria mole". DISTRIBUCIÓN: desde Indias Occidentales y México hasta Colombia, Venezuela y Bolivia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para cajas, carpintería general, construcción de interiores, muebles de uso general, enchapado y contrachapado.

8) *Didymopanax morototoni* (Aublet) Decne. & Planchón. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "morototó"; en Venezuela, "yagrumo macho" y "tinajero"; en México, "chancaro blanco"; en Brasil, "mandioqueira"; en Argentina, "ambay-guazú". DISTRIBUCIÓN: desde las Indias Occidentales y México hasta Guayanas, Brasil y Argentina. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para carpintería general y construcción de interiores, contrachapado de uso general, cajas, madera comprimida.

BIGNONIACEAE

9) *Cybistax donnell-smithii* (Rose) Seib. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "primavera" en México, "uranga"; en Guatemala, "palo blanco"; en Honduras, "San Juan"; en El Salvador, "cortez blanco". DISTRIBUCIÓN: en el sur de México, Guatemala, Honduras, El Salvador. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. Usos: para muebles finos, ebanistería, enchapado decorativo, decoración de interiores.

10) *Jacaranda copaia* D. Don. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "copaia"; en Pana-

má, "gualandai"; en Colombia, "chingale"; en Venezuela, "abey" y "cupay"; en Surinam, "goebaja"; en Brasil, "carnaúba da mata" y "para-pará". DISTRIBUCIÓN: desde Belice hasta Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para componentes de muebles, construcción de interiores, contrachapado de uso general, cajas y embalajes, cerillos, madera comprimida, pulpa de madera y papel.

11) *Paratecoma peroba* (Rec.) Kuhlm. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "white peroba", "peroba do campo"; en Brasil, "ipê peroba", "peroba", "peroba branca" y "peroba manchada". DISTRIBUCIÓN: en los bosques de la costa atlántica de Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para muebles finos, ebanistería, cubiertas y entarimados, tintas, enchapado decorativo.

12) *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. [y otras especies; el género tiene alrededor de cien especies en América tropical]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "roble" y "mayflower"; en México «primavera», "roble blanco"; en Venezuela, "apamate". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Ecuador; en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para entarimados, muebles, ebanistería, decoración de interiores, mangos de herramientas, enchapado decorativo, construcción de embarcaciones; se le ha sugerido como un sustituto del "fresno" (*Fraxinus* spp.; Oleaceae) y del "roble" (*Quercus* spp.; Fagaceae).

BOMBACACEAE

13) *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "pochote"; en Nicaragua y Honduras, "cedro espino"; en Venezuela, "saquisaqui"; en Colombia "ceiba tolua". DISTRIBUCIÓN: desde Nicaragua hasta Colombia y Venezuela. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. Usos: para construcción en general, acabados interiores, muebles, enchapado, contrachapado, madera comprimida, pulpa de madera y papel.

14) *Ceiba pentandra* (L.) Gaertner. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "ceiba", "silk-cotton tree", "kapok tree"; en México, "pochote" y "yaxché"; en Colombia, "bonga" y "ceiba de lana"; en Venezuela, "ceiba yuca"; en Brasil, "sumaúma"; en Bolivia, "toborochi". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Venezuela, Brasil y Ecuador; también en África (con 70 metros, es el árbol más alto en este continente); introducido en el sureste de Asia por su "capok" (= "lana de ceiba"). CARACTERÍSTICAS: árbol de más de 40 metros; densidad de la madera, 300 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 20 Mega-Pascal. Usos: para contrachapado, empaques, construcción ligera, pulpa de madera y papel, construcción de canoas; los "pelos" que rodean a las semillas ("capok") se cosechan para utilizarlos en boyas, cinturones salvavidas y rellenar almohadas.

15) *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. [sinónimo: *Ochroma lagopus* Sw.]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "balsa"; en México, "palo de balsa" y "corcho"; en Nicaragua, "gatillo"; en Costa Rica, "enea" y "pung"; en Panamá, "lana"; en Brasil, "pau de balsa"; en Perú, "palo de balsa"; en

Bolivia, "tami". DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Venezuela, Brasil, Ecuador y Bolivia; en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera 200 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 10 Mega-Pascal. Usos: como aislante contra calor, vibración y sonido; también para construcción de balsas, cinturones salvavidas, flotadores (es una de las maderas menos densas), tablillas quirúrgicas, juguetes y aviones a escala.

BORAGINACEAE

16) *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken [A], *C. goeldiana* Huber [B] [y otras de las 250 especies]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial de [A] "laurel blanco", [B] "freijó"; [A] en México "suchil" y "suchicuaguha"; en Venezuela, "laurel blanco" y "pardillo"; en Colombia, "canalete"; en Brasil, "louro"; [B] "frei jorge". DISTRIBUCIÓN: [A] desde México hasta Sudamérica; [B] en la zona atlántica de Pará y en las cuencas de los ríos Tocantin y Xingu en Brasil. CARACTERÍSTICAS: árboles de más de 30 metros; densidad de la madera, 500 a 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para construcción en general, ebanistería fina y componentes de muebles, entarimados, enchapado decorativo, tonelería, construcción de embarcaciones; en algunas aplicaciones se utiliza como sustituto de "teca" (*Tectona grandis* L.f.; Verbenaceae; del sureste de Asia), de "nogal" (*Juglans* spp.; Juglandaceae), y de "caoba" (tres especies de *Swietenia*; véase #52).

BURSERACEAE

17) *Bursera simaruba* (L.) Sarg. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "gumbolimbo" y "almácigo"; en México, "mulato", "chaca" y "palo chino"; en Panamá y Colombia, "carate"; en Venezuela, "caraña". DISTRIBUCIÓN: sur de Florida (Estados Unidos), las Indias Occidentales, y desde el sur de México hasta norte de Sudamérica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 20 Mega-Pascal. Usos: para la elaboración de cerillos, cajas embalajes, construcción de casas y carpintería en general; en México procesado a contrachapado de uso general; frecuentemente los árboles se plantan como "cerca viva".

18) *Dacryodes excelsa* Vahl. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "gommier" y "candle tree"; en Puerto Rico, "tabonuco". DISTRIBUCIÓN: Puerto Rico y en las Antillas Menores. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para muebles y ebanistería, se puede usar para enchapado, construcción general; la resina del tronco se utiliza para fabricar velas.

CECROPIACEAE[24]

19) *Cecropia peltata* [24] L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "trumpet-wood"; en México, "guarumbo" y "chancarro"; en Colombia, "guarumo"; en Venezuela y Cuba, "yagrumo"; en Perú, "cetico", "tacuna"; en Brasil, "imbaúba"; en Argentina, "ambahú". DISTRIBUCIÓN: en América tropical.

[24] Algunos taxónomos incluyen la familia Cecropiaceae en la familia Moraceae o la Urticaceae.

CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 20 Mega-Pascal. Usos: la madera es similar a la del "árbol de algodón" de América del Norte (*Populus deltoides* Bartram ex Marshall; Saliaceae); se utiliza en contrachapado, madera comprimida, cerillos, cajas y embalajes; se puede utilizar también para pulpa de madera y papel.

CELASTRACEAE

20) *Goupia glabra* Aublet. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "kopie" y "kabukalli"; en Colombia, "saino" y "sapino"; en Guayana, "kabukalli"; en Guayana Francesa, "goupie"; en Brasil, "cupiúba". DISTRIBUCIÓN: en la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, entarimados industriales, componentes de muebles; en las Guayanas muy empleado para usos generales.

COMBRETACEAE

21) *Buchenavia capitata* (Vahl) Eichler. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "yellow sanders"; en Colombia, "almendro"; en Venezuela, "olivo negro"; en Brasil, "mirindiba" y "periquiteira". DISTRIBUCIÓN: en las Indias Occidentales, Panamá, y desde Venezuela hasta Guayana Francesa, Brasil y Bolivia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: sugerida para cubiertas, en la construcción de embarcaciones, entarimados exteriores e interiores, enchapado decorativo y trabajo de torno; la madera tiene características similares a la de "roble blanco" (*Quercus alba* L.; Fagaceae) y a la de "teca" (*Tectona grandis* L.f.; Verbenaceae; del sureste de Asia).

22) *Bucida buceras* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "jucaro" y "oxhorn bucida"; en Jamaica, "black olive"; en Guayana Francesa, "grignon"; en Surinam, "leertouwarsboom". DISTRIBUCIÓN: Florida (Estados Unidos) y región del Caribe, y desde México hasta Colombia, Venezuela y Guayanas. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 35 metros; densidad de la madera, 1100 kg/m^3. Usos: altamente apreciada para postes, durmientes y construcción durable, entarimados de servicio pesado, mesas de trabajo y carbón de leña [la corteza se utiliza para curtido de pieles].

23) *Terminalia amazonia* (J.F. Gmelin) Exell. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "nargusta"; en México, "sombrereté" y "canshán"; en Colombia, "guayabo león"; en Venezuela "pardillo negro"; en Brasil, "pau-mulato branco". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil y Perú. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 70 Mega-Pascal. Usos: entarimados, durmientes, muebles y ebanistería, construcción de embarcaciones, trabajos de tornería, construcción general, contrachapado de uso general; sugerido como un sustituto de "roble" (*Quercus* spp., Fagaceae).

EUPHORBIACEAE

24) *Hevea brasiliensis* (A. Juss.) Muell. Arg. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Pará-rubber tree"; en Venezuela, "árbol de caucho"; en Guayana, "sibi-sibi"; en Surinam, "mapalapa"; en Brasil, "seringa" y "seringueira"; en Perú "capi", "jeve" y "shiringa". DISTRIBUCIÓN: región amazónica, cultivado

en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3. Usos: el árbol ha tenido una gran importancia económica por su látex (véase la especie en el apartado 3.3), del cual se procesa caucho; la madera sirve para pulpa de madera y papel, madera comprimida y componentes de muebles.

25) *Hura crepitans* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "hura" y "possumwood"; en México, "árbol del diablo" y "haba"; en América Central, "jabillo"; en Colombia, "ceiba amarilla" y "ceiba de leche"; en Venezuela, "ceiba blanca" y "ceiba habillo"; en Brasil "assacú" y "açacu". DISTRIBUCIÓN: desde América Central hasta el norte de Brasil y Bolivia, en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: carpintería general, cajas y embalajes, enchapado y contrachapado, ebanistería, muebles y madera comprimida.

FLACOURTIACEAE

26) *Casearia praecox* Griseb. [sinónimo: *Gossypiospermum praecox* P. Wilson]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "West Indian boxwood" y "Maracaibo boxwood"; en Cuba "agracejo"; en Colombia y Venezuela, "zapatero". DISTRIBUCIÓN: República Dominicana, Cuba, Venezuela y este de Colombia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 5 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3. Usos: para reglas de precisión, enchapado y ebanistería, madera para grabados, poleas para pulidoras de joyería, tallados y trabajos de tornería, mangos de cuchillería, teclas para piano, incrustaciones, lanzaderas y husos especiales para la industria textil.

GUTTIFERAE (= CLUSIACEAE)

27) *Calophyllum brasiliense* Cambess. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Santa María", "jacareúba"; en México, "ocú", "barí" y "leche de María"; en Colombia, "aceite María"; en Bolivia, "balsa María"; en Brasil, "guanandi" y "jacareúba". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta el norte de Sudamérica, y en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: ampliamente utilizado en los trópicos para construcción en general, entarimados, muebles, construcción de embarcaciones y como madera de uso general.

28) *Symphonia globulifera* L.f. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "manni" y "chewstick"; en América Central, "barillo", "cerillo"; en Colombia, "machare"; en Venezuela, "mani" y "paramán"; en Brasil, "anani"; en Perú, "brea-caspi". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta el norte de Sudamérica, y en las Indias Occidentales, también en el oeste de África. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para durmientes, construcción en general, tonelería, componentes de muebles, entarimados, contrachapado de uso general; sugerido como sustituto para el "roble" (*Quercus* spp., Fagaceae); la resina se utiliza para calafatear embarcaciones.

HUMIRIACEAE

29) *Humiria balsamifera* (Aublet) St. Hil. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "tauroniro" y "umiri"; en las Guayanas, "tabaniro", "tawanangro" y "houmiri" en Colombia, "oloroso"; en Brasil, "umiri", "couramira" y "turanira". DISTRIBUCIÓN: Guayanas, Co-

lombia, Venezuela, Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, entarimados, muebles y enchapado decorativo (también se comen los frutos; véase la especie en el apartado 2.4 [# 22]).

LAURACEAE

30) *Ocotea rodiaei* (Schomb.) Mez. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "demerara greenheart"; en Guayana, "bibiru" y "sipiri"; en Surinam, "beeberoe" y "demerara groenhart". DISTRIBUCIÓN: Guayanas y norte de Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera 1,100 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 90 Mega-Pascal. Usos: construcción de embarcaciones, portones, muelles, entarimados industriales, tinas, placas de presión de filtros, soportes, construcción pesada, trabajos de tornería, cañas para pescar, mangos para tacos de billar.

31) *Nectandra ambigens* (Blake) Allen [y otras especies; el género tiene alrededor de 114 especies en América tropical]. NOMBRES COMUNES: "laurel" en México. DISTRIBUCIÓN: desde el sur de México hasta Honduras. CARACTERÍSTICAS: árboles de hasta 30 metros; densidad de la madera 500 a 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para muebles y ebanistería, cubiertas y entabladura de embarcaciones, entarimados, enchapado y contrachapado, carpintería general y construcción rural.

LECYTHIDACEAE

32) *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Brazil nut tree". « Jubía», «nuez de Brasil», «nuez de Pará», «touca», «castanha do Brasil», «castanha do Pará». DISTRIBUCIÓN: la región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árboles grandes de más de 50 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: la especie es muy apreciada por sus semillas (véase la especie en el apartado 2.4 [#26]); la madera sirve para cubiertas de embarcaciones, aplicaciones en flexores de vapor, durmientes, construcción exterior, entarimados, muebles y ebanistería.

33) *Lecythis lurida* (Miers) Mori (sinónimo: *Holopyxidium jarana* Huber ex Ducke) NOMBRES COMUNES: "jarana" e "inhaúba". DISTRIBUCIÓN: Brasil (estado de Pará). CARACTERÍSTICAS: árbol grande; densidad de la madera, 1,000 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 90 Mega-Pascal. Usos: para carpintería, durmientes, construcción pesada, mangos de herramientas; la madera tiene una extraordinaria resistencia al impacto de choques.

LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE (= CAESALPINIACEAE)

34) *Dialium guianense* (Aublet) Sandw. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "jutaí"; en México, "paque" y "guapaque"; en América Central, "paleta", "tamarindo montero" y "hauso"; en Colombia, "tamarindo"; en Venezuela, "cacho"; en Perú, "huitillo"; en Brasil, "jutaípeba" y "parajuba". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 35 metros; densidad de la madera 1,100 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 110 Mega-Pascal. Usos: construcción pesada, para durmientes, barcos, entarimados, industriales, trabajos de tornería, armadura de vehículos (también se comen los frutos; véase la especie en el apartado 2.4 [#28]).

35) *Dicorynia guianensis* Amshoff. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "basra-locus" y "angélique"; en Guayanas, "barakaroeballi" y "angélique bâtárd". DISTRIBUCIÓN: Surinam y Guayana Francesa. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, durmientes, entarimados industriales, cubiertas de embarcaciones, entabladura, armadura, soportes, piso de parquet.

36) *Hymenaea courbaril* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "courbaril"; en México y América Central, "guapinol"; en Guayana, "locust" y "kawanari"; en Brasil, "jutaí" y "jatobá". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil, Bolivia y Perú; en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. Usos: para mangos de herramientas y otras aplicaciones en las cuales se necesita resistencia al impacto de choques; aplicaciones en flexores de vapor, entarimados, trabajos de tornería, muebles y ebanistería, durmientes, espigas, dientes de engranes y coronas de ruedas.

37) *Prioria copaifera* Griseb. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "cativo"; en Costa Rica, "camibar"; en Colombia, "copachú"; en Venezuela, "muramo", "curucai". DISTRIBUCIÓN: desde Nicaragua hasta Colombia y Venezuela. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para decoración de interiores, muebles y ebanistería, enchapado y contrachapado.

38) *Pterogyne nitens* Tul. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "amendoim" y "viraró"; en Brasil, "amendoim", "ibirara" y "pau fava"; en Argentina, "guiáro", "ibiraró" y "viraró". DISTRIBUCIÓN: Argentina, Paraguay y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3. Usos: para muebles finos y ebanistería, trabajos de tornería, decoración de interiores, tonelería y aplicaciones en flexores de vapor.

39) *Vouacapoua americana* Aublet. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "wacapou" y "acapu"; en Surinam, "bruinhart"; en Guayana, "sarabebeballi"; en Guayana Francesa, "wacapou"; en Brasil, "acapú". DISTRIBUCIÓN: Guayanas y Brasil (estado de Pará). CARACTERÍSTICAS: árbol de más de 25 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, entarimados (incluyendo piso de parquet), decoración de interiores, muebles, ebanistería, tableros, durmientes.

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE (= MIMOSACEAE)

40) *Cedrelinga catenaeformis* (Ducke) Ducke. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "cedrorana"; en Perú, "ornillo"; en Brasil "iacaica", "paricá"y "yacayacá". DISTRIBUCIÓN: en la región amazónica de Brasil y Perú. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 50 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3. Usos: para construcción general, y componentes de muebles.

41) *Enterolobium cyclocarpum* Griseb. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "guanacaste"; en México, "orejón", "parota" y "conocaste"; en Costa Rica, "genicero" y "jarina"; en Colombia, "orejero" y "caro"; en Venezuela, "carocaro". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Venezuela y Brasil; Trinidad. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-

Pascal. Usos: para moldes, tableros, decoración de interiores, componentes de muebles y enchapado.

42) *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms [sinónimos: *Pseudalbizzia guachapele* (H.B.K.) Dugand; *Albizia guachapele* (H.B.K.) Dugand, *Pithecellobium samanigua* Pittier]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "samán" y "rain tree"; en México, y América Central, "algarrobo" y "cenícero"; en Colombia, "samaguare"; en Venezuela, "lara" y "carabalí"; en Perú "huacamayo chico"; en Hawai, "monkeypod". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú, Bolivia y Brasil, cultivado en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. USOS: muebles finos y ebanistería, enchapado decorativo; el árbol también es apreciado por los campesinos porque el ganado come las vainas.

LEGUMINOSAE-PAPILIONOIDEAE (= PAPILIONACEAE)

43) *Alexa imperatricis* Baker. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "haiari"; en Guayana, "haiariballi"; en Brasil, "melancieira". DISTRIBUCIÓN: Guayanas y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 500 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. USOS: para construcción de interiores, cajas, embalajes, construcción en general, contrachapado; es una madera que se trabaja con facilidad, pero con resistencia moderada.

44) *Andira inermis* (Wright) DC. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "angelim" y "partridge wood"; en México, "cuilimbuco" y "maquilla"; en Brasil, "acapurana". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta el norte de Sudamérica y Brasil; en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 35 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. USOS: para construcción pesada, durmientes, estructura para casas; sugerida para trabajos de tornería, muebles, ebanistería, piso de parquet y enchapado decorativo.

45) *Dalbergia nigra* Allem. ex Benth. [A], *D. retusa* Hemsl. [B]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial de [A] "Brazilian rosewood"; en Brasil "cabiuna" y "jacarandá"; en francés "palissandre du Brésil"; [B] en México y Guatemala, "granadillo"; en Panamá, "cocobolo". DISTRIBUCIÓN: [A] en el este de Brasil; [B] desde México hasta Panamá. CARACTERÍSTICAS: [A] árbol de hasta 40 metros, [B] alrededor de 20 metros; densidad de la madera, [A] 800 kg/m^3, [B] 1100 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, [A] 70 Mega-Pascal; [B] más que [A]. USOS: [A] es una madera muy valiosa; utilizada para enchapado decorativo, muebles finos y ebanistería, partes de instrumentos musicales, partes posteriores de cepillos, mangos de cuchillos y otros artículos, trabajos de tornería fina, para pianos y marquetería; [B] es altamente apreciado en la cuchillería comercial para mangos, además para trabajos de incrustación y tornería de alta calidad, pequeños mangos de herramientas, partes posteriores de cepillos, instrumentos musicales y científicos, cajas para joyería, ajedreces y otros artículos especiales.

46) *Diplotropis purpurea* (Rich.) Amshoff. NOMBRES COMUNES: en Venezuela, "botonallare" y "peonía"; en Brasil, "sucupira" y "sapupira". DISTRIBUCIÓN: Guayanas y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. USOS: construcción pesada, cons-

trucción de embarcaciones, entarimados, componentes de muebles, trabajos de tornería, durmientes y mangos de herramientas.

47) *Dipteryx odorata* (Aublet) Willd. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "tonka bean" y "ebo"; en Venezuela y Colombia, "sarrapia"; en Brasil, "cumaru"; en Perú, "charapilla" y "cumarut". DISTRIBUCIÓN: Guayanas y región amazónica. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 50 metros; densidad de la madera, 1,000 a 1,300 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 100 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, dientes de engranes y ejes, en protecciones de lanchones y diques, entarimados, durmientes, equipos para molinos, mangos de herramientas, cojinetes y trabajos de tornería.

48) *Hymenolobium excelsum* Ducke. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Pará angelim"; en Surinam, "erejoeroe", "lialiadan koleroe", "y saandoe"; en Brasil, "angelim do Pará", "carámate" y "sapupira amarela". DISTRIBUCIÓN: Brasil y Guayanas. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: para construcción pesada, trabajos de tornería y muebles.

49) *Myroxylon balsamum* (L.) Harms. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "bálsamo" y "palo de bálsamo"; en México, "cedro chino" y "nabal"; en Costa Rica, "chirraca" y "sándalo"; en Colombia, "tache" y "tolú"; en Perú, "estoraque"; en Brasil, "cabriúva vermelha"; en Argentina, "incienso" y "quina" DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Brasil y Argentina. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 90 Mega-Pascal. Usos: para entarimados, muebles, decoración de interiores, trabajos de tornería, durmientes; el árbol se concoce bien por su bálsamo (véase el apartado 3.5 [#17]).

MELIACEAE

50) *Carapa guianensis* Aublet. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "crabwood" y "andiroba"; en Colombia, "mazabalo"; en Venezuela, "carapa"; en Ecuador, "figueroa" y "tangaré"; en Perú y Brasil "andiroba". DISTRIBUCIÓN: desde Honduras hasta Venezuela, Brasil y Perú. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 50 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: apropiado para todo tipo de construcción en la cual la durabilidad no es un factor importante; para muebles y ebanistería, entarimados, enchapado, contrachapado, y trabajos de tornería.

51) *Cedrela odorata* L. [y otras especies; véase la figura 2.6]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Spanish cedar" y "cedro"; en Latinoamérica, "cedro"; en las Indias Occidentales Francesas, "acajou rouge"; en Guayana Francesa, "cèdre rouge"; en Surinam "ceder". DISTRIBUCIÓN: América tropical. CARACTERÍSTICAS: árbol de más de 30 metros; densidad de la madera, 400 a 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 40 Mega-Pascal. Usos: para ebanistería, muebles finos, instrumentos musicales, construcción de embarcaciones, moldes, enchapado, contrachapado decorativo y de uso general, envoltura y cajas de cigarros (el aceite volátil restringe el uso para algunas aplicaciones).

52) *Swietenia macrophylla* King. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "Honduras, mahogany", "caoba" y "acajou"; en Brasil, "águano", "araputango" y "mogno"; en Bolivia, "mara"; en Perú "águano". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Colombia,

Bolivia y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. USOS: para muebles finos y ebanistería, decoración de interiores, tableros, enchapado fino, instrumentos musicales, construcción de embarcaciones, moldes, trabajos de tornería y tallados; las tres especies del género *Swietenia* pertenecen a las especies madereras más valiosas [las otras dos son "caoba cubana", *S. mahagoni* (L.) Jacq., y "caoba mexicana", *S. humilis*].

MORACEAE

53) *Bagassa guianensis* Aublet. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "bagasse"; en Guayana, "cow-wood"; en Brasil, "tatajuba" y "amapárana" DISTRIBUCIÓN: Guayanas y la región amazónica brasileña. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. Usos: localmente para contrucción general y pesada, muebles y construcción de embarcaciones; por su alta resistencia puede ser adecuado para equipo de deporte.

54) *Brosimum guianense* (Aublet) Huber [sinónimo: *Piratinera guianensis* Aublet]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "letterwood" y "snakewood"; en Venezuela, "palo de oro"; en Guayana Francesa, "bois d'amourette"; en Brasil, "gateado" y "muirapenima". DISTRIBUCIÓN: México hasta Panamá, Venezuela, Guayanas, región amazónica; Trinidad. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 1200 kg/m^3. USOS: para incrustaciones, trabajos de tornería, mangos para cuchillería y cañas de pescar, arcos para violines, bastones y baquetas.

55) *Chlorophora tinctoria* (L.) Gaud. [sinónimo: *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud.]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "fustic" y "mora amarilla"; en México "barossa" y "moral"; en Colombia, "dinde" y "palo amarillo"; en Perú, "insira"; en Brasil, "taiúva amarelo" y "tatajuba"; en Argentina, "tatayivásaiyú". DISTRIBUCIÓN: América tropical. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. USOS: construcción pesada, cubiertas, tableros, armadura para embarcaciones, entarimados exteriores e interiores, trabajos de tornería, partes de muebles, mangos de herramientas, durmientes; la especie también se ha utilizado para obtener un colorante anteriormente muy utilizado; los frutos son comestibles (véase el apartado 2.4 [#34]).

56) *Clarisia racemosa* Ruiz & Pavón. NOMBRES COMUNES: en México, "lecherillo"; en Colombia, "caraco", "aji" y "arracacho"; en Perú, "chichillica"; en Brasil, "guariúba" y "oití". DISTRIBUCIÓN: México y Centroamérica, Colombia, Perú, Ecuador, Venezuela y Brasil. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 600 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. USOS: para construcción general, entarimados y componentes de muebles.

57) *Helicostylis tomentosa* (Poepp. & Endl.) Rusby. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "leche perra"; en Guayana, "sukune"; en Brasil, "aimpem", "inharé" y "muiratinga". DISTRIBUCIÓN: Brasil, Perú, Colombia, Guayanas. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 80 Mega-Pascal. USOS: construcción pesada, entarimados, trabajos de tornería y muebles.

PINACEAE [GYMNOSPERMAE]

58) *Pinus caribaea* Morelet [A], *P. oocarpa* Schiede [B], *P. patula* Schldl. & Cham. [C]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial de [A] "Caribbean pine", de [B] "ocote pine", de [C] "patula pine"; [A] a [C] "pino" DISTRIBUCIÓN: [A] en Belice, Honduras, Nicaragua, Guatemala, Islas Bahamas y Cuba; en plantaciones en todos los trópicos; [B] desde México hasta Nicaragua; [C] en el este de México y en plantaciones en todos los trópicos. CARACTERÍSTICAS: árboles de hasta 35 metros; densidad de la madera de [A], 600 kg/m^3, de [B], alrededor de 700 kg/m^3, y de [C], alrededor de 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento para todos, alrededor de 50 Mega-Pascal. Usos: [A] para construcción general, carpintería, entarimados, ebanistería, postes de uso general y durmientes, construcción de embarcaciones, tinas, contrachapado de uso general, pulpa de madera y papel; [B] para construcción en general, entarimados, cajas y embalajes, postes, durmientes (tratados); [C] para madera comprimida, pulpa de madera y papel, contenedores para alimentos, tableros; se puede utilizar también para construcción ligera y tejas (tratadas).

RHIZOPHORACEAE

59) *Rhizophora mangle* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "mangle colorado" y "red mangrove"; en México, "candelón" y "mangle dulce"; en Colombia, "mangle rojo"; en Venezuela, "purgua"; en Brasil, "apareiba" y "mangue sapateiro". DISTRIBUCIÓN: en las costas de agua salina desde Florida (Estados Unidos) hasta Ecuador, Perú y Brasil; también en las Indias Occidentales, Islas Galápagos, Melanesia y Polinesia. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera, 1,100 kg/m^3; resistencia al aplastamiento 70 Mega-Pascal. Usos: para construcción de embarcaciones, construcción pesada, elaboración de carbón de leña, durmientes, trabajos de tornería; la corteza tiene un alto contenido de taninos y se ha utilizado comercialmente para curtir pieles.

RUBIACEAE

60) *Calycophyllum candidissimum* (Vahl) DC. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "degame" y "lemonwood"; en México, "camarón"; en Colombia, "guayabo"; en Venezuela, "araguato" y "betún". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Colombia y Venezuela, en Cuba. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 25 metros; densidad de la madera, 800 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 70 Mega-Pascal. Usos: para arcos de arquería y cañas de pescar, adecuado para mangos de herramientas y trabajos de tornería, utilizado para lanzaderas, colectores y otros elementos para la fabricación de textiles.

61) *Genipa americana* L. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "jagua" y "genipa"; en México, "yuale" y "jagua azul"; en Colombia, "angelina"; en Venezuela, "caruto"; en Perú, "palo colorado" y "huitoc"; en Brasil "genipapeiro". DISTRIBUCIÓN: América tropical. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 20 metros; densidad de la madera, 700 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 50 Mega-Pascal. Usos: para hormas de zapatos, mangos de herramientas, trabajo de acodamiento, muebles y ebanistería, trabajos de tornería, entarimados, enchapado y contrachapado; también se comen los frutos (véase el apartado 2.4 [#53]).

RUTACEAE

62) *Euxylophora paraensis* Huber. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "pau amarelo"; en inglés "Brazilian satinwood"; en Brasil "amarelo", "limgorana", "pau setim", y "pequiá setim". DISTRIBUCIÓN: Brasil (estado de Pará). CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 900 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 60 Mega-Pascal. Usos: muebles, piso de parquet, mangos de cepillos.

SAPOTACEAE

63) *Manilkara bidentata* (A. de Candolle) Chevalier [y otras especies]. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "bulletwood" y "balata"; en México, "chicozapote"; en Puerto Rico y República Dominicana, "ausubo"; en Panamá, "níspero"; en Guayana, "beefwood"; en Surinam, "bolletri"; en Guayana Francesa, "balata rouge"; en Brasil, "massaranduba" y "maçaranduba". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta el norte de Sudamérica, en las Indias Occidentales. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 1,100 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 90 Mega-Pascal. Usos: construcción pesada, equipo textil y para molinos, partes de muebles, trabajos de tornería, mangos de herramientas, entarimados, armaduras de embarcaciones y otros trabajos de acodamiento, durmientes, arcos de violines, pintas de billar; la especie es conocida por el uso de su látex.

SIMAROUBACEAE

64) *Simaruba amara* Aublet. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "simaruba amara" y "marupá"; en Venezuela, "cedro blanco" y "simaruba"; en Brasil, "caixeta" y "marupá". DISTRIBUCIÓN: desde el norte de Sudamérica hasta la región amazónica brasileña, en Trinidad y Tobago. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 45 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para construcción de interiores, cajas y embalajes, componentes de muebles, enchapado y contrachapado, moldes, madera comprimida.

STERCULIACEAE

65) *Sterculia apetala* Karsten. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "chicha"; en México, "bellota" y "chiapas"; en Venezuela, "sunsún"; en Colombia, "camajurú". DISTRIBUCIÓN: desde México hasta Perú y Brasil, cultivado en otras regiones. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 40 metros; densidad de la madera, 400 kg/m^3; resistencia al aplastamiento, 30 Mega-Pascal. Usos: para cajas y embalajes, construcción de interiores, contrachapado, madera comprimida.

ZYGOPHYLLACEAE

66) *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl. NOMBRES COMUNES: nombre comercial "verawood" y "Maracaibo, lignum-vitae"; en Colombia, "guayacán"; en Venezuela, "vera aceituna". DISTRIBUCIÓN: en la región costera de Colombia y Venezuela. CARACTERÍSTICAS: árbol de hasta 30 metros; densidad de la madera 1300 kg/m^3. Usos: para usos especiales por su alta densidad y autolubricación: ranguas y anillos para turbinas de agua; cabezas de mazos, ruedas de poleas, partes posteriores de cepillos y para durmientes.

2.6 DOMICILIOS DE ALGUNOS HERBARIOS

Las investigaciones sobre botánica económica deberían tener un estrecho contacto y cola-

boración con personal de herbarios regionales, nacionales y/o internacionales. Los herbarios regionales pueden aprovechar los recursos y servicios ofrecidos por los más grandes. La relación con la red internacional de herbarios puede ayudar a asegurar identificaciones más rápidas y confiables de las especies bajo estudio. Con frecuencia, los especialistas taxonómicos podrán proporcionar información bibliográfica así como datos de investigación.

La lista de herbarios latinoamericanos que aparece en el cuadro 2.9, intenta facilitar los contactos científicos para estudios de botánica económica en América tropical. Para cada país, se cita por lo menos un herbario, aun cuando la mayor parte de ellos cuenta con más de los que se indican. Además, en el cuadro 2.10 se mencionan algunos de los grandes herbarios internacionales con importantes colecciones tropicales.

Estados Unidos posee el 22 por ciento de todos los ejemplares del mundo, y por lo tanto no es sorprendente que la mayoría de los herbarios internacionales enlistados pertenezcan a aquel país.

La información procede de Holmgren *et al.* (1990), *Index Herbariorum - Part I: The Herbaria of the World*. Enlistan 2639 herbarios en 147 países y para cada uno proporcionan el domicilio, contacto, teléfono, télex, fax, estado legal, año de fundación, herbarios incorporados, colecciones importantes, posibilidades de intercambio y personal científico, incluyendo sus intereses de investigación. Una lista de especialistas taxonómicos de todo el mundo, con sus enfoques de investigación, ha sido publicada por Holmgren y Holmgren (1992).

Los herbarios se enlistan a partir de la página siguiente en orden alfabético, primero por país y después por ciudad. Para cada uno se proporciona el acrónimo (abreviatura uniformada), nombre, número de ejemplares y dirección. Nótese que el número de ejemplares en los herbarios es mucho mayor que el número de especies representadas, porque normalmente existen varios ejemplares para una especie.

CUADRO 2. 9. **Principales herbarios en Latinoamérica**

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
Belice	Belpoman (BRH)	4, 220	*Herbarium*, Forestry Department, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Belpoman.
Bolivia	La Paz (LPB)	40,000	*Herbario Nacional de Bolivia*, Correo Central Cajón Postal 10077, La Paz.
	Santa Cruz (USZ)	12,000	*Herbario*, Museo de Historia Natural "Noel Kempff Mercado", Universidad Autónoma "Gabriel René Moreno", Avda. México, Santa Cruz.
Brasil	Belém (MG)	130,000	*Herbario*. Departamento de Botânica, Museo Paraense Emílio Goeldi, Caixa Postal 399, 66000 Belém, Pará.
	Curitiba (MBM)	135,000	*Herbário*, Museu Botânico Municipal, Caixa Postal 1142, 80001 Curitiba, Paraná.
	Manaus (INPA)	156,500	*Herbário*, Departamento de Botânica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazónica, Caixa Postal 478, 69083 Manaus, Amazonas.
	Rio de Janeiro (R)	500,000	*Herbário*, Departamento de Botânica, Museo Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 20940 Rio de Janeiro.
	Rio de Janeiro (RB)	300,000	*Herbário*, Seçao de Botânica Sistemática, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 22400 Rio de Janeiro.
	São Paulo (SP)	230,000	*Herbário*, Instituto de Botânica, Caixa Postal 4005, 01051 São Paulo.

CUADRO 2.9 (continuación)

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
Colombia	Bogotá (COL)	330,000	*Herbario Nacional Colombiano*, Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 7495, Bogotá D.E.
	Medellín (HUA)	75,000	*Herbario*, Centro de Investigaciones en Ciencias Exactas y Naturales (CIEN), Universidad de Antioquia, Apartado Aéreo 1226, Medellín, Antioquia.
Costa Rica	San José (CR)	175,000	*Herbario Nacional*, Museo Nacional de Costa Rica, Apartado 749-1000, San José.
Cuba	La Habana (HAC)	200,900	*Herbario Academia de Ciencias*, Instituto de Ecología y Sistemática, Carretera de Varona Km 3.5, Capdevilla, Boyeros, Apartado 8010, Código Postal 10800, La Habana 8.
Ecuador	Quito (QCA)	120,000	*Herbario*, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Apartado 2184, Quito, Ecuador.
	Quito (QCNE)	20,000	*Herbarium*, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Apartado 67, Calle Tamayo, Quito.
El Salvador	San Salvador (ITIC)	25,000	*Herbario*, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad de El Salvador, San Salvador.
Guatemala	Ciudad de Guatemala (AGUAT)	5,000	*Herbario*, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos, Zona 12, Apartado Postal 1545, Ciudad de Guatemala.

CUADRO 2.9 (continuación)

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
Guayana	Georgetown (BRG)	40,000	*Guyana National Herbarium*, Biology Department, Universitry of Guyana, P.O. Box 101110, Georgetown.
	Georgetown (FDG)	7,800 con énfasis sobre especies maderables	Jonah Boyan Herbarium, Guyana Foresty Comission, P.O. Box 1017, Georgetown.
Guayana Francesa	Cayenne (CAY)	60,000	*Herbarium*, ORSTOM, B.P. 165, 97323 Cayenne Cédex.
Honduras	Tegucigalpa (EAP)	150,000	*Herbario Paul C. Standley*, Escuela Agrícola Panamericana, Apartado 93, Tegucigalpa.
Jamaica	Kingston (UCWI)	334,000	*Herbarium*, Botany Department, University of the West Indies, Mona, Kingston 7.
México	Ciudad de México (ENCB)	503,000	*Herbario*, Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Apartado Postal 17-564, 11410 México D.F.
	Ciudad de México (INIF)	52,000 con énfasis sobre especies maderables	*Herbario Nacional Forestal Luciano Vela Gálvez*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) Avda. Progreso 5, Del. Coyoacán, 04110 Mézico D.F.
	Ciudad de México (IMSSM)	11,000 con énfasis sobre plantas medicinales	*Herbario del Instituto Mexicano del Seguro Social*, Sótano de la Unidad de Congresos, Centro Médico Nacional Siglo XXI, Avda. Cuauhtémoc 330, Col. Doctores, México D.F.

CUADRO 2.9 (continuación)

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
	Ciudad de México (MEXU)	550,000	*Herbario Nacional,* Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-233, 04510 México D.F.
	Montecillos (CHAPA)	85,000	*Herbario-Hortorio,* Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, 56230 Chapingo, Estado de México.
	Xalapa (XAL)	200,000	*Herbario,* Instituto de Ecología A.C., Apartado Postal 63, 91000 Xalapa, Veracruz.
Nicaragua	Managua (HNMN)	15,000	*Herbario Nacional de Nicaragua,* Universidad Centroamericana, Apartado 69, Managua.
Panamá	Panamá (PMA)	43,000	*Herbario,* Departamento de Botánica, Universidad de Panamá, Estafeta Universitaria, Panamá.
Paraguay	Asunción (FCQ)	15,000	*Herbario,* Sección Botánica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, Casilla de Correo 1055, Asunción.
Perú	Iquitos (AMAZ)	20,000	*Herbario Amazonense,* Universidad Nacional de la Amazónia Peruana, Jirón Próspero 584, Apartado 421, Iquitos.
	Lima (MOL)	26,000	*Herbario Weberbauer,* Departamento de Biología, Sección Botánica, Universidad Nacional Agraria, Apartado 456, La Molina, Lima.

CUADRO 2.9 (continuación)

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
	Lima (USM)	300,000	*Herbario*, División de Botánica, Museo de Historia Natural, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Casilla 14-0434, Lima 14.
Puerto Rico	Roo Piedras (UPR)	34,000	*Herbarium*, Botanic Garden, University of Puerto Rico, G.P.O. Box 4984-G, San Juan 00936.
República Dominicana	Santo Domingo (JBSD)	65,000	*Herbarium*, Jardín Botánico Nacional "Dr. Rafael M. Moscoso", Apartado 21-9, Santo Domingo.
Surinam	Paramaribo (BBS)	21,000	*National Herbarium*, Faculty of Technology, University of Suriname, P.O. Box 9212, Paramaribo.
Venezuela	Caracas (VEN)	300,000	*Herbario Nacional de Venezuela*, Apartado 2156, Caracas 1010-A.
	Mesa de Cavacas (PORT)	60,000	*Herbario Universitario*, UNELLEZ-Guanare, Mesa de Cavacas 3323, Portuguesa.

CUADRO 2.10. **Grandes herbarios internacionales con colecciones tropicales**

País	*Localidad*	*Número de ejemplares*	*Nombre y dirección*
Alemania	Hamburgo (HBG)	1.2 millones	*Herbarium*, Institut für Allgemeine Botanik, Ohnhorststraße 18, D-2000, Hamburg 52.
Estados Unidos	Cambridge (GH)	4.61 millones	*Harvard University Herbaria*, 22 Divinity Avenue, Cambridge, Massachusetts 02138.
	Chicago (F)	2.42 millones	*Herbarium*, Botany Department, Field Museum of Natural History, Roosevelt Road at Lake Shore Drive, Chicago, Illinois 60605-2496.
	Nueva York (NY)	5.6 millones	*Herbarium*, New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York 10458-5126.
	Saint Louis (MO)	3.7 millones	*Herbarium*, Missouri Botanical Garden, P.O. Box 299, Saint Louis, Missouri 64507.
	Ciudad de Washington (US)	4.34 millones	*United States National Herbarium*, Botany Department, NHB-166, Smithsonian Institution, Washington D.C. 20560-0001.
Francia	París (P)	7 millones	*Herbier*, Laboratoire de Phanérogamie, Muséum National d'Histoire Naturalle, 16 rue Buffon, F-75005 París.
Inglaterra	Kew (K)	6 millones	*Royal Botanic Gardens*, Kew, Richmond, Surrey TW9 3AB.

2.7 RESUMEN

Todos los estudios de botánica económica requieren que las especies de plantas puedan ser identificadas con precisión y sin ambigüedad. Este propósito se logra por medio del nombre científico de la especie. Este nombre universalmente reconocido se compone de dos partes: el género y la especie dentro de ese género. Este sistema de clasificación fue propuesto por Carolus Linnaeus en el siglo XVIII. Cuando se menciona por primera vez un nombre científico en publicaciones científicas, se debe anotar el nombre del autor que la describió, por ejemplo, *Persea americana* Mill. para la especie del "aguacate".

La unidad básica para la clasificación de la diversidad biológica es la especie, y los taxónomos de plantas necesitan una definición práctica de especies para examinar, nombrar y clasificar la biodiversidad. El concepto de la especie biológica se refiere a los grupos de poblaciones que se cruzan potencial o realmente y que están reproductivamente aislados de otros grupos semejantes. Una definición más práctica se basa en el concepto de la especie morfológica; en este caso, las especies se distinguen por sus diferencias morfológicas (discontinuidad de la variación). Por ejemplo, la longitud de las anteras en las flores de *Protium apiculatum* varía entre 0.55 y 0.75 milímetros, mientras que la de *P. plagiocarpium* varía entre 0.25 y 0.30 milímetros.

Una gran parte de la diversidad morfológica existe de manera continua, no de manera discreta. Por esta razón, los rangos de especie, género y familia tienen una delimitación un tanto subjetiva. Debido a que existe variación entre las poblaciones que componen las especies, es deseable que para poder aprovechar y disfrutar toda la diversidad, se abarque el mayor número posible de poblaciones.

Durante los estudios taxonómicos de grupos de plantas se pueden detectar nuevas especies. La determinación de que una nueva especie existe, generalmente no se determina en el campo, sino en el estudio de las colecciones de herbario y de la taxonomía del grupo de plantas. Para una revisión, el taxónomo colecta material en el campo, pide préstamos de ejemplares de la especie depositados en otros herbarios y compara todos los ejemplares de un género (o familia). La nueva especie *Bursera inversa* recientemente descrita, fue descubierta no sólo en el campo en el norte de Colombia, sino también en ejemplares depositados en el herbario de Nueva York. Únicamente el especialista del grupo pudo determinar que se trataba de una especie nueva para la ciencia. En este caso, la característica clave fue el gran fruto en forma de huevo invertido con "semilla" gruesa.

Es de importancia teórica como práctica que los taxónomos agrupen las plantas de tal manera que se reflejen sus relaciones evolutivas de parentesco. Dos especies del mismo género deberán estar más estrechamente relacionadas y ser por lo tanto más similares desde el punto de vista taxonómico, que dos especies pertenecientes a diferentes géneros. En la botánica económica, el conocimiento de las relaciones entre especies hace posible buscar y examinar plantas estrechamente relacionadas para expander la oferta de productos forestales y descubrir recursos con propiedades superiores; por ejemplo, es de particular interés estudiar las especies relacionadas con la especie maderable *Dalbergia nigra*, la especie frutal *Annona muricata* o la planta anticancerígena *Taxus brevifolia* para verificar si estos parientes tienen propiedades similares.

La identificación de plantas es usualmente posible con una ramita que contenga hojas, así como flores y/o frutos, aunque todos aquellos

caracteres que varían entre especies, como por ejemplo la morfología de la corteza, del polen o la información química, también son de ayuda. La identificación sin ambigüedad de una ramita sin flores o frutos es frecuentemente imposible. Para elaborar un ejemplar de herbario, hay que prensar varios ejemplares de la planta y secarlos entre hojas de periódico. Después se etiquetan con el número de colección, la localización exacta, la fecha, el tipo de vegetación, la descripción del lugar y de la planta completa, y los usos de la misma. Las claves publicadas facilitan la identificación; sin embrago, una identificación confiable de la mayoría de las plantas de bosques tropicales se puede obtener sólo al enviar un ejemplar a un experto taxónomo en la familia o el género en cuestión.

A las instituciones o los lugares donde se almacenan los ejemplares vegetales secos y donde los taxónomos trabajan se les denomina herbarios. Para cualquier proyecto de botánica económica, es esencial contactar con herbarios locales y frecuentamente con herbarios internacionales. El apartado 2.6 proporciona los domicilios de algunos herbarios.

Los bosques tropicales no son homogéneos en su composición de especies. Un área biogeográfica como la región amazónica se puede dividir en zonas más pequeñas, como la región del Río Negro, con una flora única aunque relacionada con sus áreas vecinas. Dos importantes conceptos en la fitogeografía son el endemismo (la existencia de una especie restringida sólo a una región) y la disyunción (la distribución no continua de un taxón). Dos ejemplos de especies arbóreas con una limitada distribución geográfica que además tienen valor comercial por sus sabrosos frutos son: *Pouteria sapota* del norte de América Central y *Borojoa patinoi* de la región biogeográfica del Chocó en el noroeste de Sudamérica. Un ejemplo de distribución disyunta es *Anthodiscus amazonicus*, una especie con poblaciones en la cuenca del Amazonas y en los bosques subcosteros de la región oriental de Brasil.

Existen importantes razones para estudiar la fitogeografía, es decir, la distribución de especies:

1. El conocimiento fitogeográfico se puede utilizar para confirmar o inferir la presencia de una especie comercial en un área determinada, por ejemplo, las poblaciones restantes de la especie maderable *Dalbergia nigra* en el este de Brasil.
2. Se puede utilizar como una herramienta para investigar nuevas especies con potencial económico, como en los géneros *Cedrela* y *Nectandra* para maderas, o *Pouteria* y *Annona* para frutos, que tienen numerosas especies en diversas partes de América tropical.
3. Se puede emplear para evaluar y desarrollar las áreas actuales así como las localidades tentativas de producción para una especie con valor económico; por ejemplo, las regiones alrededor de la ciudad de Iquitos (Perú) y del estado de Acre (Brasil) tienen floras similares y los resultados de la investigación acerca de las especies comerciales en un área se podrían aplicar hasta cierto grado a la otra.
4. El conocimiento fitogeográfico es esencial para la conservación de la biodiversidad; por ejemplo, varias especies del género *Pouteria*, comercialmente importantes por sus frutos comestibles, son conocidas solamente de una muestra porque son endémicas a una pequeña región; en consecuencia, estas especies deberían recibir una atención especial para su conservación.

La alta diversidad de especies de los bosques tropicales, con hasta más de 300 especies arbóreas por hectárea, implica una alta diversidad

de productos con valor económico potencial. Dos listas, una para especies frutales (apartado 2.4) y otra para especies maderables (apartado 2.5), reflejan esta diversidad. Sin embargo, existen otros productos, como los compuestos químicos (véase el capítulo 3) y los valores no-comerciales (como el valor de recreación; véase el apartado 5.7). El aprovechamiento y goce de todos estos productos a largo plazo requiere de la identificación científica de las especies por taxónomos.

BIBLIOGRAFÍA

ARDITTI, J., *Fundamentals of Orchid Biology*, Wiley & Sons, Nueva York, 1992.

ARENAS M., L.E., H.F. CUÉLLAR L., y G. DE LA CRUZ A., «El "borojo", *Borojoa patinoi* Cuatr., cultivo promisorio para el Trópico Húmedo Colombiano» *Acta Agronómica* 35: 106-116, 1985.

AVILAN, L., F. LEAL, y D. BAUTISTA, *Manual de fruticultura. Cultivo y producción*, Editorial América, C.A., Caracas, 1989.

BADILLO, V.M., L. SCHNEE, y C. BENÍTEZ DE ROJAS, *Clave de las familias de plantas superiores de Venezuela*, Espasandre Editores, Caracas, 1985.

BALÉE, W., y D.C. DALY, Resin classification by the Ka'apor Indians, en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People (Advances in Economic Botany* 8), pp. 24-34, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

BALICK, M. J., Useful plants of Amazonia: A resource of global importance, en: G.T. PRANCE & T.E. LOVEJOY (eds.), *Key Environments-Amazonia*, Pergamon Press, Oxford, 1985.

BANKS, H.P., *Evolution and Plants of the Past*, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 1970.

BARAJAS-MORALES, J., G. ÁNGELES Á. y P. SOLÍS S. *Anatomía de maderas de México: especies de selva alta perennifolia I* (Publicaciones especiales), Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., en prensa.

BARROSO, G.M., *Sistemática de angiospermas do Brasil* volumen 1: Livros Técnicos e Científicos Editora, S.A., Río de Janeiro; volúmenes 2, 3: Imprensa Universitária, Universida de Federal de Viçosa, 36570 Viçosa, Minas Gerais, 1978, 1984, y 1986.

BECERRA O., L.A. (compilador), *Fruticultura tropical*, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras, Bogotá, 1992.

BEGON, M., J.L. HARPER, y C.R. TOWNSEND, *Ecology*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1986.

BERLIN, B., «The concept of rank in ethnobiological classification», *American Ethnologist* 3: 381-399, 1976.

BOSE, T.K., y S.K. MITRA, *Fruits: Tropical and Subtropical*, Naya Prokash, Calcutta, 1990.

BRIDSON, D., y L. FORMAN, *The Herbarium Handbook*, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1992.

BROWN, J.H., y A.C. GIBSON, *Biogeography*, The C.V. Mosby Company, St. Louis, Missouri, 1983.

BRUMMITT, R.K. (compilador), *Vascular Plant Families and Genera - A Listing of the Genera of Vascular Plants of the World According to their Families, as Recognized in the Kew Herbarium, with an Analysis of Relationships of the Flowering Plant Families According to Eight Systems of Classification*, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1992.

BRUMMITT, R.K. Y C.E. POWELL (eds.), *Authors of Plant Names - A List of Authors of Scientific Names of Plants, with Recommended Standard Forms of Their Names, Including Abbreviations*, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1992.

BUSH, M.B., "Amazonian speciation: a necessarily complex model", *Journal of Biogeography* 21: 5-17, 1994.

CALDERÓN A.E., *Fruticultura general*, Limusa, México, D.F., 1993.

CAMPBELL, D.G., y H.D. HAMMOND (eds.), *Floristic Inventory of Tropical Countries*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1989.

CAVALCANTE, P.B., *Frutas comestíveis da Amazônia* (volúmenes 1, 2, 3), Publicações avulsas do Museu Goeldi, Belém, Brasil, 84 + 73 + 61 pp., 1972, 1974 y 1979. [Se publicó una nueva edición: Cavalcante, P.B., *Frutas comestíveis da Amazônia*, Ediõyes CEJUP, Belém, 1991.]

CHAVELAS P., J., y C.E. GONZÁLEZ V., *Catálogo de árboles forestales del sureste de México que producen frutos comestibles* (catálogo 10), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F., 1985.

CHUDNOFF, M., *Tropical Timbers of the World* (Agriculture Handbook 607), U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1980.

CONSERVATION INTERNATIONAL, *Workshop 90 - Biological Priorities for Conservation in Amazonia* (mapa comentado, texto en progreso), Conservation International, Washington, D.C., 1991.

CRONQUIST, A., *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*, Columbia University Press, Nueva York, 1981.

———, *The Evolution and Classification of Flowering Plants*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1988.

CZIHAK, G., H. LANGER, y H. ZIEGLER (eds.), *Biologie*, Springer-Verlag, Berlín, 1981.

DALY, D.C., *A Taxonomic Revision of* Protium *(Burseraceae) in Eastern Amazonia and the Guianas*, tesis de doctorado, City University of New York, Nueva York, 1987.

———, «The genus *Tetragastris* and the forests of Eastern Brazil – Studies in neotropical Burseraceae III», *Kew Bulletin* 45: 179-194, 1990.

———, «The yew: Trash tree to cancer cure», *Audubon* 94: 76-85, 1992a.

———, «New taxa and combinations in Protium Burm. f. -studies in neotropical Burseraceae VI», *Brittonia* 44: 280-299, 1992b.

———, «Notes on *Bursera* in South America, including a new species – studies in neotropical Burseraceae VII», *Brittonia* 45: 240-246, 1993.

DAVIDSE, G., M. SOUSA S., y A.O. CHATER (eds.), *Flora Mesoamericana: Alismataceae a Cyperaceae* (volumen 6), Universidad Nacional Autónoma de México, Missouri Botanical Garden y The Natural History Museum (Londres). [Volúmenes 1 a 5 en proceso]

DÁVILA A., P.D., y M.T. GERMÁN R., *Colecciones biológicas nacionales del Instituto de Biología - Herbario Nacional de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, México, D.F., 1991.

DAVIS, S.D., S.J. M. DROOP, P. GREGERSON, L. HENSON, C.J. LEON, J. LAMLEIN VILLA-LOBOS, H. SYNGE, y J. ZANTOVSKA, *Plants in Danger – What do we Know?*, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), IUCN Conservation Monitoring Centre, Cambridge, 1986.

DE LA SOTA, E.R., *La taxonomía y la revolución en las ciencias biologicas*, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C., 1982.

ECHENIQUE-MANRIQUE, R., y R. A. PLUMPTRE, *A Guide to the Use of Mexican and Belizean Timbers* (Tropical Forestry Papers 20), Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, Oxford, 1990.

FAO, *Especies forestales productoras de frutas y otros alimentos – Ejemplos de América Latina*, Estudio FAO Montes 44/3, Subdirección de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, Departamento de Montes, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1987.

FONT-QUER, P., *Diccionario de botánica*, Editorial Labor, Barcelona, 1985.

FUTUYMA, D.J., *Evolutionary Biology*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1986.

GEESINK, R., A.J.M. LEEUWENBERG, C.E. RIDSDALE, y J. F. VELDKAMP, *Thonner's Analytical Key to the Families of Flowering Plants*, Leiden University Press, La Haya, 1981.

GENTRY, A. H., "Phytogeographic patterns as evidence for a Chocó refuge", en: G.T. Prance (ed.), *Biological Diversification in the Tropics*, pp. 112-136, Columbia University Press, Nueva York, 1982.

———,"Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients", *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 1-34, 1988.

———, *A Field Guide to the Families and Genera of Woody Plants of Northwest South America (Colombia, Ecuador, Peru) with Supplementary Notes on Herbaceous Taxa*, Conservation International, Washington, D.C., 1993.

GLEASON, H.A., "The individualistic concept of the plant association", *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 46: 7-26, 1926.

GILLETT, J.B.,"*Commiphora* (Burseraceae) in South America and its relationship to *Bursera*", *Kew Bulletin* 34: 569-589, 1980.

GREUTER, W., y colaboradores, *International Code of Botanical Nomenclature*, Koeltz Scientific Books, Königstein, 1988.

HAMILTON, A., «African forests», en: H. LIETH y M. J. A. WERGER (eds.), *Ecosystems of the World 14 B – Tropical Rain Forest Ecosystems, Biogeographical and Ecological Studies*, pp. 155-182, Elsevier, Amsterdam, 1989.

HAYGREEN, J.G., y J.L. BOWYER, *Forest Products and Wood Science – An Introduction*, Iowa, State University Press, Ames, Iowa, 1989.

HENDERSON, A., S.P. CHURCHILL, y J.L. LUTEYN, "Neotropical plant diversity", *Nature* 351: 21-22, 1991.

HEYWOOD, V.H. (ed.), *Flowering Plants of the World*, Oxford University Press, Nueva York, 1993.

HOLMGREN, P.K., y N.H. HOLMGREN, *Plant Specialists Index – Index to Specialists in the Systematics of Plants and Fungi*, Koeltz Scientific Books, Königstein, 1992.

———, N.H. HOLMGREN, y L. BARNETT, *Index Herbariorum Part I: The Herbaria of the World*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1990.

HOLDRIDGE, L.R., "Determination of world plant formations from simple climatic data", *Science*, 105: 367-368, 1947.

———, *Life Zone Ecology*, Tropical Science Center, San José, 1967.

HOLDRIDGE, L.R. y COLS., *Forest Environments in Tropical Life Zones – A Pilot Study*, Pergamon Press, Oxford, 1971.

———, *Ecología basada en zonas de vida*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, 1987.

HOYOS F., J., *Frutales en Venezuela* (monografía no. 36), Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, Caracas, 1989.

HUECK, K., y P. SEIBERT, *Vegetationskarte von Südamerika /Mapa de La Vegetación de Sudamérica*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1981.

HUTCHINSON, J., *The Genera of Flowering Plants* (volúmes 1 y 2), Oxford University Press, Oxford, 1964 y 1967.

———, *The Families of Flowering Plants*, Koeltz Scientific Books, Königstein, 1979.

IBARRA–MANRÍQUEZ, G., y S. SINACA C., *Listados florísticos de México VII. Estación de Biología Los Tuxtlas, Veracruz*, Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., 1987.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), *Carta uso del suelo y vegetación, República de México*, 1:250,000, 1987 y otros años.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF), *Madeiras da Amazônia, características e utilização*, Estação Experimental de Curuá-Una, IBDF, Brasilia, 1988.

INSTITUTO GEOGRÁFICO "AGUSTÍN CODAZZI", *Mapa de bosques, República de Colombia* (1:500,000), Bogotá, 1983.

JOLY, A.B., *Botânica – chaves de identificação das famílias de plantas vasculares que ocorrem no Brasil baseadas em chaves de Franz Thonner*, Editôra da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1970.

JONES (JR.), S.B., y A.E. LUCHSINGER, *Plant Systematics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1986.

LEÓN, J., *Botánica de los cultivos tropicales*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, 1987.

LONGWOOD, F. R., *Present and Potential Commercial Timbers of the Caribbean* (Agriculture Handbook No. 207), U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1971.

LOUREIRO, A.A., M.F. SILVA, y J. C. ALENCAR, *Essências madeireiras da Amazônia* (2 volúmenes), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1979.

LOT, A., y F. CHIANG, *Manual de herbario*, Consejo Nacional de la Flora de México, México, D.F., 1986.

MAAS, P.J.M., y L.Y.T. WESTRA, *Neotropical Plant Families*, Koeltz Scientific Books, Königstein, 1993.

MABBERLEY, D.J., *The Plant Book – A Portable Dictionary of the Higher Plants*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

MAHECHA VEGA, G., R. RODRÍGUEZ SOTO, y L.E. ACERO DUARTE, *Estudio dendrológico de Colombia*, Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá, 1984.

MAY, R.M., "Taxonomy as destiny", *Nature* 347: 129-130, 1990.

MAYR, E., *Systematics and the Origin of Species*, Columbia University Press, Nueva York, 1942.

MITTERMEIER, R.A., y C. GOETTSCH DE MITTERMEIER, "La importancia de la diversidad biológica de México", en: J. SARUKHÁN y R. DIRZO (eds.), *México ante los retos de la biodiversidad*, pp. 63-73, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F., 1992.

MORI, S.A., B.M. BOOM, y G.T. PRANCE, "Distribution patterns and conservation of eastern Brazilian coastal forest tree species", *Brittonia* 33: 233-245, 1981.

———, L.A.M. SILVA, G. LISBOA, y L. CORADIN, *Manual de manejo do herbário fanerogámico*, Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia, 1985.

MORTON, J. F., *Fruits of Warm Climates*, distribuido por la autora, 33 Montilla Avenue, Coral Gables, Florida 33134, 1987.

MURGUÍA, M., y J. L. VILLASEÑOR, *FAMEX versión 2.0 – Clave para familias de plantas con flores (Magnoliophyta) de México*, Asociación de Biólogos Amigos de Computación, A.C., México, D.F., 1993.

NAGY, S., P.E. SHAW, y W.F. WARDOWSKI (eds.), *Fruits of Tropical and Subtropical Origin – Composition, Properties, and Uses*, Florida Science Source, Lake Alfred, Florida, 1990.

NELSON, B.W., C.A.C. FERREIRA, M.F. DA SILVA, y M.L. KAWASAKI, "Endemism centres, refugia and botanical collection density in Brazilian Amazonia", *Nature* 345: 714-716, 1990.

NORTHEN, R.T., *Home Orchid Growing*, Prentice Hall Press, Nueva York, 1990.

OCHSE, J.J., M.J. SOULE JR., M.J. DIJKMAN, y C. WEHLBURG, *Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales* (2 volúmenes), Editorial Limusa, México, D.F., 1991.

PENNINGTON, T.D., *Sapotaceae – Flora Neotropica Monograph 52*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1990.

———, y J. SARUKHÁN, *Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F., 1968.

———, B.T. STYLES, D.A. H. TAYLOR, *Meliaceae – Flora Neotropica Monograph 28*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1981.

PETERS, C.M., y E.J. HAMMOND, "Fruits from the flooded forests of Peruvian Amazonia: Yield estimates from natural populations of three promising species", en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People (Advances in Economic Botany 8)*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1990.

PHILLIPPS, K., y M. DAHLEN, *A Guide to Market Fruits of Southeast Asia*, South China Morning Post Ltd., Hong Kong, 1985.

PIRES, J.M., "Tipos de vegetação da Amazonia", *Publicãos Avulsas do Museu Goldi* 20: 171-202, 1972.

PIRES, J. M. y G. T. Prance, "The vegetation types of the Brazilian Amazon", en: G.T. Prance y T.E. Lovejoy (ed.), *Key Environments – Amazonia*, pp. 109-145, Pergamon Press, Oxford, 1985.

POLHILL, R.M., y P.H. RAVEN (eds.), *Advances in Legume Systematics (partes 1 y 2)*, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1981.

POPENOE, W., *Manual of Tropical and Subtropical Fruits*, Hafner Press, Nueva York, 1974.

PRANCE, G. T. (ed.), *Biological Diversification in the Tropics*, Columbia University Press, Nueva York, 1982.

———, "The changing forest", en: G.T. Prance, y T. E. Lovejoy (ed.), *Key Environments – Amazonia*, Pergamon Press, Oxford, 1985.

———, "American tropical forests", en: H. Lieth y M.J.A. Werger (eds.), *Ecosystems of the World 14 B -Tropical Rain Forest Ecosystems, Biogeographical and Ecological Studies*, pp. 99-132, Elsevier, Amsterdam, 1989.

RECORD, S.J. y R.W. HESS, *Timbers of the New World*, Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1943.

REDFORD, A.E., W.C. DICKISON, J.R. MASSEY, y C.R. BELL, *Vascular Plant Systematics*, Harper & Row, Nueva York, 1974.

RICKER, M., J. H. JESSEN, y D.C. DALY, "The case for *Borojoa patinoi* (Rubiaceae) in the Chocó region, Colombia", *Economic Botany* 51: 39-48, 1997.

RIDLEY, M., *Evolution and Classification: The Reformation of Cladism*, Longman, Londres, 1986.

ROHWER, J.G., *Lauraceae: Nectandra - Flora Neotropica Monograph 60*, The New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1993.

ROMERO C., R., *Frutas silvestres del Chocó*, Instituto Colombiano de Cultura Hispánica (impreso en Editorial ABC), Bogotá, 1985.

ROSEN, D.E., "Geological hierarchies and biogeographic congruence in the Caribbean", *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72: 636-659, 1985.

ROSS, N., *Complete Index of Common Names* (suplemento de Chudnoff: *Tropical Timbers of the World)*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1989.

ROYAL BOTANIC GARDENS KEW (compilador), *World; Plant Conservation Bibliography*, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1990.

RUDD, V.E., "The American species of Ormosia (Leguminosae)", *Contributions from the United States National Herbarium* 32(5): 279-384, 1965.

———, "*Ormosia* (Leguminosae) in Mexico, including a new species from Oaxaca", *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 41: 153-159, 1981.

RUDD, V.E., y T. WENDT, "Una adición al género *Ormosia* (Leguminosae) en México: *O. panamensis*", *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 48: 155-158, 1988.

RZEDOWSKI, J., *Vegetación de México*, Limusa, México, D.F., 1986.

———, "Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico", en: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, y J. Fa (eds.), *Biological Diversity of Mexico – Origins and Distributions*, Oxford University Press, Nueva York, 1993.

SARMIENTO G., E., *Frutas en Colombia*, Ediciones Cultural Colombiana Ltda., Bogotá, 1986.

SCHMID, M., "The forests in the tropical Pacific archipelagoes", en: H. Lieth & M.J.A. Werger (eds.), *Ecosystems of the World 14 B – Tropical Rain Forest Ecosystems, Biogeographical and Ecological Studies*, pp. 283-301, Elsevier, Amsterdam, 1989.

SMITH JR., J.P., y K.E. SIMPSON, *Vascular Plant Families*, Mad River Press, Eureka, California, 1977.

SMITH, N.J.H., J.T. WILLIAMS, D.L. PLUCKNETT, y J.P. TALBOT, *Tropical Forests and their Crops*, Comstock Publishing Associates, Ithaca, Nueva York, 1992.

SNEATH, P.H.A., y R.R. SOKAL, *Numerical Taxonomy*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, California, 1973.

SPICHIGER, R., J. MÉROZ, P.-A. LOIZEAU, y L. STUTZ DE ORTEGA, *Contribución a la flora de la Amazonia peruana – Los árboles del Arborétum Jenaro Herrera (volumen II: Linaceae a Palmae)*. Conservatoire et Jardin Botaniques de Genève, Ginebra, 1990.

SPJUT, R.W., *A Systematic Treatment of Fruit Types*, Memoirs of the New York Botanical Garden, Bronx, Nueva York, 1994.

STEBBINS, G.L., y J. MAJOR, "Endemism and speciation in the California flora", *Ecological Monographs* 35: 1-35, 1965.

SUÁREZ N., A.E., G. HURTADO P., F.J. CARVAJAL L., J. E. RODRÍGUEZ B., y R. RODRÍGUEZ S., *Bosques de Colombia*, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Instituto Nacional de Desarrollo de los Recursos Naturales y del Ambiente (INDERENA), Corporación Na-

cional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF), Bogotá, 1984.

TAKHTAJAN, A., *Floristic Regions of the World*, University of California Press, Berkeley, California, 1986.

UNESCO (United Nations Scientific and Cultural Organization), *Vegetation Map of South America*, UNESCO, París, 1981.

VAN ROOSMALEN, M.G.M., *Fruits of the Guianan Flora*, Institute of Systematic Botany, Utrecht University, Utrecht, 1985.

VERHEIJ, E.W.M., y R.E. CORONEL (eds.), *Plant Resources of South-East Asia – Nr. 2: Edible Fruits and Nuts*, Pudoc, Wageningen, 1991.

VILLASEÑOR, J.L., y P. DÁVILA, *Breve introducción a la metodología cladística*, Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., 1992.

WALTER, H., y S.W. BRECKLE, *Ökologie der Erde (Band 2) – Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1984.

WHITE, F., "Geographic variation and speciation in Africa with particular reference to *Diospyros*", *Publications of the Systematics Association* 4: 71-103, 1962.

WHITMORE, T.C., "Southeast Asian tropical forests", en: H. Lieth, & M. J. A. Werger (eds.), *Ecosystems of the World 14 B – Tropical Rain Forest Ecosystems, Biogeographical and Ecological Studies*, pp. 195-218, Elsevier, Amsterdam, 1989.

WILSON, E.O., "The current state of biological diversity", en: E. O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, pp. 3-18, National Academy Press, Washington, D.C., 1988.

CAPÍTULO 3

PLANTAS MEDICINALES Y DIVERSIDAD QUÍMICA NATURAL

En 1763, el reverendo Edmund Stone de Chipping-Norton en Oxfordshire (Inglaterra) escribió una carta en la que decía "hay una corteza de un árbol inglés, que he encontrado, y es un poderoso astringente, muy eficaz en la cura de la angustia y varios desórdenes intermitentes". Se refería a la corteza del árbol *Salix alba* L. ("sauce"; Salicaceae) que entre otros compuestos contiene salicilatos. El uso tradicional finalmente llevó al desarrollo de la aspirina (ácido acetilsalicílico) que en la actualidad y en todo el mundo se utiliza contra el dolor, la fiebre y otros síntomas (Weissmann, 1991).

Las plantas pueden tener efectos tóxicos o terapéuticos sobre los humanos. Algunas sustancias biológicamente activas de una planta pueden ser tóxicas, y no existe dosis alguna en que se tenga un efecto terapéutico. Por otro lado, la medicina puede valerse de algunos compuestos comúnmente tóxicos al ajustar la dosis a un nivel terapéutico. Los compuestos vegetales secundarios son responsables de estas actividades biológicas. Los *compuestos vegetales secundarios* se pueden definir como compuestos químicos que no son omnipresentes en el reino vegetal; por lo tanto no se relacionan con los procesos fisiológicos fundamentales, como la síntesis de la glucosa en el proceso fotosintético, o la síntesis de la celulosa en formación de la pared celular (Frohne y Jensen, 1985; Luckner y Diettrich, 1984).

Ejemplos de compuestos vegetales secundarios son los aceites volátiles fragantes de las flores, almacenados en células especiales de aceite, compuestos de sabor picante en la "pimienta negra" (*Piper nigrum* L.; Piperaceae) y muchos alcaloides bioactivos. Algunos de éstos se encuentran ampliamente extendidos en el reino vegetal, pero otros habitan únicamente en un número limitado de especies del mismo género o de la misma familia. Algunos compuestos secundarios o grupos de compuestos son raros y pueden distinguir quimiotaxonómicamente a un género o a una especie en particular.

Desde el punto de vista evolutivo, la naturaleza no es altruista. No hay razón para que las plantas sean terapéuticas para los seres humanos. Por el contrario, muchos compuestos vegetales secundarios son tóxicos (Teuscher y Lindequist, 1987; Aguilar y Zolla, 1982). Algunos compuestos parecen servir a las plantas como defensas químicas, particularmente contra los insectos, aunque también contra otros animales, microorganismos e incluso otras plantas (Waterman y McKey, 1989; Teuscher, 1984; Janzen, 1981; Rosenthal y Janzen, 1979).

A diferencia de la mayoría de animales, las plantas no pueden huir del ataque exterior, y deben ser capaces de defenderse o por lo menos sobrevivir donde se encuentran. Las plantas dependen de un sistema químico de defen-

sa. Los compuestos vegetales secundarios son probablemente los responsables del equilibrio ecológico entre los herbívoros que desean comer plantas y las plantas que necesitan defenderse de éstos (véase Howe y Westley, 1988). No es sorprendente que animales sésiles como los corales[1] contengan también compuestos secundarios defensivos (véase Mebs, 1992).

Las plantas pueden considerarse como complejas fábricas químicas. La producción química puede ser la respuesta evolutiva a la presión de selección para desarrollar una formación de compuestos, con propiedades repelentes o tóxicas a fin de defenderse contra diferentes herbívoros y patógenos. Una gran cantidad de compuestos defensivos producen los mismos efectos sobre los humanos que sobre los herbívoros, ya que algunos aspectos de la fisiología humana son compartidos por todos los mamíferos, e incluso por la mayoría de los animales (por ejemplo, la acetilcolina como transmisor nervioso). Con este antecedente, la rareza de los compuestos terapéuticos y la observación más común de la toxicidad, son comprensibles.

El término *fitofármaco* se refiere a las preparaciones derivadas de plantas que se utilizan para fines medicinales (*fito* = planta). Estas preparaciones pueden constar de compuestos químicos puros o de algún tipo de extracto crudo, como en tés y tinturas.[2]

Es importante distinguir entre las preparaciones de plantas utilizadas en la medicina popular tradicional y los fitofármacos aprobados por la medicina científica.[3] Ambos tipos de preparaciones vegetales son importantes, pero por lo general sirven a diferentes clases de pacientes. Las plantas medicinales tradicionales son los únicos remedios disponibles para las personas que no tienen acceso a medicamentos de la farmacia. Además, las personas con más recursos tienden a utilizar las plantas medicinales tradicionales para "malestares menores". Por ejemplo, en Alemania el té de "menta" (*Mentha* x *piperita* L., Labiatae) o de "manzanilla" (*Matricaria recutita* L., Compositae) se acostumbra beber para tratar problemas intestinales y estomacales.

Las estrategias de investigación para descubrir y establecer los usos terapéuticos de las plantas medicinales pueden ser muy diferentes, dependiendo de si el objetivo es desarrollar nuevos medicamentos para la medicina científica, o estudiar y establecer plantas medicinales para la automedicación en los sistemas locales de cuidado para la salud. Para el desarrollo de medicamentos internacionales, el uso tradicional prácticamente no importa, excepto que puede indicar un posible efecto farmacológico; lo que interesa es si el nuevo medicamento tiene un efecto mayor en comparación con el mejor medicamento ya existente en el mercado. Por otro lado, para los sistemas locales de cuidado para la salud puede resultar importante proporcionar medicamentos baratos, no tóxicos con uso tradicional en la región.

El efecto terapéutico de una planta medicinal está en función de uno o más compuestos químicos que constituyen los ingredientes activos. En consecuencia, el campo de investigación de plantas medicinales, la farmacognosia, enfatiza en el análisis químico de las plantas con el fin de revelar los compuestos activos de

---

[1] Los *corales* pertenecen a la tribu animal Cnidaria, clase Anthozoa; son animales porque obtienen su energía del alimento por medio de un sistema digestivo, y no de la luz por medio de la fotosíntesis.

[2] Un *té* es un tipo de extracto con base de agua. Una *tintura* es un tipo de extracto con base de alcohol.

[3] La *medicina científica* se define como una ciencia natural que se basa en la evidencia empírica y objetiva, la cual se puede proporcionar repetidamente. Con frecuencia se le llama "medicina occidental", pero este término no tiene trascendencia.

las mismas. El efecto de un compuesto químico sobre el cuerpo es el mismo, ya sea que se sintetice en el laboratorio, o se aísle de una planta. Medicamentos derivados de una planta contienen compuestos vegetales, pero esto no implica un efecto farmacológico distinto al de un compuesto puro no derivado de una planta.

Las plantas medicinales se procesan en tés medicinales, disoluciones medicinales, tinturas, pomadas, gotas o píldoras; todas estas preparaciones pueden contener los mismos ingredientes activos de la planta. Los extractos crudos, como los tés, normalmente contienen una serie de compuestos activos e inactivos. Estas mezclas pueden tener efectos sinergísticos o antagónicos en el cuerpo; es decir, el efecto de un compuesto es influido de manera positiva o negativa, por la presencia de otros. Estos efectos resultan difíciles de evaluar científicamente.

La *fitoterapia*, el uso de plantas en la medicina, deberá incluir sobre todo medicamentos derivados de plantas cuya eficacia y nula toxicidad hayan sido probadas a través de estudios empíricos con resultados reproducibles. Sin embargo, existe un lugar para preparaciones ampliamente utilizadas con un valor terapéutico esperado pero aún no probado, si dichas plantas son populares en los sistemas tradicionales de cuidado para la salud y las preparaciones son conocidas por no ser tóxicas.

La fitoterapia no se deberá confundir con la *homeopatía*, la cual fue fundada por Samuel Hahnemann durante la primera mitad del siglo XIX. La homeopatía se basa en dos principios. El primero responde a la idea de "combatir el fuego con fuego" en el sentido de que utiliza sustancias que en dosis elevadas causan síntomas similares a aquellos que busca contrarrestar. Segundo, sostiene que cualquier compuesto (con frecuencia pero no exclusivamente de plantas) que sea tóxico en altas concentraciones, es terapéutico en concentraciones extremadamente bajas. Esta hipótesis, aunque ampliamente difundida en Europa y algunas regiones de Latinoamérica, no se basa en ninguna evidencia empírica y por lo tanto cae dentro de la categoría de "creencia", más que de ciencia[4] (Forth *et al.*, 1988).

3.1 PLANTAS MEDICINALES EN LA MEDICINA CIENTÍFICA

Una gran cantidad de los más antiguos medicamentos de la farmacopea moderna se derivaban de las plantas. Hoy en día, a pesar de los avances en la química medicinal que permite la producción sintética de compuestos químicos, algunos medicamentos importantes de la medicina científica son todavía derivados directamente de las plantas por ser más baratos o por su complejidad.

No obstante, muchas empresas farmacéuticas, particularmente en Estados Unidos, no han sido entusiastas con respecto a los productos naturales por diversas razones:

1) para varias compañías no resultaron nuevos descubrimientos;
2) hasta hace poco los ensayos biológicos disponibles para rastreos extensivos no fueron muy sensibles o específicos;
3) el desarollo racional de medicamentos —es decir, la modificación o la síntesis química de los compuestos de acuerdo con modelos de receptores— se hizo más factible para

[4] En Alemania, las preparaciones homeopáticas son sin embargo aceptadas en el sistema de cuidado para la salud, puesto que son demasiado populares como para ser prohibidas por los legisladores. A diferencia de los fitofármacos, las preparaciones homeopáticas están legalmente exentas de la regla de que el fármaco tiene que probar su eficacia. Únicamente tienen que demostrar que no son tóxicas.

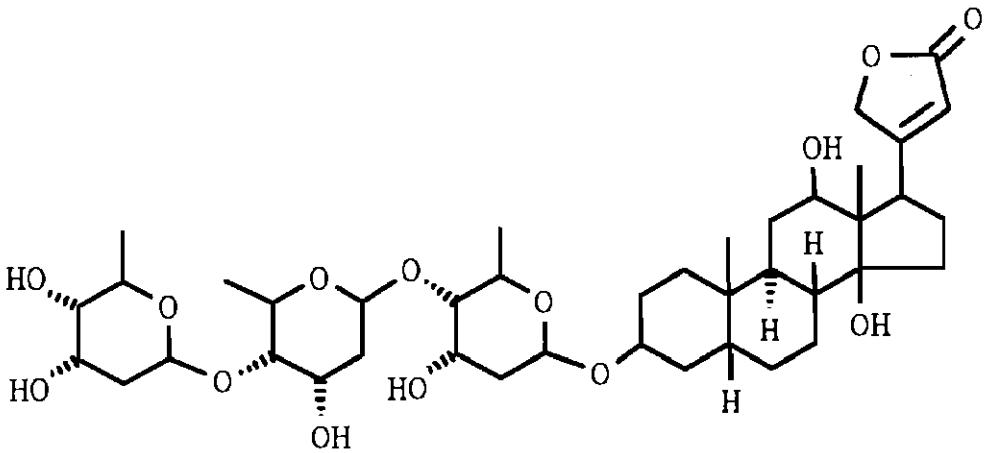


Figura 3.1. Digoxina.

algunas enfermedades; científicamente esto es más deseable que los métodos de rastreo aleatorio que se utilizan para la evaluación de los extractos de plantas.

Por otro lado, el reciente progreso en el desarrollo de rastreos sensibles y específicos, con alta rotación y la creciente demanda del consumidor de "medicamentos naturales" ha dado como resultado un resurgimiento del interés en los productos naturales y en la investigación de la biodiversidad, en particular en los trópicos, como fuente de nuevos medicamentos. Por ejemplo, la compañía Merck invirtió más de un millón de dólares mediante un acuerdo en 1991 con una entidad no-gubernamental de Costa Rica para realizar rastreos de varias miles de especies de plantas, animales y microbios, para encontrar nuevos productos farmacéuticos (Joyce, 1991).

EJEMPLOS NOTABLES DE MEDICAMENTOS DERIVADOS DE PLANTAS

Uno de los grupos históricos más importantes de los compuestos vegetales medicinales es el de los glucósidos cardiacos. Estos compuestos están presentes en especies del género de clima templado *Digitalis* L. ("dedalera"; Scrophulariaceae) y del género tropical *Strophanthus* DC. (Apocynaceae), así como en varios otros grupos de plantas no relacionados. En 1775, William Withering determinó por primera vez los alcances de la dosis tóxica y de la dosis terapéutica de los extractos de *Digitalis*. El uso intensivo de estos extractos comenzó a principios de este siglo. Todos los glucósidos cardiacos tienen el efecto de aumentar la capacidad y eficiencia de contracción del músculo cardiaco debilitado. Varios glucósidos cardiacos químicamente diferentes de *Digitalis lanata* Ehrh., *Strophanthus gratus* (Hook.) Baillon y *Drimia maritima* (L.) Stearn (sinónimo: *Urginea maritima* L.; Liliaceae) son importantes en la medicina actual (Forth *et al.*, 1988; Wagner, 1988). Los que se utilizan más ampliamente son la digitoxina[5] de *Digitalis purpurea* L. y la digoxina (figura 3.1) de *D. lanata*.

En 1806, Friedrich W. A. Sertürner aisló el primer alcaloide de una planta: la morfina. La morfina (figura 3.2) es uno de los aproximadamente 40 alcaloides del opio, la savia lechosa

[5] La nomenclatura de los compuestos en español en este libro sigue la de Trease y Evans (1986) y en algunos casos la de Hawley (1975).

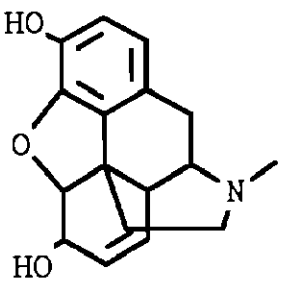


Figura 3.2. Morfina.

de las cápsulas de las semillas provenientes de *Papaver somniferum* L. (Papaveraceae). Esta planta crece en muchos países del Oriente Medio. El opio se ha utilizado por más de 2,000 años como narcótico y como remedio. Hoy en día, la morfina es todavía "el calmante más seguro y efectivo que se conoce para el dolor severo y constante, pero también envicia". No hay tanto problema de adicción si se administra a un paciente con dolor, como si se consume por "placer" (Melzack, 1990). La morfina mitiga no sólo el dolor, sino también el temor y la ansiedad en el paciente muy enfermo. Además previene el vómito, calma la tos e inhibe la movilidad intestinal, por lo que ayuda a combatir la diarrea. Los mejores medicamentos sintéticos disponibles contra la diarrea, como la loperamida, afectan a los receptores de morfina en los intestinos sin alcanzar al cerebro, donde producirían, entre otros, efectos analgésicos en el sistema nervioso central (Forth *et al.*, 1988).

La morfina medicinal se obtiene todavía de la planta en lugar de por síntesis química (Wagner, 1988). Los químicos medicinales[6] han utilizado la molécula de la morfina como un modelo en los esfuerzos para sintetizar moléculas similares con efectos analgésicos, pero no adictivos. Se ha desarrollado una gran variedad de nuevos medicamentos para el mercado, y aunque algunos compuestos como la pentazocina son menos adictivos que la morfina, desafortunadamente no ha sido posible separar los efectos analgésicos de los adictivos. Algunos alcaloides con estructura similar a la de la morfina en *Papaver somniferum*, la codeína y la noscapina, calman la tos sin efectos adictivos significativos y por lo tanto se utilizan como antitusivos.

Los compuestos de las plantas no son únicamente útiles como terapéuticos, sino también sirven para entender los mecanismos fisiológicos y las actividades farmacológicas. Se ha investigado el sistema nervioso periférico con la ayuda de compuestos vegetales; con ellos se le puede manipular también terapéuticamente. El curare, proveniente de varias especies del género *Chondrodendron* Ruiz & Pavón (Menispermaceae; véase la figura 3.3 y el apartado 3.5 [#21]) originario de América del Sur, paraliza los músculos al antagonizar el nervio transmisor acetilcolina en las sinapsis neuromusculares.

La atropina, encontrada en diversos géneros relacionados taxonómicamente, incluyendo el género tropical *Duboisia* R. Br. (Solanaceae), también antagoniza la acetilcolina, al afectar los receptores nerviosos muscarínicos.[7] Los efectos de la atropina se pueden contrarrestar con la fisostigmina (figura 3.20), que se deriva de las semillas de la liana africana *Physostigma venenosum* Balf. (Leguminosae-Papilionoideae). La fisostigmina aumenta las concentraciones de acetilcolina en todas las sinapsis por medio de la inhibición de la enzima para su degradación, la colinesterasa. La fisostigmina sirvió como modelo para la síntesis de com-

[6] Los *químicos medicinales* están especializados en sintetizar moléculas de uso medicinal.

[7] Este nombre se derivó del compuesto muscarina del hongo *Amanita muscaria* (L. Fr.) Hooker.

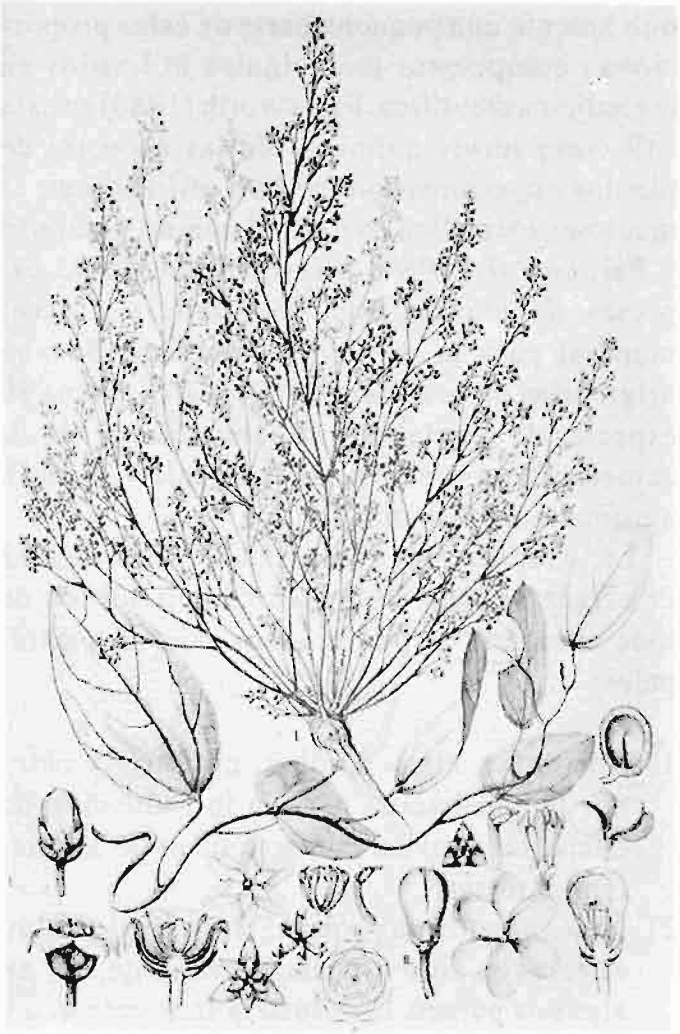


Figura 3.3. *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pavón. Se ha utilizado para preparar uno de los venenos "curare" de flechas venenosas. El efecto proviene de su alcaloide tubocurarina. El compuesto se ha usado en cirugía como relajante muscular. Ilustración de: von Martius, K.F.P., A. W. Eichler, I. Urban, S.L. Endlicher, y E. Fenzl (eds.), *Flora brasiliensis* (volumen 13), Munich, Alemania, 1840-1906; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

puestos similares. Sirvió para tratar el desorden neurológico *Myasthenia gravis* y todavía se utiliza en gotas para los ojos para tratar el glaucoma, una enfermedad resultante del aumento de la presión ocular (es decir, en el interior del globo del ojo).

Los compuestos bioactivos provenientes de las plantas son una fuente importante de inspiración para el desarrollo de medicamentos sintéticos o semisintéticos en el sentido de que se modifican los compuestos bioactivos originales, purificados de la planta, para producir compuestos medicinales más eficaces y/o menos tóxicos. Así, los compuestos naturales sirven como modelo para el diseño de nuevos compuestos sintéticos (véase Baerheim, 1984; Baerheim y Scheffer, 1982). Por ejemplo, el alcaloide cocaína de *Erythroxylum coca* Lam. y *E. novogranatense* (Morris) Hieronymus (Erythroxylaceae) es ampliamente conocido por el público en general por su uso ilícito como estimulante, pero poco por su papel en el desarrollo de anestésicos locales. La cocaína (figura 3.17) se utilizó primeramente para este propósito en cirugía en 1884. Posteriormente, la molécula de la cocaína se usó como modelo para la síntesis de compuestos análogos, que inhiben el dolor, y no son adictivos. El primero de éstos, la procaína (figura 3.17,) se sintetizó en 1905 (Foye, 1989; Forth *et al.*, 1988).

En otros casos, los compuestos bioactivos sirven solamente como herramienta de investigación. Un ejemplo reciente es el de los ésteres de forbol de diversos géneros en la familia vegetal Euphorbiaceae. Los ésteres de forbol fomentan los tumores y producen inflamaciones. Una mejor comprensión de los procesos puede ayudar a dirigir el desarrollo de medicamentos antitumorales y antiinflamatorios apropiados (Evans, 1991).

Tres especies de plantas superiores se han establecido para quimioterapias en ciertos tipos de cáncer. *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. f. (Apocynaceae; véase la figura 1.19) fue originalmente investigada entre 1955 y 1960, a causa de su empleo tradicional como antidiabético. Los efectos antidiabéticos nunca han sido demostrados, pero se descubrió su actividad leucopénica, que producía una reducción

de ciertos glóbulos blancos. Los compuestos vinblastina y vincristina (estructura en la figura 3.11) fueron finalmente aislados en 1958 y 1961, respectivamente. La vinblastina se utiliza para combatir la enfermedad de Hodgkin (causante de un alargamiento de las glándulas linfas y de anemia) y contra varios tipos de neoplasias (tumores); la vincristina, por su parte, se emplea contra la leucemia en niños, y su semisintética análoga, la vindesina, se utiliza contra la leucemia linfocítica aguda. La comercialización de la vincristina por la empresa estadunidense Lilly comenzó hace menos de cinco años después del descubrimiento de que un extracto crudo de *C. roseus* tenía actividad antitumoral (Farnsworth, 1988; véase también Kinghorn, 1992; Trease y Evans, 1986).

La segunda especie anticancerígena bien establecida es la planta *Podophyllum hexandrum* Royle (Berberidaceae) de la India. Ésta está relacionada con la especie de la «manzana de mayo» en América del Norte (*Podophyllum peltatum* L.), utilizada por varias tribus indígenas para tratar verrugas y afecciones semejantes al cáncer de piel. Las podofilotoxinas, presentes en ambas especies, fueron investigadas por el Instituto Nacional de Cáncer (Washington, D.C.), en la década de 1960, pero resultaron demasiado tóxicas para el uso clínico. En la década de 1970 los químicos tuvieron éxito en la modificación de estos compuestos para producir los derivados semisintéticos tenipósido y etopósido, que en la actualidad se utilizan contra el cáncer de testículo y el carcinoma de las células pequeñas del pulmón (Holthuis, 1988). La tercera especie más recientemente introducida es *Taxus breylavifolia* Nutt. (véase más adelante).

LA NATURALEZA DE LA BÚSQUEDA

En relación con el número total de 230,000 especies de plantas superiores (apartado 2.3), únicamente una pequeña parte de éstas proporcionan compuestos medicinales utilizados en la medicina científica. Farnsworth (1988) enlista 119 compuestos químicos de las especies de plantas superiores que se han utilizado en la medicina científica en todo el mundo. Soejarto y Farnsworth (1989) informan que de 95 especies de plantas con importancia a nivel mundial para la medicina científica, 39 son originarias de los bosques tropicales. Estas 39 especies de plantas son la fuente de 47 medicamentos comerciales, de las cuales 23 están aprobadas en Estados Unidos.

La escasez de compuestos medicinales de origen vegetal en la medicina científica de todo el mundo responde a tres cuausas principales:

1) Encontrar, aislar, probar, producir y obtener la aprobación para la introducción de cualquier nuevo medicamento es un acontecimiento raro.
2) Únicamente una pequeña fracción del reino vegetal ha sido estudiada para este fin; en algunos países, la industria farmacéutica y las dependencias gubernamentales de investigación han dirigido poco esfuerzo en investigación hacia el desarrollo de medicamentos de origen vegetal porque: *a*) hasta fechas recientes, no se disponía de rastreos eficientes y sensibles con alta rotación; *b*) existe una preocupación por asegurar fuentes adecuadas y constantes de materia prima; *c*) hay un mayor interés por el desarrollo racional (es decir, no aleatorio) de medicamentos, y *d*) las patentes son más difíciles de asegurar para sustancias que se derivan de productos naturales. En Alemania y Estados Unidos es posible obtener una patente únicamente para el proceso de obtención de un compuesto de un producto natural, pero no para el compuesto natural en sí.

3) En algunos países, las dependencias reguladoras gubernamentales han mostrado antipatía hacia los productos naturales, en parte debido a los intereses acerca de la pureza y consistencia del producto, y/o a la perspectiva de que el uso de plantas medicinales no es "moderno".

De 1961 a 1985, se desarrollaron 1,787 nuevos medicamentos en todo el mundo, la mayor parte de ellos derivados sintéticamente. Esto corresponde en promedio a 74 nuevos medicamentos por año. En cuanto el éxito para la introducción de nuevos medicamentos en relación con el número de compuestos investigados, el promedio fue muy bajo; únicamente uno de cada 6,000 a 10,000 compuestos puros que se investigaban, la mayoría de ellos compuestos sintéticos, tenía un desarrollo exitoso como medicamento y era introducido en el mercado (BPI, 1991).

Los costos de investigación y desarrollo para cualquier nuevo medicamento son enormes. En Alemania, la investigación y el desarrollo de sólo un nuevo medicamento tomaba hasta 13 años y los costos durante ese lapso sumaban 144 millones de dólares. En 1989 la industria farmacéutica alemana invirtió el 16 por ciento de su productividad total (2,600 millones de dólares) en investigación, uno de los esfuerzos más altos de todas las industrias. Un notable 19 por ciento de la fuerza de trabajo en la industria farmacéutica alemana se dedicó a la investigación y el desarrollo (BPI, 1991).

El costo de desarrollo de medicamentos en tiempo y dinero se entiende con mayor facilidad si se está consciente de los numerosos pasos que se requieren para ello. Por ejemplo, un programa para el desarrollo de un medicamento en Estados Unidos incluye los siguientes pasos:

1) Se crea en el laboratorio, o se obtiene en la naturaleza, una nueva sustancia.
2) La sustancia muestra actividad en un rastreo generalizado.
3) Después de la repetición de la prueba, se pasa la sustancia a través de un mecanismo subsecuente que se basa en ensayos para confirmar y especificar el tipo de actividad.
4) Si la sustancia es una mezcla de compuestos, como el extracto de una planta, se fracciona para separar el (o los) ingrediente(s) activo(s), lo cual se confirma vía ensayos.
5) El compuesto o los compuestos activos se purifican y se inicia el análisis estructural.
6) Se realizan los estudios de toxicidad en animales.
7) Se obtiene la aprobación del gobierno para el inicio de estudios preclínicos.
8) Se lleva a cabo la fase I de las pruebas clínicas: se determinan los niveles de toxicidad y dosificación en un número limitado de seres humanos.
9) Se llevan a cabo las pruebas clínicas de la fase II, en las cuales se analizan los efectos del o de los compuestos en un número mayor de seres humanos.
10) Se obtiene la aprobación de un "proceso de buena fabricación", el cual asegura la consistencia y pureza de la producción a escala industrial.
11) Después de la aprobación final, el medicamento tiene que ser comercializado.

Los costos del desarrollo de un medicamento son intimidadores, pero las recompensas potenciales para la industria y la sociedad pueden ser enormes. Para la sociedad, los medicamentos eficaces reducen el sufrimiento. También ayudan a evitar los enormes costos macroeconómicos relacionados con la salud, como son el tratamiento y la pérdida de productividad. Por ejemplo, se ha estimado que la vacunación contra la poliomielitis en Alemania entre 1962 y 1970 ahorró aproximadamente 3,800 millo-

nes de dólares en los costos macroeconómicos. La medicación contra la tuberculosis en Estados Unidos entre 1954 y 1969 pudo haber ahorrado 5,000 millones de dólares (BPI, 1991).

PROGRAMA DE RASTREO ALEATORIO DEL INSTITUTO NACIONAL DEL CÁNCER (ESTADOS UNIDOS)

Uno de los mayores esfuerzos en el desarrollo de medicamentos a partir de plantas ha sido la investigación de los compuestos anticancerígenos. El Instituto Nacional de Cáncer (Washington, D.C.), una dependencia del gobierno estadunidense, inició la investigación de plantas anticancerígenas en 1956 (Schepartz, 1976); entre 1960 y 1986, probó más de 100,000 extractos de más de 35,000 especies de plantas en tres diferentes bioensayos de cáncer *in vivo* en ratones e *in vitro* en cultivos de células. De estos extractos, 3.8 por ciento presentaron actividad citotóxica. De 2,935 especies de plantas en 1,410 géneros, se probaron 2,000 compuestos vegetales puros y finalmente la investigación se concentró en alrededor de 20 compuestos, incluyendo bruceantina, maitansina, colubrinol, indicina-N-óxido, tripdiolida, taxol, homoharringtonina, elipticina, bouvardina, tilocrebrina, lapachol, camptotecina, acronicina, emetina, talicarpina y tetrandrina (Cordell *et al.*, 1991). De éstos, el taxol es el único compuesto no modificado que se utiliza clínicamente.

Además, surgieron algunos compuestos al modificar dos sustancias naturales, las cuales habían sido abandonadas después de fracasar en experimentos clínicos. En la actualidad representan una promesa en contra de diversos tipos de cáncer. Estas dos sustancias son las podofilotoxinas de las dos especies de *Podophyllum* L. (véase arriba) y la camptotecina de *Camptotheca acuminata* Decne. (Nyssaceae) (comunicación personal del doctor G. Cragg, Instituto Nacional del Cáncer, Washington, D.C., 1993).

El taxol —derivado de *Taxus brevifolia* Nutt. (Taxaceae, Gymnospermae) y otras especies de ese género —ha mostrado ser promisorio como terapéutico contra el cáncer de ovario y de mama, de acuerdo a experimentos clínicos (Daly, 1992; Borman, 1991). Recientemente, fue aprobado por la *Food and Drug Administration* de Estados Unidos para utilizarlo contra el cáncer de ovario.

En 1980, el financiamiento para el programa de selección de productos naturales del Instituto Nacional de Cáncer se interrumpió, en parte porque se habían descubierto muy pocos compuestos útiles al hacer uso del número limitado de ensayos entonces disponibles, basados en ratones con leucemia. De hecho, el cáncer no representa una sola enfermedad; más bien, es un conjunto de más de 200 tipos de enfermedades que son similares principalmente porque involucran la proliferación descontrolada de células. Suffness (1987) señala que la sensibilidad al medicamento de los diferentes tumores es muy variable. Como consecuencia, a pesar de que los bioensayos anticancerígenos detectan básicamente la citotoxicidad, un bioensayo que se base en una leucemia de ratones vivos no necesariamente detecta los efectos sobre otros tipos de células tumorales, por ejemplo, los del cáncer de colon. Los resultados que indica el rastreo dependen en gran medida de los bioensayos utilizados. Los compuestos vegetales presentan una variedad de diversos mecanismos de la citotoxicidad, y una gran cantidad de los efectos farmacológicos no se detectarán, a menos que se utilicen los bioensayos adecuados.

Durante los inicios de la década de 1980, el Instituto Nacional del Cáncer construyó un sistema semiautomatizado para probar los extractos de plantas en alrededor de 60 líneas de células de cáncer humano y en dos líneas de células infectadas de SIDA. Cada año, se prueban

aproximadamente 10,000 extractos en cuatro concentraciones por triplicado, lo que resulta en (62 líneas)(10,000 extractos) (4 concentraciones)(3 repeticiones), o aproximadamente 7 millones de pruebas (Boyd, 1989; Suffness, 1987).

En 1986, el Instituto Nacional de Cáncer asignó contratos a tres instituciones para recolectar un total de 22,500 [(7,500)(3)] muestras vegetales, principalmente de diferentes especies, durante cinco años: al Jardín Botánico de Nueva York en América Latina, al Jardín Botánico de Missouri en África Central y Madagascar y a la Universidad de Illinois (Chicago) en Asia tropical. Otras instituciones están recolectando organismos microbiológicos. La probabilidad esperada de que el extracto de una muestra vegetal sea exitoso a través de ensayos clínicos contra el cáncer es de menos de uno entre 40,000 a 50,000 extractos, y corresponde aproximadamente a una en 10,000 especies de plantas. La colección y la selección están todavía en proceso, y los resultados estadísticamente válidos estarán disponibles en algunos años (comunicación personal del doctor G. Cragg, Instituto Nacional del Cáncer, Washington, D.C., 1993).

ACERCAMIENTO ETNOFARMACOLÓGICO PARA EL DESCUBRIMIENTO DE MEDICAMENTOS

Aunque es probable que un número de nuevos medicamentos valiosos esté contenido en la vasta diversidad química del reino vegetal (véase el apartado 3.4), esta misma diversidad complica la investigación de éstos. No se ha establecido un sistema de selección para guiar al científico hacia una planta que contenga un compuesto activo y útil. Únicamente en las empresas farmacéuticas y dependencias gubernamentales de investigación con mayores recursos se dispone de rastreos aleatorios con alta rotación. Otros grupos de investigación, particularmente aquellos en países menos industrializados, requieren de estrategias para ayudar a reducir la investigación a especies vegetales apropiadas.

Una estrategia disponible es el acercamiento etnofarmacológico,[8] en el cual las plantas se seleccionan de un rastreo con base en las indicaciones de los indígenas o las tradiciones medicinales (véase Cox & Balick, 1994). Algunas de estas plantas se han utilizado medicinalmente durante muchos siglos. Entre los nahuas (cuya última tribu en instalarse en el Valle de México fue la de los aztecas), algunas especies fueron utilizadas continuamente para propósitos medicinales durante más de un milenio (Williams, 1990).

Se puede aprovechar de la quimiotaxonomía para complementar la estrategia etnofarmacológica. Por ejemplo, un número de especies y cultivos en el género *Taxus* L. son conocidos por contener taxanos, un grupo de compuestos al que también pertenece el anticancerígeno taxol. Una vez que se reconoció el potencial terapéutico del taxol, un examen detallado de la literatura reveló que varias especies de *Taxus* han sido utilizadas en las medicinas tradicionales de India, China y en el noroeste del Pacífico de América del Norte. La especie europea *T. baccata* L. ha sido conocida como una planta tóxica desde la Grecia clásica (véase Daly, 1992).

La obtención de datos de campo completos y precisos es imperativa en la etnofarmacología. Además del nombre científico correcto y de la localización exacta de la colección, se deberá registrar información detallada acerca de los usos. Croom (1993) sugirió registrar las par-

[8] La *etnofarmacología* investiga exclusivamente los usos tradicionales de plantas medicinales, mientras que la *etnobotánica* incluye el estudio de otros usos tradicionales de plantas.

tes vegetales que se utilizan, los métodos locales de recolección y almacenamiento, el modo de preparación, la enfermedad tratada, tipo de médico, el régimen de dosis, la vía para su administración, la respuesta a la terapia, la forma de emplearse y los antecedentes socioculturales del paciente (véase el cuestionario que se sugiere en el cuadro 3.1). Schultes (1962) señaló que desde un punto de vista científico, los datos etnofarmacológicos reflejan los usos locales, pero no necesariamente los verdaderos efectos farmacológicos. Se tienen que recolectar los datos de campo en esa perspectiva y a su vez el científico debe concentrarse en registrar las observaciones directas al igual que la experiencia empírica de los indígenas. Desafortunadamente, el saber popular sobre las plantas que se basa en esta vasta experiencia empírica está desapareciendo rápidamente, a medida que las generaciones más jóvenes abandonan los estilos de vida tradicionales (véase Wenzell, 1992).

Un análisis de los resultados del rastreo del Instituto Nacional del Cáncer (Washington, D.C.), hasta 1975, mostró que las especies tradicionalmente utilizadas como antihelmínticos, venenos para pescar y venenos de flechas fueron 7 a 13 más probables de mostrar actividad preliminar *in vitro* en los bioensayos que las especies seleccionadas al azar (Spjut y Perdue, 1976). Dado que la característica fundamental de las quimioterapias existentes para el cáncer es alguna forma de citotoxicidad, no resulta sorprendente que la preselección de las especies vegetales observadas por ser tóxicas, produzcan una proporción mayor de candidatos para una investigación subsecuente que las especies vegetales elegidas al azar.

Phillipson y Wright (1991) analizaron un enfoque etnofarmacológico para buscar nuevos medicamentos antimalaria. La malaria, una enfermedad de los trópicos y de las regiones cálido-templadas, es aún el mal parasitario de mayor mortalidad y más ampliamente difundido en el mundo. En 1987, se estimó que 264 millones de personas estaban infectadas con el protozoario *Plasmodium falciparum*, el más peligroso de las cuatro especies del género, que causa la malaria en los humanos. Se estima que cada año mueren 1.5 millones de personas por la enfermedad (Walsh, 1989).

Existe un conjunto de especies vegetales que se utilizan en la medicina tradicional para tratar la malaria en las diferentes partes donde la enfermedad se extiende geográficamente. En China, un remedio tradicional ha sido *Artemisia annua* L. (Compositae), de la cual se aisló y se probó la artemisinina. Desafortunadamente, el *Plasmodium in vitro* desarrolló una resistencia, por lo que su valor potencial de la artemisinina se encuentra en su combinación con otros medicamentos. Phillipson y Wright (1991) describen químicamente diferentes compuestos derivados de plantas, los cuales muestran alguna actividad antimalaria. Estos autores concluyen que la etnofarmacología es útil para encontrar especies vegetales de valor en la investigación antimalaria. Asimismo, señalan que las especies vegetales con reputación curativa contra cualquier enfermedad protozoaria merecen ser investigadas.

En el siglo XVII los jesuitas en Perú observaron el uso de la corteza de algunas especies del género *Cinchona* L. (Rubiaceae; véase la figura 3.4) por los indígenas para el tratamiento eficaz de la malaria. Posteriormente al "descubrimiento" de la corteza y el subsecuente aislamiento del alcaloide quinina por los europeos, se empezaron a cultivar árboles de *Cinchona* en diversas partes del mundo y los árboles silvestres se explotaron casi hasta su extinción (Steere, 1945). Mediante el empleo de la quinina como compuesto modelo, se sintetizaron medicamentos antimalaria. Desafortunadamente, el *Plasmodium* continúa desarrollando resistencia contra los medicamentos antimalaria

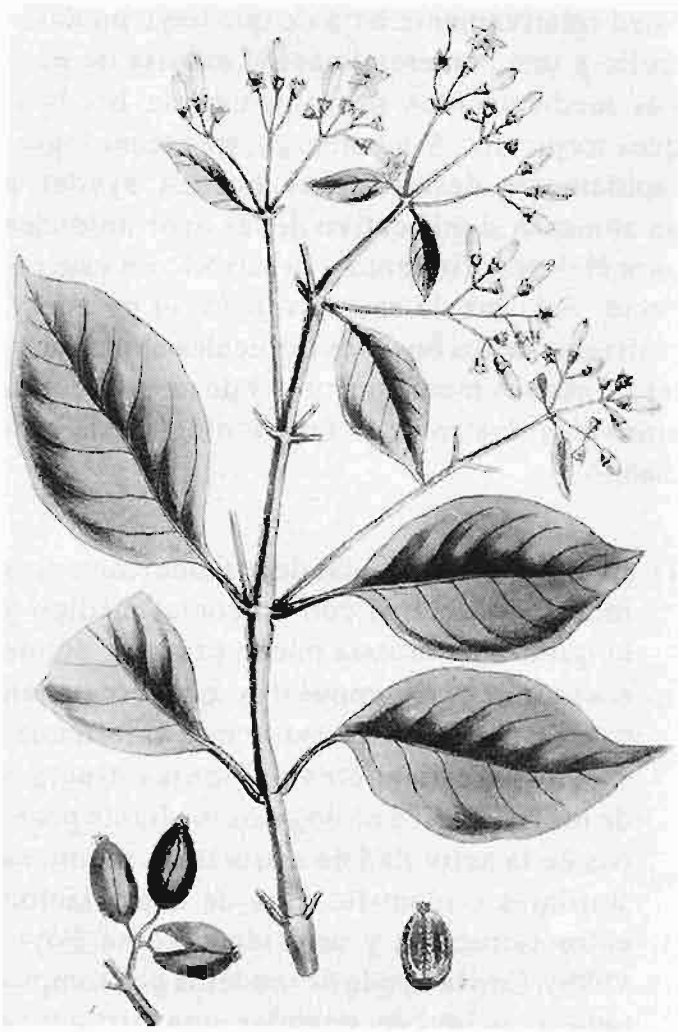


Figura 3.4. *Cinchona officinalis* L., cuya corteza contiene el alcaloide quinina contra la malaria; también contiene quinidina que sirve para problemas cardiacos. Ilustración de Hamilton, E., *Flora Homeopathica*, H. Bailliere, Londres, 1852; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

disponibles, por lo que la investigación de nuevos medicamentos debe continuar. Todavía se utiliza la quinina contra la malaria como medicamento de último recurso.

Se usan plantas para controlar la tasa de fertilidad en muchos sistemas de la medicina tradicional. Pei-Gen y Nai-Gong (1991) estudiaron algunas de las 800 especies vegetales de origen chino que se han empleado en la medicina tradicional para el control de la fertilidad. Su investigación reveló varios compuestos de interés, químicamente distintos, provenientes de seis especies de plantas. Una combinación de gosipol proveniente de *Gossypium hirsutum* Cav. (Malvaceae) y los alcaloides de *Tripterygium wilfordii* Hook. f. (Celastraceae) disminuyen la motilidad de los espermatozoides. Sin embargo, el futuro del gosipol en la contracepción es incierto, debido a sus serios efectos colaterales tóxicos. Otros compuestos con efecto anticonceptivo que merecerían una investigación más amplia son descritos por Bingel y Fong (1988).

Elisabetsky & Posey (1989) en un estudio de plantas contra la fertilidad empleados por los indígenas Kayapó (Brasil) señalan que con frecuencia diferentes grupos étnicos usan las mismas o similares plantas antifértiles.

EL POTENCIAL DE LOS BOSQUES TROPICALES EN LA MEDICINA CIENTÍFICA

¿Qué tan importantes son los bosques tropicales como fuente de nuevos medicamentos para la medicina científica en el mundo? Desafortunadamente, esta pregunta no se puede contestar con certeza. El potencial en el descubrimiento de medicamentos provenientes de plantas tropicales puede ser alto, pero no es posible evaluarlo ahora porque los esfuerzos de investigación no han sido muy amplios ni intensos (Soejarto *et al.*, 1991; Soejarto y Farnsworth, 1989). Sin embargo, resulta claro que si el desarrollo de un medicamento proveniente de plantas es importante, los bosques tropicales deberán ser las áreas de mayor prioridad para estas investigaciones. Su gran diversidad de especies significa, al mismo tiempo, alta diversidad genética, lo que se traduce directamente en una elevada variedad química. Esta diversidad química puede ser aún mayor que lo esperado si se acepta la teoría de que los compuestos vegetales secundarios evolucionan

como parte de un sistema de defensa contra herbívoros. Los bosques tropicales son extremadamente ricos en especies de insectos (Erwin, 1988), muchos de ellos herbívoros (Dirzo, 1987).

No hay duda de que los bosques tropicales contienen una gran cantidad de compuestos biológicamente activos que todavía no han sido descubiertos. No obstante, su potencial en la medicina científica y, más importante, sus oportunidades de entrar en las farmacopeas oficiales, se deben considerar en el contexto de la realidad mercadotécnica. Por varias razones, el descubrimiento de cualquier compuesto bioactivo rara vez conduce al desarrollo de un nuevo medicamento:

1) El tratamiento eficaz de la enfermedad en cuestión puede ya existir y/o la actividad del compuesto investigado puede ser débil o estar de alguna manera por debajo de lo deseable. En tal caso, es poco probable que una compañía farmacéutica realice la enorme inversión que el desarrollo del medicamento requeriría.
2) Pueden existir efectos colaterales indeseables.
3) Pueden existir problemas logísticos relacionados con la producción, como la dificultad para sintetizar el compuesto o la obtención de la materia vegetal en suficiente cantidad y calidad.
4) Si la enfermedad en cuestión es rara o su ocurrencia se restringe a poblaciones muy pobres (como en muchas regiones tropicales), probablemente no se le dé continuidad al desarrollo del compuesto porque automáticamente se convertiría en un "medicamento huérfano", es decir, no habría utilidades netas para la empresa farmacéutica debido al alto costo del desarrollo (en este caso, el gobierno o agencias no lucrativas deberían apoyar el desarrollo del medicamento).

En la actualidad, existe sólo una probabilidad relativamente baja de que haya un desarrollo y una comercialización exitosa de nuevos medicamentos provenientes de los bosques tropicales. Sin embargo, tres tecnologías rápidamente desarrolladas pueden ayudar a un aumento significativo de las oportunidades para el descubrimiento y desarrollo de este recurso. A la luz de estos avances, el potencial realizable de los bosques tropicales como fuentes de nuevos medicamentos y de nuevos conocimientos dentro de la farmacología está creciendo:

1) El desarrollo racional de los medicamentos indica estructuras con potencial médico y la quimiotaxonomía puede predecir dónde encontrar los compuestos que contienen estas estructuras. En más y más enfermedades, los investigadores revelan la estructura de los receptores biológicos mediante pruebas de la actividad de estructuras químicas similares e identificación de una relación entre estructura y actividad (véase Foye, 1989). Con la ayuda de modelos por computadora, se puede postular una estructura química más activa. El diseño y la síntesis de los compuestos "a partir de la nada" en el laboratorio, o empezar a partir de los compuestos sintéticos ya conocidos puede ser tedioso o imposible, dado que los científicos no cuentan con todas las enzimas que tienen las plantas. Por esta razón, existe una ventaja al utilizar la quimiotaxonomía para buscar los compuestos o precursores deseados en ciertos grupos taxonómicos (véase Hegnauer, 1962-presente; Teuscher y Lindequist, 1987; Frohne y Jensen, 1985; Hegnauer, 1984).
2) Para un número creciente de grupos de enfermedades se han desarrollado bioensayos de alta rotación, los cuales son específicos para estas enfermedades (véase Hostettmann, 1991); algunos de estos bioensayos son ma-

nejados por robots, que pueden rastrear grandes cantidades de muestras, incluyendo extractos de plantas para bioactividedes específicas, con mucho mayor rapidez y eficacia en comparación con lo que era posible en el pasado.

3) Hasta ahora, las concentraciones bajas de sustancias bioactivas han limitado el potencial de los productos naturales como fuentes de nuevos medicamentos. En el futuro, la manipulación de la expresión genética podría revolucionar el desarrollo de medicamentos a partir de productos naturales. Posiblemente se pueden producir mayores cantidades de un compuesto vegetal en particular, mediante la inserción de copias adicionales de un gen en el genoma de un organismo y/o mediante la activación de los genes —es decir, mediante la alteración de los controles genéticos de las copias existentes del gen, con el fin de inducirlos a crear más de su producto (véase Luckner y Diettrich, 1984).

3.2 PLANTAS MEDICINALES EN SISTEMAS REGIONALES DE CUIDADO PARA LA SALUD

La probabilidad de morir en un mundo poco industrializado es casi 30 veces mayor para un niño, 40 a 75 veces más alta para un lactante, y 1,000 veces más alta para una mujer embarazada, que para cualquiera de sus contrapartes en una nación muy industrializada (Walsh, 1989). Las crisis en la salud y en el cuidado de la misma continúan sin disminuir en los países menos desarrollados. Es importante darse cuenta de que las necesidades, los intereses y los recursos del mundo menos desarrollado son diferentes de aquéllos del mundo altamente industrializado.

Las amenazas principales a la salud en regiones menos desarrolladas y en particular en las zonas rurales de los países tropicales, son las infecciones y los parásitos (Walsh, 1989), mientras que en las regiones industrializadas los problemas cardiacos y del sistema circulatorio así como el cáncer son principalmente preocupantes. Muchos medicamentos para tratar enfermedades tropicales como la malaria y la esquistosomiasis son fácilmente accesibles en regiones industrializadas, incluyendo ciudades como México o Bogotá, pero las personas en las áreas más remotas que requieren desesperadamente de estos medicamentos, frecuentemente no tienen acceso a ellos.

El problema de acceso geográfico y carencia económica están asociados. En muchas regiones tropicales, el pueblo no puede comprar estos medicamentos aunque los tenga físicamente a la disposición. Como consecuencia y por razones históricas, muchas de estas personas confían en la medicina tradicional, la cual se basa ampliamente en el empleo de las plantas medicinales. La Organización Mundial de Salud (OMS) estimó que hasta el 80 por ciento de las personas en regiones menos desarrolladas (es decir, una gran parte de las regiones tropicales) emplean la medicina tradicional con plantas para el cuidado de la salud (Farnsworth, 1988).

Dadas las realidades económicas y culturales en estas regiones, sus sistemas de cuidado para la salud han sido mejoradas mediante la combinación de la medicina tradicional y científica. Ciertamente, los gobiernos de países tropicales deberían hacer toda clase de esfuerzos para proveer a la población de los medicamentos de la medicina científica, especialmente vacunas y antibióticos. Sin embargo, aquellos gobiernos que todavía no lo hacen, deberían establecer mecanismos para llevar a cabo pruebas básicas, en cuanto a la aprobación y el control de calidad de las preparaciones de las

plantas que se utilizan en la medicina tradicional.

Ésta no es una opinión impuesta desde el exterior. Las comunidades rurales en varias regiones han expresado su preferencia por la combinación de la medicina tradicional y científica. Un ejemplo de ello es la federación de comunidades indígenas en los bosques del Chocó en la parte occidental de Colombia (comunicación personal de representantes de la Organización Indígena Regional Embera-Waunana, Quibdó, Colombia, 1992 y 1990). Como analizamos anteriormente, muchas de las plantas utilizadas en la medicina tradicional jamás podrán competir con los medicamentos establecidos en regiones industrializadas, pero en regiones lejanas pueden ser eficaces, y por lo tanto representar importantes componentes del cuidado para la salud a nivel local.

Numerosas especies de plantas figuran en las medicinas tradicionales de muchas regiones tropicales, como se hizo evidente por la investigación etnofarmacológica de un número de autores. Por ejemplo, para México Aguilar *et al.* (1994), Martínez (1989), y Díaz (1976) enlistan las especies y su uso medicinal en diversas partes del país; Linares *et al.* (1990) dan cuenta de los tés medicinales, y del Amo (1979) ennumera las plantas medicinales del estado de Veracruz, al sureste de México. Arvigo y Balick (1993) proporcionan información acerca de 100 hierbas medicinales del bosque húmedo en Belice. Grenand *et al.* (1987) realizaron una investigación sobre el uso de plantas medicinales empleadas por grupos indígenas en la Guayana Francesa. La Rotta (1982) investigó los usos de las plantas en una comunidad indígena en la Colombia amazónica. Schultes y Raffauf (1990) proporcionan nombres y usos, así como indicaciones de los compuestos químicos de cerca de 1,500 especies de plantas que utilizan diferentes comunidades indígenas en la parte noroeste de región amazónica. García (1992) describe la flora medicinal de Colombia con detalle. Adjanohoun *et al.* (1988) enlistan especies vegetales que se emplean en el Congo como plantas medicinales. Finalmente, von Reis y Lipp (1982) registraron y publicaron los usos medicinales indicados en las etiquetas de los ejemplares de herbario en el Jardín Botánico de Nueva York. Algunas de estas publicaciones son más rigurosas que otras, pero todas contienen información valiosa.

EJEMPLOS DE PROGRAMAS LOCALES DE CUIDADOS PARA LA SALUD

Una presentación de un innovador programa de cuidado para la salud a nivel local en México es proporcionado por Lozoya (1990). Con el apoyo del gobierno federal mexicano, durante la década de 1980 se establecieron 60 hospitales rurales y más de 3,000 Unidades Médicas Rurales por parte del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Bajo este programa, se proporcionó un cuidado médico básico a 15 millones de personas del medio rural. Cada Unidad Médica Rural atiende alrededor de 5,000 habitantes y cuenta con un estudiante de medicina o un médico titulado, al igual que con dos asistentes familiarizados con la situación local y con la medicina tradicional. El programa promovió la cooperación de los curanderos de la localidad y la investigación etnofarmacológica fue parte del diseño del proyecto. La mayoría de las Unidades Médicas Rurales estudió las plantas medicinales utilizadas por los curanderos locales y se estableció una base de datos que contiene la información sobre los usos de los medicamentos de casi 2,000 diferentes especies de plantas. Una gran cantidad de especies se utilizan en varias localidades, y la base de datos puede medir la congruencia del uso en diferentes comunidades (Lozoya, 1990; comunicación personal del Dr. X. Lozoya,

CUADRO 3.1. **Formato de examen para una entrevista etnofarmacológica**

Examinador:
- Nombre y domicilio
- Fecha y lugar del examen

Paciente:
- Nombre y domicilio
- Sexo
- Fecha y lugar de nacimiento
- Geografía de la historia familiar
- Ocupación

Perspectiva del paciente y/o curandero acerca de la enfermedad:
- Nombre de la enfermedad
- Tipo de enfermedad
- ¿Quién diagnosticó la enfermedad?
- ¿Cuándo comenzó la enfermedad?
- ¿Ha terminado la enfermedad? ¿Cuándo?
- Todos los síntomas cronológicos
- Causas conocidas y acciones de los síntomas

Perspectiva del paciente y/o curandero acerca del tratamiento:
- ¿Qué planta(s) se utiliza(n)? (Nombre local e identificación científica mediante ejemplares de herbario)
- ¿Dónde crece(n) la(s) planta(s)? ¿Son cultivadas?
- ¿Cuándo se cosechan las partes vegetales?
- ¿Cómo y qué partes vegetales se cosechan?
- ¿Cómo se almacenan las partes vegetales?
- ¿Quién suministra la preparación de la planta?
- ¿Cómo se hace la preparación de la planta y cómo se administra?
- ¿Cuáles son exactamente los efectos?
- Enlistar todos los demás tratamientos y las sustancias medicinales que se utilizan, su tipo de administración y sus efectos
- Describir todos los rituales, tabúes y/o lineamientos alimenticios relacionados con el tratamiento

Perspectiva del médico científico acerca del tratamiento (si está disponible):
- Fecha y lugar del examen
- Diagnosis de la enfermedad y síntomas característicos
- Tratamiento administrado y resultados
- Otros tratamientos con efecto conocido
- Posible explicación acerca de cómo podría ser eficaz la planta

Otras observaciones:. . . . . .

Instituto Mexicano del Seguro Social, México, 1991).

Weniger (1991) describe un programa etnofarmacológico denominado TRAMIL (Traditional Medicine in the Islands), que ha sido diseñado para ayudar a las poblaciones pobres en Haití, República Dominicana, Colombia, Costa Rica, Dominica, Guatemala, Honduras y Venezuela. La investigación incluye trabajo etnofarmacológico de campo e investigación sobre lo publicado. Desde 1983, más de 280 especies de plantas y 800 usos locales han sido registrados por el equipo de investigación. El programa TRAMIL incluye inventarios botánicos, investigación bibliográfica, estudios farmacológicos/toxicológicos, así como publicaciones. Cada planta se coloca en una de las siguientes categorías: 1) eficaz y no tóxica; 2) tóxica y no recomendable, o 3) candidata a una mayor investigación. Hasta ahora, el 47 por ciento de todas las plantas evaluadas se colocó en la categoría 1, el 13 por ciento se colocó en la 2, y del 40 por ciento restante no se pudo hacer una afirmación final (categoría 3). Uno de los principales objetivos es promover el uso de las plantas de la categoría 1 en el cuidado local de la salud y desestimular el uso de plantas tóxicas.

El cuadro 3.1 muestra un formato de cuestionario sugerido para los estudios etnofarmacológicos. En tanto que se debe registrar toda la información disponible, es importante tener en mente que la información del paciente es su percepción personal, la cual puede o no darnos un retrato exacto de la eficacia científicamente demostrable de una planta medicinal. Por con-

siguiente, el investigador debe formular preguntas que separen la información empírica de las creencias místicas, acerca de los síntomas de la enfermedad, de la preparación de la planta y sobre todo de sus efectos. Indudablemente, los aspectos de rituales tienen importancia social y psicológica, y se deberían considerar, pero el investigador interesado en la farmacognosia solamente se enfoca en la preparación y el uso de la planta medicinal. Por ejemplo, el procedimiento de mantener una parte de la planta en la boca en lugar de deglutirla, podría tener que ver con la absorción de los compuestos activos en la mucosa de la boca, en lugar de degradarse por la acidez de los jugos gástricos. Daly y Limbach (1996) proporcionan algunas consideraciones y precauciones para médicos e investigadores de plantas medicinales.

La información obtenida mediante investigaciones etnofarmacológicas se deberá publicar en una revista científica internacional (por ejemplo, el *Journal of Ethnopharmacology*), para que esté al alcance de otros investigadores. Para que la información etnobotánica sea de utilidad, es fundamental que la identificación de la planta en cuestión sea correcta y que se colecten y conserven ejemplares originales (citando el herbario donde se encuentran). La publicación de los resultados permite a los investigadores etnofarmacológicos de otras regiones utilizar esta información para comparar los datos de las mismas especies o de otras especies dentro del mismo género. Es probable que las especies relativas contengan compuestos similares con actividad parecida (véase el apartado 3.4 y los géneros con varias especies en la lista del apartado 3.5). De esta manera, la investigación de una región acerca de una especie puede ayudar a que avance la investigación en otras regiones sobre la misma o relacionadas especies.

MEDICAMENTOS PROVENIENTES DE PLANTAS EN UN SISTEMA DE CUIDADOS PARA LA SALUD: EL CASO DE ALEMANIA

Existe una larga tradición en Alemania, así como en otros países europeos, en la utilización de preparaciones de plantas medicinales para tratar los problemas de salud (Mothes, 1984). En Europa Central, de 350 a 370 especies de plantas se utilizan en la medicina (comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, Departamento de Farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993). Las plantas medicinales forman parte integral de los sistemas modernos de cuidado para la salud en una gran parte del continente europeo (Tyler *et al.*, 1988; Tyler, 1986). Europa ha adaptado sus mecanismos reguladores para integrar las plantas medicinales en la farmacopea europea. Más aún, los científicos europeos han desarrollado métodos químicos y microscópicos para la identificación y el control de calidad de *drogas crudas*, es decir, las partes comercializadas de las plantas medicinales, desecadas y trozadas, pero no procesadas. Ciertos aspectos de este sistema pueden servir como modelo para el uso de las plantas medicinales en los países menos industrializados, algunos de los cuales ya han dado pasos innovadores hacia la integración de los usos de las plantas tradicionales con la medicina científica.

En Alemania los científicos alemanes han realizado un gran esfuerzo de investigación sobre los remedios populares a base de plantas, y los resultados han sido incorporados dentro del campo de la farmacia. Los estudiantes de farmacia dedican una cuarta parte de su educación al estudio de la farmacognosia (= *Pharmazeutische Biologie*), y una de las prioridades consiste en aprender cuáles drogas crudas de plantas son aprobadas y cómo controlar sus cualidades. Los farmacéuticos y médicos ale-

manes recomiendan las preparaciones vegetales aprobadas. Una gran cantidad de productos fitofarmacéuticos, frecuentemente en forma de tés medicinales, se venden sin receta en las farmacias. Por ejemplo, la industria alemana procesa cada año varios miles de toneladas de hojas de *Mentha* x *piperita* L. para el té de menta y otras preparaciones. El té de menta se puede adquirir en un mercado como una bebida, o a mayor precio en una farmacia como té medicinal. La diferencia es que el té de menta que se vende como cualquier bebida tiene que cumplir con las normas de las leyes referentes a los alimentos (*Lebensmittelgesetz*), mientras que el té medicinal de menta tiene que cumplir con las más rigurosas normas de las leyes sobre medicamentos (*Arzneimittelgesetz*; comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, Departamento de Farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993).

La responsabilidad legal de aprobar o rechazar cualquier medicamento corresponde a las oficinas federales de salud de Alemania, que basan sus decisiones en las recomendaciones de comisiones de expertos. Dos tipos de monografías sirven para comunicar los resultados de las evaluaciones de toda la evidencia disponible por las comisiones. Una de ellas se dirige a la calidad farmacéutica y su control, y la otra se refiere a los aspectos medicinales del medicamento. Las monografías farmacéuticas forman parte del libro alemán de medicamentos (*Deutsches Arzneibuch*; véase DAB10, 1991), el cual es legalmente obligatorio para las farmacias y para la industria farmacéutica. Las monografías médico-farmacológicas son recomendaciones para las farmacias y para las oficinas federales de salud, y serán consideradas en el futuro en las reglamentaciones legales sobre estos medicamentos (comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, departamento de farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993; Keller, 1992; Wichtl, 1989):

1) La *monografía farmacéutica* se publica en el libro alemán de medicamentos, la cual especifica la descripción de drogas crudas, las características microscópicas que se utilizan para su identificación morfológica, las pruebas para su identificación química, calidad y pureza química, así como el almacenamiento correcto. El libro alemán de medicamentos se actualiza regularmente después unos años (DAB9, DAB10, etc.), y ahora incluye el libro europeo de medicamentos, al establecer en cada monografía si es aprobada por toda Europa, o únicamente por Alemania. Hartke y Mutschler (1988) han publicado un comentario para el DAB9 (sirve también para el DAB10).
2) La *monografía médico-farmacológica* se publica de manera individual para cada droga cruda o sustancia en el boletín gubernamental *Bundesanzeiger*. Especifica administración y dosis, y enlista los efectos incluyendo los efectos colaterales negativos (véase el ejemplo para *Valeriana officinalis* L. en el cuadro 3.2 junto con la figura 3.5). Hay monografías positivas y negativas; las últimas recomiendan explícitamente suspender el empleo de una droga cruda o sustancia.

Un *fármaco terminado* (*Fertigarzneimittel*) es aquel medicamento que se comercializa empacado en su forma final, en contraste con los medicamentos que prepara el farmacéutico. Cada fármaco terminado que se comercializa en Alemania, ya sea preparado por compuestos puros o mezclas no puras, requiere de la aprobación individual de las Oficinas Federales de Salud. Una compañía que intenta vender un medicamento tiene que demostrar la calidad farmacéutica del mismo, su nula toxicidad y su eficacia. Así, los compuestos derivados de plantas, puros o en forma de extractos, son tratados de la misma manera que los compuestos sintéticos

CUADRO 3.2. **Parte de la monografía médico-farmacológica de *Valeriana officinalis* L., preparada por la "Comisión E" en Alemania** (de Wichtl, 1989).

Nombre de la droga cruda
Valerianae radix, "Baldrianwurzel" ("raíz de la valeriana")
Ingredientes
La raíz, que se compone de las partes subterráneas de la planta, fresca o secada por debajo de los 40 °C, de la especie *Valeriana officinalis* L., así como también sus preparaciones en dosis eficaces.
Las raíces contienen un aceite volátil con mono- y sesquiterpenos (ácido valeriánico).
Los valepotriatos originales, que son termo- y quimiolábiles, ya no están presentes en las formas usuales de administración terapéutica (té, extracto, líquido, tintura); se descomponen durante la preparación.
Campos de aplicación
Inquietud, insomnio nervioso.
Contraindicaciones
Ninguna conocida.
Efectos colaterales
Ninguno conocido.
Efectos de interacción con otros medicamentos
Ninguno conocido.
Dosis
Si no se prescribe de manera diferente:
Té: 2 - 3 g de la droga cruda por taza, una o varias veces durante el día.
Tintura: ½ - 1 cucharaditas (1 - 3 ml) una o varias veces durante el día.
Extractos: equivalente a 2 - 3 g de la droga cruda, una o varias veces durante el día.
Modo de aplicación
A nivel interno: como tintura, savia de la planta extraída, extractos u otras preparaciones galénicas.
A nivel externo: como agregado al bañarse.
Efectos
Calmante, sudorífico.

(en contraste con los homeopáticos que no tienen que probar su eficacia; véase la introducción del capítulo).

Para simplificar el proceso de la aprobación de medicamentos, la ley alemana de medicamentos permite a las Oficinas Federales de Salud emitir aprobaciones estandarizadas (*Standardzulassungen*), las cuales posteriormente se representarán en monografías farmacéuticas del libro alemán de medicamentos. Las *aprobaciones estandarizadas* permiten a las compañías farmacéuticas vender fármacos terminados de las mismas especies de plantas y con los mismos compuestos químicos activos, sin tener que pasar por el complejo procedimiento de aprobación individual que requiere de mucho tiempo y dinero. Varias marcas comerciales pueden ser reguladas mediante la misma aprobación estandarizada (Wichtl, 1989).

Las drogas crudas se pueden desarollar por un lado en forma de tés o tinturas, y por el otro, por un procedimiento más elaborado en fármacos con compuestos purificados. Así, existen dos tipos básicos de preparaciones de plantas medicinales que pueden procesarse en diversas presentaciones como gotas, cremas, píldoras o cápsulas:

1) extractos no–purificados provenientes de drogas crudas que contienen numerosos compuestos, y
2) compuestos purificados derivados de plantas mediante la extracción y el aislamiento.

Las monografías médico-farmacológicas para todos los farmacéuticos que *no* son puros se desarrollan por medio de un grupo distinguido de expertos denominado "comisión E". Otra comisión está a cargo de todas las sustancias puras, independientemente de si son derivadas de manera sintética o de una planta. Los miembros de la "comisión E" son propuestos por las asociaciones de los profesionales de la salud (médicos, farmacéuticos, farmacólogos, toxicó-

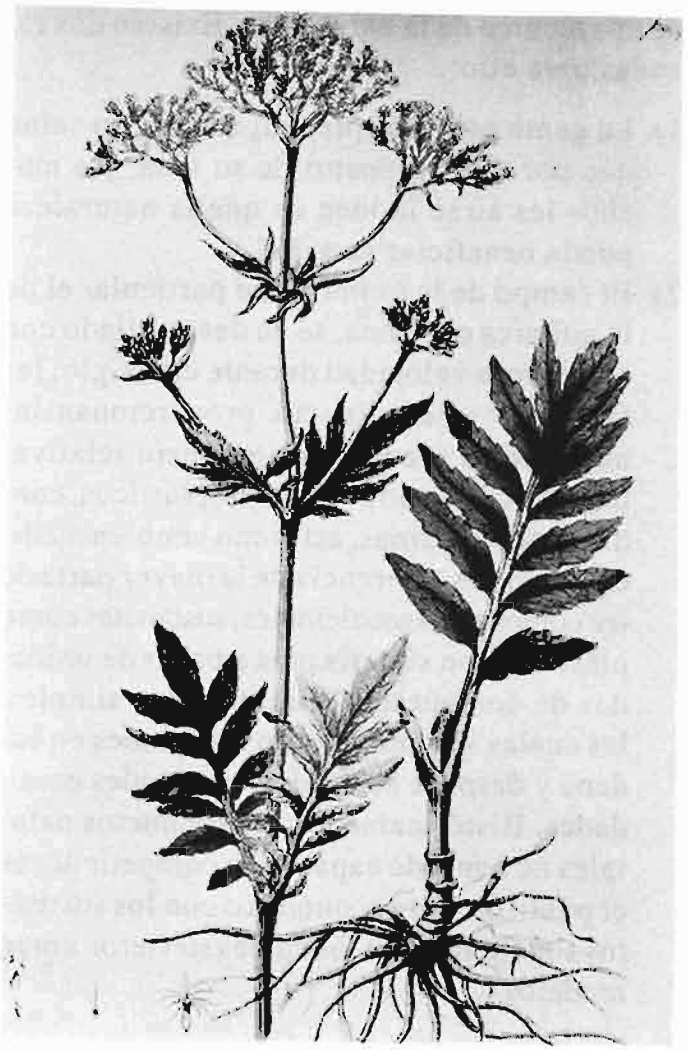


Figura 3.5. *Valeriana officinalis* L., una planta medicinal de Alemania. Ilustración de *Medical Botany* (anónimo, volumen 1), E. Cox & Son, Londres, 1821; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

logos) y por representantes de la industria farmacéutica. La comisión revisa la literatura y los demás datos disponibles para cada droga cruda, pero no realiza sus propios experimentos (comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, Departamento de Farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993; Keller, 1992).

En el caso de cualquier nuevo medicamento, para el cual no existe una aprobación estandarizada y que no se encuentra en el libro alemán de medicamentos, es responsibilidad de la compañía farmacéutica proporcionar suficientes resultados de investigación para lograr su aprobación. Es especialmente difícil obtener la aprobación para una planta tropical o de origen no europeo en las oficinas federales de salud de Alemania, porque con frecuencia es difícil encontrar publicaciones o un historial bien documentado de su uso (comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, departamento de farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993). La investigación necesaria abarca por lo general años y cuesta millones de dólares (véase el apartado 3.1). En países que desean incorporar de manera mejor los fitofármacos en su sistema de salud, será un paso importante documentar la historia del uso de plantas medicinales.

Un ejemplo típico de una especie de planta medicinal tratado positivamente en la monografía médica-farmacológica es *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (Labiatae). Esta especie no tiene efectos curativos muy evidentes y no se conoce todavía qué compuestos producen producen el efecto. Las hojas se importan de Asia tropical y se utilizan como diurético en caso de inflamaciones leves de los riñones y de la vejiga. La planta contiene principalmente aceites volátiles con más de 60 compuestos químicos, lo que hace muy difícil la comprensión de la farmacología (Wichtl, 1989). El té no sustituye a los antibióticos para el tratamiento de infecciones de los riñones o de la vejiga, pero existe evidencia de que ayuda en problemas menos serios.

Las aprobaciones estandarizadas existen también para tés que sean mezclas de diferentes especies. Por ejemplo, a las farmacias en Alemania se les permite vender el siguiente té medicinal de seis especies vegetales para tratar la tos (aprobación estandarizada 2009.99.99; de Wichtl, 1989):

- *Althaeae radix* (de *Althaea officinalis* L., Malvaceae), 25 partes;
- *Foeniculi fructus* (de *Foeniculum vulgare* Miller, Apiaceae), 10 partes;
- *Lichen islandicus* (del liquen *Cetraria islandica* (L.) Acharius), 10 partes;
- *Plantaginis lanceolatae herba* (de *Plantago lanceolata* L., Plantaginaceae), 15 partes;
- *Liquiritiae radix* (de *Glycyrrhiza glabra* L., Leguminosae-Papilionoideae), 10 partes;
- *Thymi herba* (de *Thymus vulgaris* L. o *T. zygis* L., Labiatae), 30 partes;

En muchos aspectos, el uso de las plantas medicinales en el sistema alemán de cuidado para la salud podría ser utilizado como modelo para otros países, en especial para los tropicales. En lugar de descartar los tés medicinales, y considerar "primitivos" a los fitofármacos, la comunidad científica alemana y europea ha desarrollado mecanismos y normas regulatorias que hacen posible incluir las preparaciones de plantas medicinales como parte de su sistema de cuidado para la salud seguro y eficaz. Los países menos industrializados podrían adoptar mecanismos y normas similares, y aplicarlas a las preparaciones de plantas medicinales desde sus propias tradiciones. Por otra parte, podrían también hacer uso de las especies que ya han sido aprobadas por el sistema de Alemania y de Europa. Algunas de estas especies son de origen tropical, y muchas otras son hierbas medicinales que se cultivan o que de alguna forma están disponibles en varias partes del mundo (véase el apartado 3.5). .

3.3 USOS NO-MEDICINALES DE COMPUESTOS FITOQUÍMICOS

Se le da mayor atención a los medicamentos provenientes de la naturaleza que a las tinturas, los insecticidas y los productos químicos de uso técnico de la naturaleza. Existen dos razones para ello:

1) La gente está más preocupada por su salud que por otros aspectos de su vida, y a muchos les atrae la idea de que la naturaleza pueda beneficiar su salud.
2) El campo de la química, en particular el de la química orgánica, se ha desarrollado con asombrosa velocidad durante este siglo; los fabricantes de químicos proporcionan innumerables productos a un costo relativamente bajo, como colorantes, plásticos, condimentos y toxinas, así como también medicamentos. A diferencia de la mayor parte de los compuestos medicinales, sustancias como plásticos son sintetizadas a partir de unidades de compuestos relativamente simples, las cuales se combinan en reacciones en cadena y después se venden en grandes cantidades. Históricamente, los productos naturales no han sido capaces de competir desde el punto de vista económico con los sustitutos sintéticos, para los cuales sirvieron como modelos.

La segunda razón afectó fuertemente a las personas en la región amazónica durante el ascenso y el descenso de auge del caucho entre 1850 y 1920. El *caucho natural* es químicamente cispoliisopreno ($[-H_2C-C(H_3C)=CH-CH_2-]_n$). Se obtiene mediante la recolección del látex del árbol amazónico *Hevea brasiliensis* (A. Juss.) Muell. Arg. (Euphorbiaceae). A medida que en el mundo se desarrolló cada vez más el uso del caucho y en especial con el crecimiento de la industria automotriz, se hizo casi insaciable la demanda a nivel mundial porque las llantas e innumerables productos podían fabricarse únicamente con caucho. Ciudades como Belém y Manaus en Brasil, e Iquitos en Perú se convirtieron en metrópolis ricas. Manaus tuvo electricidad antes que Río de Janeiro y tranvías antes que Boston.

El primer contratiempo para la región amazónica provino del éxito del cultivo intenso de árboles de caucho de Pará en grandes plantaciones en colonias británicas y holandesas en Malasia, las cuales fueron seguidas por plantaciones en otros países de Asia y África. En 1913, la producción del caucho en plantaciones excedió a la del caucho silvestre, y ascendió al doble en 1914. El segundo contratiempo, éste para toda la industria del caucho natural, provino de los sustitutos sintéticos del caucho, el primero de los cuales fue desarrollado en 1922 (Dean, 1987; Pineda, 1987). La molécula de caucho se sintetizó finalmente en 1955 cuando se descubrieron los catalizadores adecuados. En la actualidad, todavía existe una necesidad y una demanda para el caucho natural, que químicamente no es exactamente igual al caucho sintético (por ejemplo, para llantas de aviones), pero requiere de sólo una fracción del mercado total del caucho.

A pesar de la competencia por los sintéticos, hay un mercado para una serie de productos químicos no medicinales, provenientes de la naturaleza. Se pueden distinguir cuatro importantes tipos de productos:

1) compuestos apreciados por su sabor y aroma;
2) resinas y productos químicos técnicos;
3) insecticidas y otras toxinas útiles;
4) enzimas.

COMPUESTOS APRECIADOS POR SU SABOR Y AROMA

Durante milenios, ha existido un gran mercado de hierbas y condimientos para enriquecer el sabor de la comida. Las sustancias amargas estimulan el apetito. Ejemplos de ello son la madera de *Quassia amara* L. (Simaroubaceae; véase la figura 3.6) y la cáscara de *Citrus aurantium* L. ("naranja"; Rutaceae), la cual contiene los amargos compuestos neohesperidina, naringina y un precursor de limonina. También se encuentran compuestos picantes en las plantas y se utilizan ampliamente, como la "pimienta negra" de *Piper nigrum* o la "pimienta gorda" de *Pimienta dioica* (L.) Merr. (Myrtaceae. América Central e Indias Occidentales). Otros ejemplos son *Capsicum frutescens* y *C. annuum* ("chile") y *Zingiber officinale* ("jengibre", véase el apartado 3.5 [# 28, 37, 42]). Finalmente, las plantas también proporcionan compuestos dulces además de la glucosa y fructosa, es decir, de los azúcares del metabolismo primario. Ejemplos son la glicirricina en *Glycyrrhiza glabra* (Leguminosae-Papilionoideae) o el esteviósido y el rebaudiósido A de *Stevia rebaudiana* Bertoni, una Compositae originaria de Paraguay (Kinghorn, 1992; Wagner, 1988).

El gusto por la comida proviene tanto del olor como del sabor. Los olores de las plantas de condimentos se originan en los aceites volátiles. Las siguientes especies son ejemplos de plantas tropicales que se utilizan en la preparación de alimentos como condimento en todo el mundo por el olor y sabor de sus aceites volátiles:

- *Cinnamomum verum* J. Presl (sinónimo: *C. zeylanicum* Nees; "canela"; Lauraceae; de Sri Lanka y el suroeste de India; véase la especie en el apartado 3.5 [#15]);
- *Elettaria cardamomum* (L.) Maton ("cardamomo"; Zingiberaceae; de India);
- *Myristica fragrans* Houtt. ("nuez moscada"; Myristicaceae; de las Islas Molucas);
- *Syzygium aromaticum* (L.) Merrill & Perry ("clavo"; Myrtaceae; de las Islas Molucas; véase el apartado 3.5 [#26]);
- *Vanilla planifolia* Jackson ("vainilla"; Orchidaceae; en América tropical).

RESINAS Y QUÍMICOS TÉCNICOS

Otras sustancias derivadas de plantas para uso técnico incluyen las resinas, el caucho y

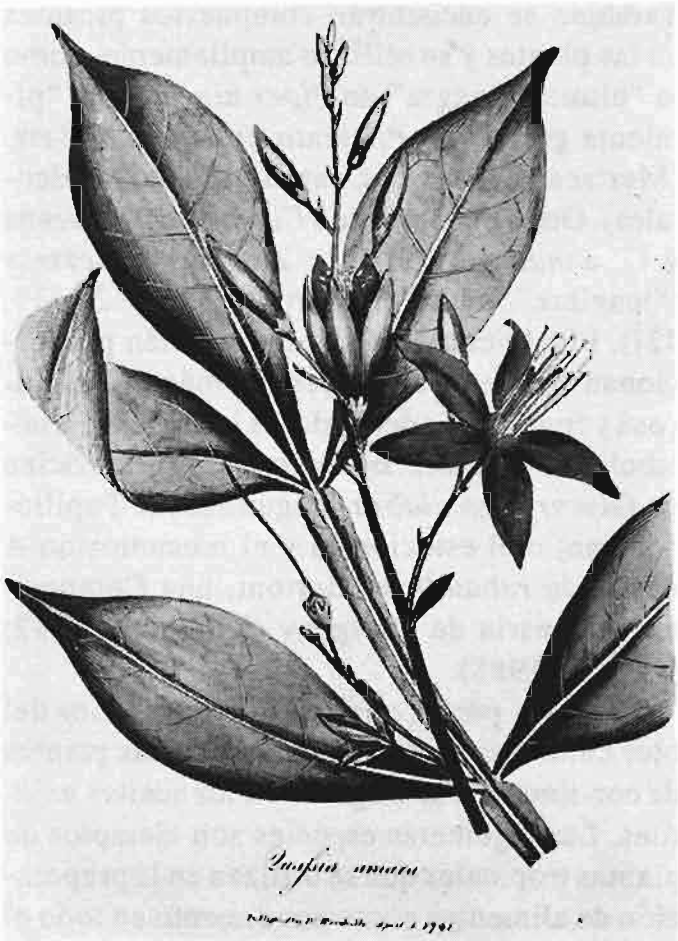


Figura 3.6. *Quassia amara* L. de Sudamérica contiene compuestos amargos que estimulan el apetito (véase el apartado 3.5 [#36].) Ilustración de Woodville, W., *Medical Botany* (volumen 2), James Phillips, Londres, 1793; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

sustancias similares, las gomas, las ceras, los agentes para el curtido y las tinturas. En la presente obra sólo intentamos presentar algunos ejemplos de los trópicos, recopilados de Rehm y Espig (1984) y de Wagner (1988), con información adicional de Mabberley (1989).

Existe un buen número de especies para la producción de *resinas*, las cuales son mezclas de terpenoides, lignanos, carbohidratos y compuestos aromáticos. La más legendaria de ellas es el incienso, que se obtiene de diversas especies de *Boswellia* Roxb. ex Colebr. (Burseraceae), principalmente *B. sacra* Flueck. Ésta y otras resinas afines figuraron de manera prominente en el desarrollo de las relaciones comerciales entre Europa, Arabia, China e India (véase Groom, 1981).

Tradicionalmente, los usos más importantes de muchas resinas han sido para rituales y medicamentos; en la actualidad, se utilizan de manera comercial en la producción de perfumes, lacas, barnices, pinturas y en la preparación de algunos medicamentos. Los siguientes son algunos ejemplos de especies de plantas para la producción de resinas:

- *Canarium luzonicum* Miq. (Burseraceae; Filipinas);
- *Copaifera officinalis* (Jacq.) L. (Leguminosae-Caesalpinioideae; América tropical);
- *Dipterocarpus costatus* Gaertner f. (Dipterocarpaceae; sureste de Asia);
- *Garcinia morella* Desr. (Guttiferae; sureste de Asia);
- *Hymenaea courbaril* L. (Leguminosae-Caesalpinioideae; América tropical);
- *Myroxylon balsamum* (L.) Harms (Leguminosae-Papilionoideae; América tropical; véase el apartado 3.5 [#17]);
- *Shorea robusta* Gaertner f. (Dipterocarpaceae; sureste de Asia);
- *Styrax benzoin* Dryander (Styracaceae; Sumatra, Java, Indochina y Tailandia);
- *Vateria indica* L. (Dipterocarpaceae; India).

Cauchos y productos similares al caucho de Pará de *Hevea brasiliensis* se han obtenido de las siguientes especies tropicales:

- *Brosimum utile* (Kunth) Oken (Moraceae; América Central y norte de Sudamérica);
- *Couma macrocarpa.* y *C. utilis Muell.* Arg. (Apocynaceae; región amazónia; véase la figura 3.7);

- *Dyera costulata* (Miq.) Hook. f. (Apocynaceae; Malasia e Indonesia);
- *Ecclinusa sanguinolentum* (Pierre) Baehni subespecie *balata* (Ducke) Penn. (Sapotaceae; Brasil);
- *Manilkara bidentata* (A. de Candolle) Chevalier (Sapotaceae; norte de Sudamérica); *M. elata* (Allem. ex Miq.) Monachino (Brasil); *M. zapota* (L.) van Royen (América Central);
- *Palaquium gutta* (Hook.) Baillon ("gutapercha"; Sapotaceae; sureste de Asia);
- *Payena leerii* (Teijsm. & Binnend.) Kurz (Sapotaceae; Java).

Las *gomas* se componen de carbohidratos complejos. Las especies importantes para la producción de gomas que se utilizan en la industria alimenticia y farmacéutica son *Acacia senegal* (L.) Willd. (Leguminosae-Mimosoideae; Sudán), *Astragalus gummifer* Lab. (Leguminosae-Papilionoideae; Asia), y *Sterculia urens* Roxb. (Sterculiaceae; India).

Las *ceras* son complejas mezclas de ésteres de "alcoholes de ceras" con largos ácidos grasos. Se les usa, por ejemplo, como componentes biológicamente inertes en pomadas y cosméticos y para pulimentos. Las ceras industriales se obtienen de una serie de especies tropicales como las siguientes:

- *Ceroxylon alpinum* Bonpl. ex DC. (Palmae; Sudamérica);
- *Copernicia prunifera* (Miller) H. Moore (Palmae; Brasil);
- *Euphorbia antisyphilitica* Zucc. (Euphorbiaceae; México);
- *Myrica cerifera* L. (Myricaceae; América Central y norte de Sudamérica);
- *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. (Palmae; Brasil).

Los *agentes para curtido* son compuestos fenólicos con un alto número de átomos de oxígeno. Su uso principal es para curtir el cuero de la piel de animales. Ejemplos de especies de plantas tropicales para la producción de agentes para curtido son *Terminalia chebula* (Gaertner) Retz. (Combretaceae; India), *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. (Leguminosae-Caesalpinioideae; América tropical), y *Rhizophora mucronata* Lam. (Rhizophoraceae; en costas de los mares tropicales).

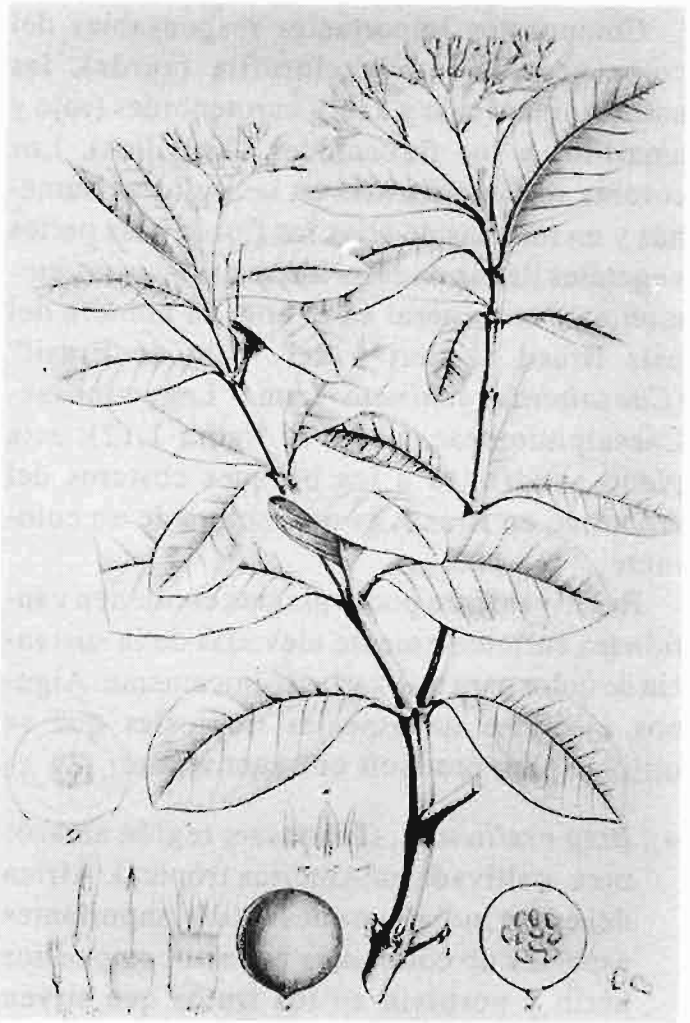


Figura 3.7. *Couma utilis* Muell. Arg. de la región amazónica tiene un látex, que se utiliza para producir chicle, y los frutos son comestibles. Ilustración de: von Martius, K. F. P., A. W. Eichler, I. Urban, S. L. Endlicher, y E. Fenzl (eds.), *Flora brasiliensis*, (volumen 6), Munich, 1840-1906; fotografía de Muriel Weinerman (Nueva York).

Compuestos importantes responsables del color vegetal son la clorofila (verde), las antocianinas (rojo y azul), carotenoides (rojo y amarillo) y los flavonoides (amarillos). Los colores son importantes en las culturas humanas y en muchas de ellas las flores y las partes vegetales llenas de colorido se utilizan en ceremonias y en general en el arte. El nombre del país Brasil se derivó del "palo de Brasil" (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae-Caesalpinioideae; véase la figura 1.12); esta planta, endémica a los bosques costeros del Atlántico en Brasil, es productora de un colorante.

Relativamente pocas plantas contienen cantidades suficientemente elevadas de la sustancia de color para utilizarlas técnicamente. Algunos ejemplos de especies tropicales que se utilizan para producir colorantes son:

- *Bixa orellana* L. (Bixaceae; región amazónica, cultivada en América tropical, África del este e India): una de las más importantes especies de colorantes por sus compuestos bixin y norbixin en los frutos que sirven para pigmentar de rojo a los alimentos y cosméticos;
- *Escobedia curialis* (Vell.) Pennell (Scrophulariaceae; Sudamérica): se obtiene el amarillo azafrín de la raíz, el cual se usa para pigmentar el arroz y otros alimentos;
- *Rubia cordifolia* L. (Rubiaceae; India): el colorante rojo del tronco y de las raíces sirve para pigmentar los textiles de algodón.

INSECTICIDAS Y OTRAS TOXINAS

A pesar de que algunas plantas son capaces de repeler insectos, ha sido poco frecuente el uso de insecticidas naturales. De hecho, las piretrinas y las rotenonas son los únicos insecticidas derivados de plantas de amplio espectro y de importancia comercial. Esto se puede explicar por dos razones:

1) Los compuestos vegetales secundarios rara vez muestran una respuesta 100 por ciento repelente o tóxica a los insectos. El efecto con frecuencia puede ser parcial y gradual, reduciendo la alimentación del insecto, pero no llega a matarlo, como se ejemplifica mediante los cromonas de plantas de la familia Compositae (Srivastava y Proksch, 1991).
2) El efecto es con frecuencia específico a la especie del insecto y así limitado en su espectro. Por ejemplo, el compuesto L-canavanina en *Dioclea megacarpa* Rolfe (Leguminosae-Papilionoideae) es venenoso para algunos insectos, pero alimenta a las larvas del escarabajo *Caryedes brasiliensis* (Rosenthal, 1983).

Las piretrinas se aíslan de *Chrysanthemum cinerariifolium* Vis. (Compositae), originaria del Cáucaso pero cultivado en muchas regiones, principalmente en los trópicos. Las piretrinas matan a los insectos al entrar en contacto con ellos, mientras que no tienen un efecto tóxico obvio en los animales de sangre caliente, incluyendo al ser humano (recientemente hubo un debate acerca de la neurotoxicidad de las piretrinas en humanos; comunicación personal del Dr. F.-C. Czygan, Departamento de Farmacognosia, Universidad Würzburg, Alemania, 1993).

Las rotenonas habitan en raíces de dos géneros de Leguminosae-Papilionoideae, de las cuales se utilizan los extractos en la jardinería y agricultura:

- *Derris* Lour.; por ejemplo, *D. elliptica* (Wallich) Benth. del sureste de Asia y este de África;
- *Lonchocarpus Kunth*; por ejemplo, *L. nicou* (Aublet) DC de Guyana, *L. urucu* Killip & Smith de Brasil, y *L. utilis* A.C. Smith de Perú.

Otro ejemplo de una planta con compuestos insecticidas es el "tabaco" (*Nicotiana tabacum* L., Solanaceae; véase el apartado 3.5 [#38]). Los compuestos activos son la nicotina y los alcaloides relacionados, cuyos extractos se utilizan en invernaderos para combatir herbívoros. Finalmente, *Ryania pyrifera* (L.C. Rich.) Uitt. & Sleum. (Flacourtiaceae; Sudamérica y Trinidad) contiene el alcaloide rianodina, que se utiliza contra algunos insectos en la agricultura (Wagner, 1988; Rehm y Espig, 1984).

Un grupo de toxinas, las saponinas tóxicas, se ha empleado por gente de la selva como veneno para pescar (Acevedo-Rodríguez, 1990, proporcionan una revisión). Además, existen compuestos químicos en plantas, eficaces contra malas hierbas, hongos y roedores (véase Teuscher y Lindequist, 1987; Balandrin *et al.*, 1985), pero han sido poco o no comercializados en escala industrial, porque los compuestos sintéticos han sido baratos y eficaces. Sin embargo, algunos sintéticos son tóxicos para muchos animales así como humanos, y son notoriamente lentos para degradarse; el más notable es el DDT (cuatro estructuras químicamente similares de tricloro-(clorofenil)- etano). La degradación tiende a no ser un problema con compuestos ya establecidos en el ecosistema natural.

ENZIMAS

El inconsistente y con frecuencia reducido suministro de compuestos de productos naturales técnicos que normalmente se encuentran en plantas (véase el apartado 3.4) ha desalentado el uso de plantas en la industria química. No obstante, se puede anticipar que la naturaleza será nuevamente visitada con el desarrollo de la ingeniería genética. La naturaleza proporciona enzimas (catalizadores de proteínas), capaces de realizar reacciones —algunas de las cuales son todavía imposibles de simular en el laboratorio— o de acelerar reacciones químicas. El poder producir dichas enzimas y utilizarlas en gran escala permitiría un avance considerable en la química orgánica.

3.4 DIVERSIDAD QUÍMICA EN PLANTAS: ALCALOIDES EN *ORMOSIA*

La finalidad de esta apartado es demostrar una metodología para la extracción y la caracterización estructural de compuestos químicos, y después generalizar a partir de este estudio y de la literatura concerniente a algunos patrones en la presencia de los compuestos vegetales secundarios.

Se llevó a cabo un estudio para evaluar la diversidad química en el género tropical *Ormosia* Jackson (Ricker *et al.*, 1994). *Ormosia* es un género de la familia Leguminosae-Papilionoideae, la familia de los frijoles. Se examinaron especies de este género arbóreo de México, Perú y Colombia. Con alrededor de 17,000 especies en todo el mundo, la familia Leguminosae es la tercera más grande después de la Compositae y de la Orchidaceae. Una gran cantidad de especies habita en los trópicos e incluye a grandes árboles de los bosques tropicales.

La familia Leguminosae se subdivide taxonómicamente en tres subfamilias y en 41 tribus. Ocho tribus que están relacionadas de acuerdo con los estudios morfológicos comparten también una característica química importante en que producen alcaloides quinolizidínicos (Kinghorn y Balandrin, 1984; Kinghorn *et al.*, 1982; Polhill, 1981). Más de 500 alcaloides del tipo de la quinolizidina en muchas diferentes especies de las ocho tribus ya han sido caracterizados mediante espectrometría de masas (véase más adelante) y algunos de ellos también con mayor detalle por medio de otros métodos.

Las clases de los compuestos vegetales secundarios con frecuencia se restringen a cier-

tos grupos taxonómicos pero están ampliamente distribuidos dentro de dichos grupos. Por ejemplo, en la familia Anacardiaceae cerca de 25 de 76 géneros se consideran venenosos, debido a los compuestos fenólicos causantes de dermatitis (Mitchell, 1990).

Ormosia es un género de una de las tribus con alcaloides quinolizidínicos, la tribu Sophoreae. Este género de aproximadamente 120 especies se compone fundamentalmente de grandes árboles de bosques tropicales en América Latina y el sureste de Asia. Aparentemente todas las especies de *Ormosia* producen alcaloides quinolizidínicos (véase Kinghorn *et al.*, 1988). Las típicas semillas duras de color rojo y/o negro se utilizan a nivel local para la elaboración de collares (el nombre *Ormosia* proviene de la palabra griega *hormos* que significa "collar"). Las semillas también son utilizadas en la medicina local por algunas tribus indígenas.

La figura 3.8 muestra algunos ejemplos de alcaloides quinolizidínicos. La lupanina es uno de los alcaloides quinolizidínicos que ocurre con mayor frecuencia, y se encuentra en géneros de árboles tropicales como *Ormosia*, así como en el género de arbustos de clima templado *Laburnum* Fabr. Por otra parte, la ormosanina se encuentra únicamente en unos cuantos géneros. La esparteína, que se encuentra en algunas especies de *Ormosia* al igual que en varias especies de leguminosas de clima templado, se utiliza en Alemania para tratar ciertas arritmias cardiacas.

Dos compuestos químicamente similares pueden tener efectos diferentes. En dosis apropiada, la esparteína tiene un efecto positivo sobre el corazón. La lupanina, que difiere únicamente por un grupo ceto (=O) tiene efectos similares aunque más tóxicos que la esparteína. La anagirina, que tiene dos enlaces dobles en lugares donde la lupanina tiene enlaces sencillos, es teratogénica (es decir, causa anormalidades en el desarrollo del feto) (BPI, 1994; Teuscher y Lindequist, 1987).

Una gran diversidad de compuestos es posible debido a los diferentes tipos de variación en las estructuras químicas. Se pueden añadir grupos funcionales como grupos hidroxilos (—OH), los enlaces entre átomos de carbono pueden ser sencillos o dobles, y también se pueden añadir o combinar sistemas anillares. En los átomos asimétricos (aquellos que tienen cuatro diferentes sustituyentes o "vecinos") son posibles dos configuraciones diferentes en el espacio (denominadas S y R). El esqueleto de la panamina en la figura 3.8 muestra los átomos de carbono, los cuales son asimétricos en esta molécula; el tipo de la panamina, siete átomos de carbono asimétricos permiten teóricamente $2^7 = 128$ estereoisómeros, es decir, compuestos con la misma fórmula química en la figura 3.8 de $C_{20}H_{33}N_3$, pero con diferentes

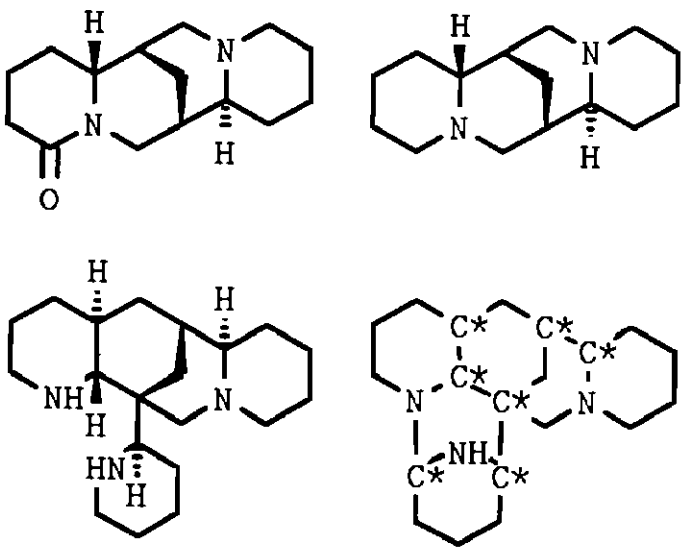


Figura 3.8. Ejemplos de alcaloides quinolizidínicos: lupanina (arriba, izquierda), esparteína (arriba, derecha), ormosanina (abajo, izquierda) y el esqueleto de panamina (abajo, derecha). Los alcaloides quinolizidínicos contienen el nitrógeno entre los anillos hexacíclicos; en el esqueleto de panamina, están indicados los átomos asimétricos de carbono.

CUADRO 3.3. **Procedimiento para la extracción de alcaloides**

La polaridad de los alcaloides cambia de acuerdo con el medio en que se encuentran. En un medio ácido están cargados; en consecuencia, son muy polares y se disuelven en agua (ante un exceso de H^+, un H^+ se une con un nitrógeno en la molécula). En un medio alcalino, los alcaloides no son polares y se disuelven en solventes orgánicos como diclorometano (= CH_2Cl_2); en exceso de OH^-, el H^+ en el nitrógeno sale del alcaloide para unirse con el OH^- y formar H_2O, es decir, agua).

Un gramo del material vegetal seco y pulverizado se pone primero en ácido (por ejemplo, 20 ml un-molar ácido sulfúrico = H_2SO_4). Los alcaloides, que son alcanzados por el ácido en el material vegetal, adquieren carga y se disuelven en la ácida solución de agua, junto con otros compuestos indeseables. Después de la filtración, la solución se hace alcalina al agregarle 3 ml de amonio (NH_4OH) al 25 por ciento.

La solución ahora contiene alcaloides no-polares, que requieren de ser separados de otros compuestos indeseables. Para hacer esto, se agregan 100 ml de diclorometano. La fase polar del agua y las fases no-polares del diclorometano permanecen separadas (debido a que los líquidos tienen diferentes densidades, el agua se queda en el fondo). Al agitarla, los alcaloides pasan de la fase de agua hacia la fase de diclorometano no-polar. Las dos fases se pueden separar con un embudo de separación o una columna polar de separación (el material sólido polar en una columna retiene moléculas polares mientras que las moléculas no-polares salen de la columna). El diclorometano se evapora por calentamiento, ya que tiene un punto de evaporación bajo, mucho menor al de los alcaloides, los cuales son usualmente cristales. La muestra estará entonces lista para el análisis y habrá de guardarse en un vial.

arreglos de sus átomos en el espacio. Incluso dos estereoisómeros podrían tener efectos farmacológicos diferentes; esto es válido para los alcaloides quinina y quinidina (véase la figura 3.25). Se han encontrado muchos estereoisómeros de los alcaloides quinolizidínicos, aunque usualmente en una cantidad bastante menor al número matemáticamente posible.

EXTRACCIÓN, SEPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ALCALOIDES

La investigación de compuestos vegetales comienza con procedimientos de aislamiento. Se quiere extraer solamente ciertas moléculas con cada procedimiento específico. El criterio principal para la extracción de los compuestos vegetales es la polaridad del tipo de molécula, refiriéndose al grado de las cargas parciales en diferentes partes de la molécula. Los procedimientos de separación se basan en gran medida en una combinación adecuada de las polaridades entre los compuestos requeridos y el solvente. Para los alcaloides, el procedimiento se describe en el cuadro 3.3 (para los métodos en general, véase Harborne, 1984).

Un extracto de *Ormosia* contendrá una mezcla de pocos o de muchos alcaloides, cada uno en concentración distinta. Con el fin de identificarlos, primero hay que separar los alcaloides uno del otro y después hay que identificarlos uno por uno. El campo de la química ha desarrollado una gran cantidad de herramientas sofisticadas para dichos propósitos (para una introducción véase Solomons, 1988; Hesse *et al.*, 1984). Para la caracterización estructural de los alcaloides quinolizidínicos, el método de cromatografía de gases combinado con la espectrometría de masas ha demostrado su utilidad. Este método se describe brevemente en los cuadros 3.4 y 3.5. La figura 3.9 muestra un cromatograma de gases de un extracto de semillas de *Ormosia macrocalyx* Ducke, originarias de Chiapas, México.

El cromatograma de gases en la figura 3.9 representa todos los compuestos en un extracto que consta principalmente de alcaloides. En un cromatograma de gases, el tiempo de re-

CUADRO 3.4. **Metodología de la cromatografía de gases**

Un cromatógrafo de gases contiene básicamente una columna larga (por ejemplo, 30 m) en un horno con control exacto de la temperatura. La columna es un tubo de vidrio torcido en espiral con una capa delgada en su interior, la cual es de una sustancia con propiedades y polaridad características. Un gas portador como el helio fluye a través de la columna a una tasa constante. El extracto (disuelto en 100 µl metanol) se inyecta en la entrada de la columna y después de la evaporación empieza el recorrido a través de la misma.

De acuerdo con el tamaño y la polaridad de los grupos funcionales (estando descargados) de cada alcaloide, algunos de ellos interactúan fuertemente con la capa de la columna y otros lo hacen de manera débil. La temperatura, controlada por una computadora, aumenta de 150 °C a 300 °C a 4 °C por minuto. Dependiendo de la temperatura, cada tipo de alcaloide aparece de manera individual en la salida de la columna.

Un detector de nitrógeno-fósforo por flama de ionización junto con un trazador de curvas proporciona un cromatograma de gases del extracto. Alternativamente, si la espectrometría de masas sigue inmediatamente después, una curva de la totalidad de iones proporciona una representación de la misma separación (véase la figura 3.9).

El tiempo de retención (tiempo de residuo en la columna) es característico para cada alcaloide. Sin embargo, cada pico indica un alcaloide químicamente diferente, y el cromatograma de gases no indica qué alcaloide está representado por cuál pico, por lo que se sigue con espectrometría de masas.

El área debajo de cada pico es proporcional a la cantidad del alcaloide en el extracto. El detector mide las áreas de manera automática. Las cantidades absolutas representadas por los picos se pueden calcular al recorrer de manera separada una cantidad conocida de un alcaloide y medir esta área.

tención (tiempo de aparición, que se proporciona en la parte inferior de la figura 3.9) es característico para cada alcaloide, por lo que cada alcaloide distinto es representado mediante un pico diferente. Sin embargo, el cromatograma de gases no identifica el alcaloide representado por un pico. Una caracterización de cada alcaloide, o de cualquier otra estructura química que sea volátil en temperatura aumentada, mientras sea estable, es posible con espectrometría de masas.

La figura 3.10 representa uno de los 2,200 espectrogramas de masas realizados por el instrumento a partir del extracto. Este espectrograma de masas en su totalidad analiza solamente un pico de la cromatografía de gases en la figura 3.9, y por lo tanto un alcaloide. Un examen de un espectrograma puede determinar si éste corresponde a un compuesto conocido o a uno nuevo. El espectrograma de masas en la figura 3.10 es representativo para el pico número 606 en el cromatograma de gases de la figura 3.9, y corresponde a la esparteína (véase la figura 3.8 para la estructura).

La espectrometría de masas permite la identificación y la caracterización de alcaloides en muy pequeñas cantidades (menos de 1 µg = 10^{-6} g). Para elucidar la estructura completa que se muestra en la figura 3.8, se tienen que aplicar otros métodos en combinación con la espectrometría de masas, como la resonancia magnética nuclear. Ésta necesita un aislamiento de mayores cantidades en cuestión del compuesto (para la resonancia magnética nuclear varios miles de µg). Para dar inicio a pruebas farmacológicas se deberán tener por lo menos 0.5 g de un extracto. Con frecuencia, son necesarios muchos kilogramos del material vegetal para obtener dichas cantidades de un compuesto.

DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE ALCALOIDES

Uno de los objetivos del estudio de *Ormosia* era la examinación de la distribución de alcaloides en el género. Varios patrones de diversidad y distribución que surgieron pueden aplicarse a

CUADRO 3.5. **Metodología de espectrometría de masas**

La caracterización de cada alcaloide es posible con la espectrometría de masas. Cuando salen de la columna del cromatógrafo de gases "pico por pico", inmediatamente entran los alcaloides al espectrómetro de masa. Allá los alcaloides son entonces bombardeados con electrones, para fragmentar los alcaloides en pedazos ionizados de diferente masa.

En seguida, los fragmentos de alcaloides son acelerados por un campo eléctrico dentro de un campo magnético. Este campo magnético ejerce una fuerza sobre los fragmentos para desviarlos de una ruta recta. La resistencia a la desviación depende de la masa de los fragmentos y del tamaño del campo magnético. Únicamente los fragmentos con una masa particular siguen la desviación exacta para llegar al detector de iones. Al aumentar el campo magnético, los fragmentos con masa baja llegan primero al detector y los de masa mayor lo alcanzan en un campo magnético más fuerte.

Todos los tipos de fragmentos se muestran en el espectrograma (figura 3.10). Algunos alcaloides sólo se ionizan sin chocar; ellos se muestran posteriormente como el pico del *ion molecular*. Algunos podrían perder un grupo CH_2; por ejemplo, en la figura 3.10 la diferencia entre los pesos moleculares de 219 a 205 es 14, el conjunto de un peso molecular de 12 para un átomo de carbono y dos pesos moleculares para los dos átomos de hidrógeno. Otros alcaloides estallan en múltiples fragmentos.

El detector automáticamente almacena cada segundo los datos espectrales de las masas, haya o no un pico. Los datos se introducen a la memoria de la computadora. En la pantalla de la misma, se analiza el cromatograma de gases (figura 3.9) pico por pico, y se traza el espectro de masas de los picos relevantes. Un pico en el cromatograma de gases representa un compuesto químico caracterizado por su espectro de masas.

otros compuestos vegetales secundarios incluidos aquellos con potencial medicinal:

1) La diversidad química en estos árboles tropicales es alta y parece aumentar con futuras muestras. Al comparar los patrones alcaloides de 14 muestras de hoja o corteza provenientes de 11 especies de *Ormosia*, encontramos más de 140 diferentes alcaloides quinolizidínicos. Cada muestra adicional agregó alcaloides que no se habían encontrado previamente en el conjunto de datos.
2) Un solo extracto proveniente de un órgano individual de una planta contiene generalmente un número de compuestos distintos pero químicamente relacionados, y es probable que sus concentraciones varíen en gran medida. Entre los 33 alcaloides quinolizidínicos encontrados en un extracto de una sola corteza de *Ormosia macrocalyx*, originaria de la región amazónica de Perú, las cantidades de los alcaloides detectados difieren por varios miles.
3) Si se encuentra una clase de compuestos en una especie vegetal, es probable que se encuentre en todas las partes de la planta, aunque los compuestos específicos puedan diferir entre los órganos (véase Greinwald *et al.*, 1993). En *Ormosia*, encontramos alcaloides quinolizidínicos en todos los órganos vegetales.
4) Los extractos de diferentes muestras de la misma especie taxonómica pueden ser muy diferentes desde el punto de vista químico, con respecto a la composición y concentración de los compuestos. Existen dos explicaciones posibles de esto: *a)* hay diferencias genéticas entre individuos que den por resultado una química distinta de los compuestos secundarios, y *b) no* hay diferencias genéticas relacionadas con los compuestos vegetales secundarios, pero hay diferencias en la expresión genética. Estas últimas pueden ser estáticas, y resultar en diferencias consistentes de las concentraciones. Existe otro fenómeno con implicaciones importantes para los estudios químicos de las

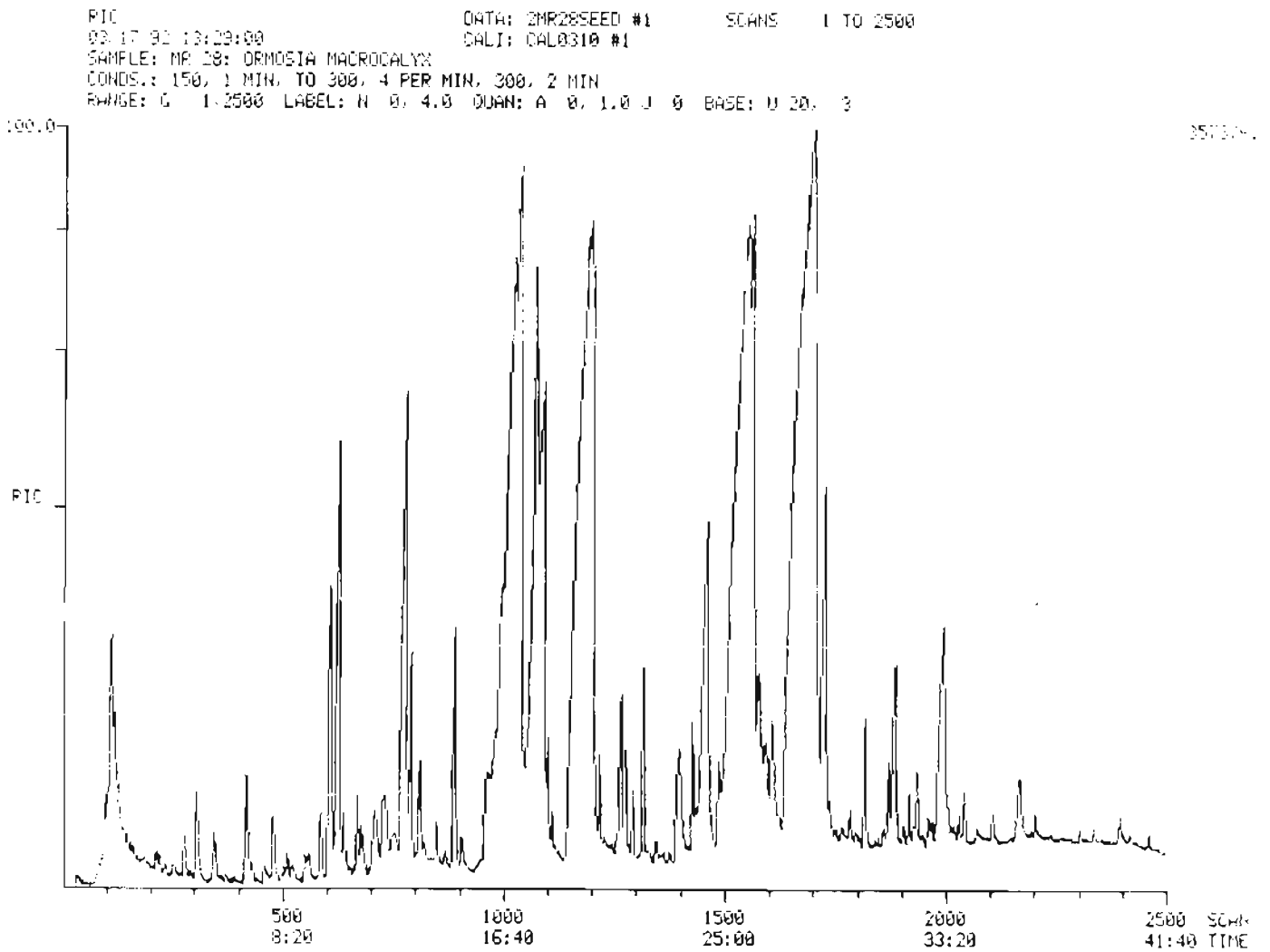


Figura 3.9. Cromatograma de gases de un extracto proveniente de unas semillas de *Ormosia macrocalyx* Ducke de Chiapas, México. Un pico representa un compuesto. La mayor parte de los picos altos representan distintos alcaloides. La línea quebrada de la base contiene picos muy bajos o cantidades pequeñas de mezclas de moléculas de varios picos. Algunos picos corresponden a impurezas, y un pico corresponde al solvente (aquí metanol). El área que está por debajo de cada uno de los picos es proporcional a la cantidad del compuesto representado.

plantas: es posible que se hayan tomado muestras de las plantas en diferentes etapas de un ciclo de expresión química. El tiempo de recolección del material vegetal para análisis químico puede afectar el resultado del mismo, porque las cantidades de compuestos pasan por ciclos diurnos y anuales; es decir, la misma planta tiene una composición de compuestos diferente en distintas épocas (Greinwald *et al.*, 1990; Rosenthal y Janzen, 1979).

5) La quimiotaxonomía, la correlación de la ocurrencia de los compuestos químicos con la taxonomía morfológica, puede ser una herramienta importante de predicción de la fitoquímica (véase Hegnauer, 1962–presente). La taxonomía morfológica predice con éxito la ocurrencia de los alcaloi-

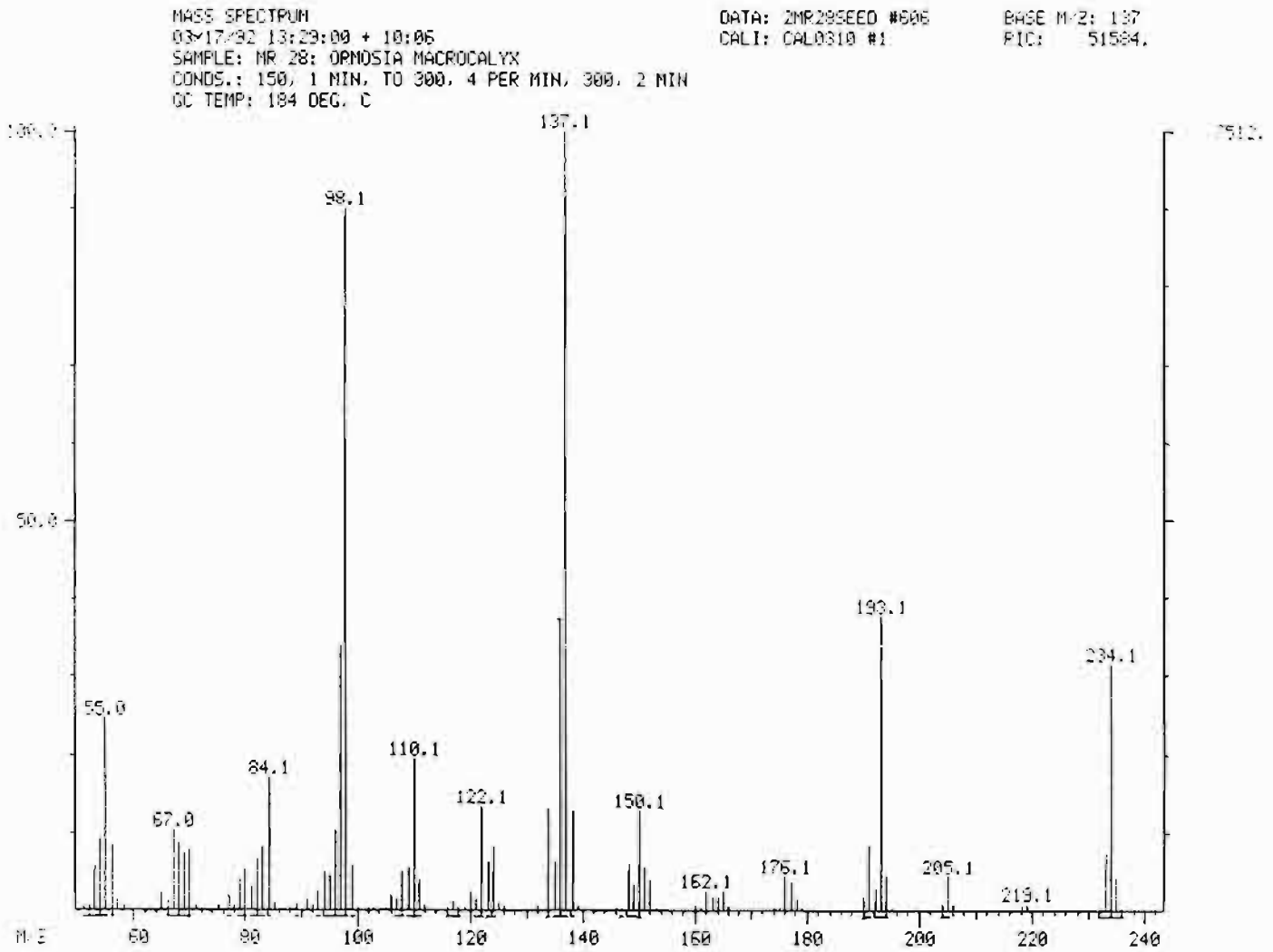


Figura 3.10. Espectro de masas de esparteína. El número 606 identifica el pico correspondiente en el cromatograma de gases en la figura 3.9. La esparteína tiene los típicos fragmentos de masa 234[M]⁺(44), 193(38), 137(100), 110(24), 98(95) (publicado primero por Neuner-Jehle *et al.*, 1964). El primer número indica el peso molecular del fragmento, y el segundo, en paréntesis, indica la intensidad relativa en porcentaje. El término de fragmento de masa 234[M]⁺(44) se refiere al ion molecular que tiene el peso molecular del compuesto original. En este caso el peso molecular es de 234. El fragmento de masa 137 tiene una intensidad relativa de 100 por ciento y se denomina, en consecuencia, *pico base*.

des quinolizidínicos en ocho tribus afines dentro de la familia Leguminosae, los cuales incluyen géneros con diversas formas de crecimiento y hábitats (Polhill, 1981). Hasta la fecha, no se ha encontrado ninguna especie de *Ormosia* sin alcaloides quinolizidínicos. Los alcaloides quinolizidínicos se encuentran en hierbas de la región mediterránea (*Lupinus* L.; tribu Genisteae), así como en géneros leñosos de diferentes hábitats como los bosques neotropicales (*Ormosia, Clathrotropis* Harms; tribu Sophoreae) los bosques paleotropicales (*Haplormosia* Harms; tribu Sophoreae), las sabanas de Sudáfrica (*Virgilia* Poir.; tribu Podalyrieae), las sabanas australianas (*Hovea*

R. Br. ex Ait.; tribu Bossiaeeae), y los bosques templados en Europa (*Laburnum*; tribu Genisteae).

3.5 EJEMPLOS DE PLANTAS MEDICINALES TROPICALES UTILIZADAS EN ALEMANIA

En algunas regiones de clima templado, especialmente en Europa, se utiliza una serie de plantas tropicales para propósitos médicos. Alemania es notable por su importación y empleo de plantas tropicales para diversos usos medicinales, que van desde tés hasta compuestos puros (véase la última sección del apartado 3.2).

Cada año en Alemania, la Asociación Federal de la Industria Farmacéutica *(Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie)* publica la "lista roja" (*Rote Liste*; véase BPI, 1994), la cual es una compilación de fármacos terminados, es decir, de medicamentos empacados con marca registrada. Los medicamentos enlistados representan aproximadamente el 95 por ciento del valor de los medicamentos alemanes que se producen. En 1994, la *Rote Liste* enlistó 8,082 fármacos terminados con aproximadamente 2,900 compuestos activos, vendidos por 400 compañías farmacéuticas. De esos 8,082 fármacos terminados, 490 (6.1 por ciento) contenían uno o más compuestos activos obtenidos de plantas (datos de BPI, 1994).

A continuación, se presenta una lista abreviada de plantas medicinales tropicales o subtropicales que se utilizan en Alemania. Éstas incluyen preparaciones medicinales que pueden o no requerir de receta para su obtención, y que pueden administrarse como tés, fármacos terminados u otras formas. La lista ejemplifica tres principios:

1) A pesar de los aspectos tradicionales y el folklore que rodean a las plantas medicinales, existen muchas plantas tropicales que tienen realmente valor terapéutico probado mediante métodos científicos.
2) Los compuestos químicos encontrados en el reino vegetal tienen una notable diversidad de efectos farmacológicos y terapéuticos.
3) Como se enfatizó al final del apartado 3.2, un sistema moderno de cuidado para la salud puede adoptar y adaptar fitoterapias, muchas de ellas derivadas de la medicina tradicional, e integrarlas a la medicina científica.

La información para la lista se recopiló de BPI (1994), Steinegger y Hänsel (1992), Auterhoff *et al.* (1991), Wichtl (1989), Forth *et al.* (1988), Tyler *et al.* (1988), Wagner (1988), Teuscher y Lindequist (1987), Trease y Evans (1986; edición en español), Goodman *et al.* (1985), y Lewis (1977). Se utilizó a Mabberley (1989) para verificar los nombres bótanicos. Se consultó a Buckingham (1982) para información química y a Hensyl (1990) para términos médicos.

Wichtl (1989) proporciona un buen tratado sobre tés medicinales. Esta referencia contiene información sobre 181 drogas crudas e incluye la forma de preparar tés medicinales, su descripción botánica, datos químicos, método de control de calidad (como la identificación del material vegetal bruto por cromatografía de lámina delgada) y sus usos terapéuticos. Éste y otros libros pueden —y deberían— servir en países tropicales como modelos para elaborar referencias similares en sistemas regionales de cuidado para la salud.

Los siguientes incisos están organizados por familia vegetal. Cada uno de ellos proporciona el nombre científico y el autor de la especie, nombre común español (si está disponible), forma de crecimiento, hábitat y distribución geográfica. En casos donde únicamente

CUADRO 3.6. **Grupos importantes de compuestos vegetales secundarios**

ALCALOIDES

Los alcaloides se definen vagamente como moléculas orgánicas heterocíclicas que contienen por lo menos un átomo de nitrógeno; en consecuencia en su mayoría son alcalinos. Se conocen más de 7,000 alcaloides

ACEITES VOLÁTILES[1]

Los aceites volátiles son mezclas aromáticas de compuestos que se evaporan rápidamente. Químicamente, están conformados en su mayoría por compuestos isoprenoides (teniendo un esqueleto de uno a varios anillos hexacíclicos de carbono que se derivan del isopreno: $H_2C=C(CH_3)-CH=CH_2$) pero también de fenilpropanoides. Se conocen más de 5,000 compuestos diferentes de esta clase.

GLUCÓSIDOS CARDIACOS

Los glucósidos cardiacos tienen un esqueleto característico del tipo esteroide (véanse las figuras 3.1 y 3.13) ligado con una o varias moléculas de azúcar (la combinación se denomina glucósido). Producen siempre el mismo tipo de efecto sobre el músculo cardiaco, al fortalecer la capacidad de contracción y al reducir el ritmo cardiaco, aunque la absorción y la resorción varían de acuerdo con la polaridad de la molécula. Se conocen más de 100 diferentes aglicones (la parte sin azúcar).

FLAVONOIDES

Los flavonoides contienen un esqueleto característico de 15 átomos de carbono (véase la parte superior derecha en silibina, figura 3.14). Gran cantidad de flavonoides son amarillos, de ahí su nombre: (*flavus* = amarillo). Desde el punto de vista quimiotaxonómico los flavonoides son los más ampliamente difundidos de todos los compuestos vegetales secundarios, y están presentes en su mayoría en las partes aéreas de las plantas. Se han aislado más de 300 flavonoide diferentes.

Otras clases de compuestos incluyen las saponinas, las cumarinas, las antraquinonas y los agentes para curtimiento.

[1] Aceites volátiles = aceites etéricos = aceites esenciales.

está aprobado un compuesto vegetal aislado, este nombre es dado en seguida, en lugar del nombre de la droga cruda. Sin embargo, en la mayoría de los ejemplos, las drogas crudas se aprueban y se les otorga el nombre tradicional latinizado, que indica la especie y el órgano vegetal. Añadir "DAB10" a una droga cruda o a un compuesto individual indica que la farmacopea alemana (DAB10, 1991) incluye una monografía farmacéutica al respecto (véase la última sección del apartado 3.2); el nombre del medicamento dado en el DAB en alemán está entre comillas. Después del nombre de la droga cruda, se enlistan algunos compuestos principales conocidos que se encuentran en dicha planta. Las principales clases de estos compuestos secundarios se explican brevemente en el cuadro 3.6. Tras la descripción del compuesto se presentan sus principales usos, y finalmente, en caso de que en Alemania se vendan fármacos terminados de la planta en cuestión se incluye una selección de ejemplos.

Todos los ejemplos de fármacos terminados son de la *Rote Liste* (BPI, 1994) y por lo tanto, representan solamente marcas alemanas. El mismo compuesto activo se puede vender bajo diferente nombre comercial por otra empresa alemana o de cualquier otro país. En muchos de los ejemplos de fármacos terminados existen más marcas comerciales de otros fabricantes farmacéuticos. El símbolo ® significa que el nombre es una marca registrada. Junto con el nombre de un fármaco terminado se proporciona también el domicilio de la compa-

ñía, como dado en BPI (1994). El mismo medicamento puede llegar a venderlo la misma compañía en otro país, bajo un nombre diferente.

La lista contiene muchos, pero no la totalidad de medicamentos que se derivan de plantas tropicales utilizadas en Alemania. La distribución de las especies podría no ser completa, ya que continuamente se introducen plantas útiles en nuevas áreas. Los compuestos enlistados de cada planta son los que se conocen principalmente, pero ciertamente no abarcan todos los compuestos secundarios que existen en la planta.

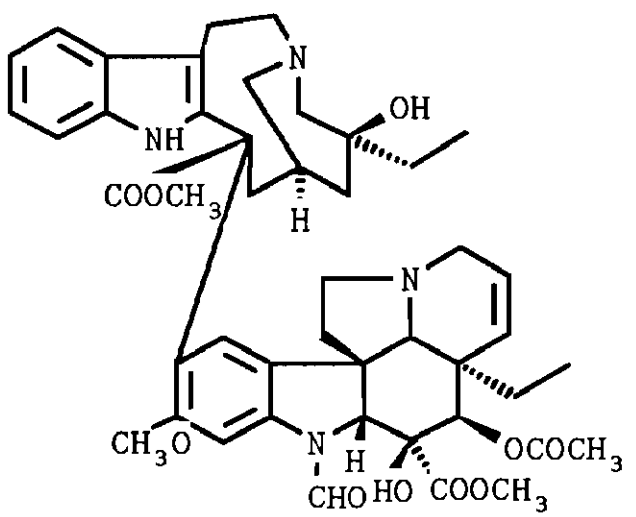


Figura 3.11. Vincristina.

APOCYNACEAE

1) *Catharanthus roseus* (L.) G. Don f. NOMBRE COMÚN: "teresita". FORMA DE CRECIMIENTO: hierba o pequeño arbusto. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: originalmente de Madagascar, en la actualidad también cultivado en India, Australia, Sudáfrica y América Latina; se siembra a nivel ornamental en Europa y Estados Unidos. COMPUESTOS: únicamente se comercializan los alcaloides vinblastina y vincristina (figura 3.11) como sulfatos en forma pura; el extracto contiene más de 60 alcaloides, y para obtener 1 g de vincristina se requieren alrededor de 500 kg de hojas y raíces del arbusto; DAB10: "Vinblastinsulfat" y "Vincristinsulfat". Uso: la vinblastina y la vincristina inhiben la mitosis celular; la vinblastina se utiliza contra la enfermedad de Hodgkin y contra varios tipos de neoplasia; la vincristina, contra la leucemia en niños, y la vindesina semisintética, contra la leucemia linfocítica aguda. FÁRMACOS: la vincristina en Vincristin®, la vinblastina en Velbe®, y la vindesina semisintética en Eldisine® (todos de Lilly Deutschland GmbH, Saalburgstraße 153, 61343 Bad Homburg, Alemania); la vincristina también en Vincristin Bristol® (BRISTOL ARZNEIMITTEL GmbH, Volkartstr. 83, 80636 Munich, Alemania) y en Vincristinbiosyn® (biosyn Arzneimittel GmbH, Schorndorfer Str. 32, 70734 Fellbach, Alemania).

2) *Rauwolfia serpentina* (L.) Bentham ex Kurz [A], *R. vomitoria* Afzel. [B], *R. tetraphylla* L. [C], *R. heterophylla* Roem. et Schult. [D], y *R. hirsuta* Jacq. [E]. NOMBRE COMÚN:

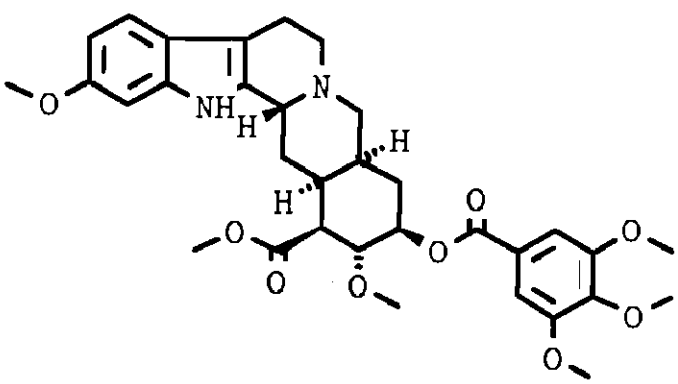


Figura 3.12. Reserpina.

"serpentaria". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: bosques tropicales. DISTRIBUCIÓN: [A] en India y sureste de Asia; [B] en África tropical; [C-E] en América tropical. DROGA CRUDA: *Rauwolfiae radix*, partes de la raíz; DAB10: "Rauwolfiawurzel". COMPUESTOS: más de 50 alcaloides indólicos, incluyendo reserpina (figura 3.12), rescinamina, serpentina, ajmalina, y raubasina. USO: la reserpina es un sedante que disminuye la presión sanguínea. Se administra a pacientes psiquiátricos para disminuir el temor y la tensión, y se aplica en casos de esquizofrenia crónica. La serpentina reduce la presión sanguínea y se utiliza con frecuencia junto con la reserpina. La ajmalina se usa contra la angina de pecho (dolor en el pecho debido a una circulación de la sangre obstruida en el músculo cardiaco) y contra las arritmias cardiacas. La raubasina, presuntamente aumenta la circulación de la sangre por el cerebro. Se utilizan extractos completos contra la elevada presión sanguínea (hipertonia) y también como sedante. FÁRMACOS: el extracto completo por ejemplo en Rauwoplant® N (doctor Willmar Schwabe GmbH & Co., Willmar-Schwabe-Straße 4, 76227 Karlsruhe, Alemania) y en Arte Rautin®forte (Maurer-Pharma GmbH, Ursulinenstraße 55, 66111 Saarbrücken, Alemania); la ajmalina en Gilurytmal® (Giulini Pharma GmbH, Hans-Böckler-Allee 20, 30173 Hannover, Alemania).

3) *Strophanthus gratus* (Hook.) Baillon [A], y *S. kombe* Oliver [B]. FORMA DE CRECIMIENTO: liana. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: [A] en África occidental tropical; [B] en el sureste de África tropical. DROGA CRUDA: *Strophanti semen*, las semillas de la liana. COMPUESTOS: glucósidos cardiacos; en [A] una mezcla de glucósidos que consiste en su mayor parte de g-estrofantina (figura 3.13); en [B] una mezcla denominada k-estrofantina (incluyendo cimarina). Uso: las plantas se utilizaron originalmente para elaborar veneno para flechas; en la medicina, la g- y k-estrofantina y la cimarina se administran en caso de insuficiencia cardiaca aguda y coronaria, bradicardia (ritmo cardiaco promedio por debajo de 60 pulsaciones por minuto), y en caso de sensibilidad a los glucósidos de *Digitalis*; se administra g-estrofantina también ante el peligro de infarto cardiaca. La estrofantina se absorbe pobremente y se excreta con rapidez cuando se administra de manera oral a causa de su polaridad, por lo que usualmente se aplica mediante tratamiento intravenoso. FÁRMACOS: por ejemplo, gestrofantina en Strodival® (Herbert Pharma GmbH, Am Wolfsfeld 17, 65191 Wiesbaden-Bierstadt, Alemania) y k-estrofantina en Kombetin® (Boehringer Mannheim GmbH, Sandhofer Straße 116, 68305 Mannheim, Alemania).

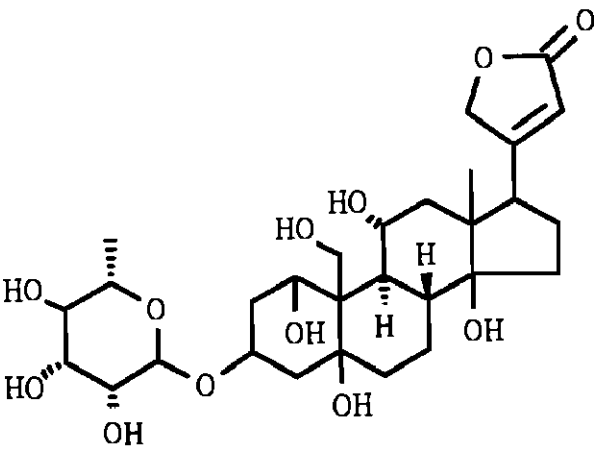


Figura 3.13. g-Estrofantina.

4) *Thevetia peruviana* (Pers.) Schumann. NOMBRE COMÚN: "cododefraile". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: América tropical. DROGA CRUDA:

Thevetiae semen, las semillas. COMPUESTOS: el glucósido cardiaco peruvósido. USO: se ha utilizado en el caso de insuficiencia cardiaca y bradicardia (ritmo cardiaco promedio por debajo de 60 pulsaciones por minuto).

ASCLEPIADACEAE

5) *Marsdenia cundurango* Reichenb. f. FORMA DE CRECIMIENTO: enredadera. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: proviene originalmente de los Andes de Ecuador, Perú y Colombia; en la actualidad también se cultiva en el este de África. DROGA CRUDA: *Condurango cortex*, la corteza de la liana. COMPUESTOS: glucósidos amargos. USO: como té o extracto para estimular el apetito y la digestión (amarum).
6) *Xysmalobium undulatum* (L.) R. Br. FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa. HÁBITAT: pastoreo y sabana tropical. DISTRIBUCIÓN: Sudáfrica DROGA CRUDA: *Uzarae radix*, piezas de raíz. COMPUESTOS: el glucósido cardiaco uzarigenina y otros. USO: el efecto sobre el corazón de los glucósidos de uzara es únicamente 1/100 en comparación con la estrofantina, pero tiene efectos espasmolíticos sobre el intestino y el útero; así se utiliza contra la diarrea. FÁRMACOS: por ejemplo, Uzara® (STADA Arzneimittel AG, Stadastraße 2-18, 61118 Bad Vilbel, Alemania).

COMPOSITAE (= ASTERACEAE)

7) *Silybum marianum* (L.) Gaertner. FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa. HÁBITAT: lugares abiertos. DISTRIBUCIÓN: sureste de Europa, norte de África, partes de Asia, oeste de América del Norte, los Andes de Sudamérica. DROGA CRUDA: *Silybi mariae fructus*, los frutos; DAB10: "Mariendistelfrüchte". COMPUESTOS: una mezcla de flavonolignanos denominada silimarina, que incluye la silibina (figura 3.14). USO: la silimarina tiene efectos profilácticos y curativos sobre el hígado. La silibina antagoniza los efectos de compuestos hepatotóxicos como tetracloroalcanos y etanol, así como también la α–amanitina y otros compuestos fatales del hongo *Amanita phalloides* (Bull.) Fr., u otras especies venenosas, que en ocasiones la gente las come por equivocación. La silimarina se utiliza para aliviar diversas enfermedades del hígado. Los efectos notables todavía no son explicables. FÁRMACOS: por ejemplo, Legalon® (MADAUS AG, Ostmerheimer Straße 198, 51109, Colonia, Alemania) y Durasilymarin® (durachemie GmbH & Co. KG, Pfaffenrieder Straße 7, 82515 Wolfratshausen, Alemania).

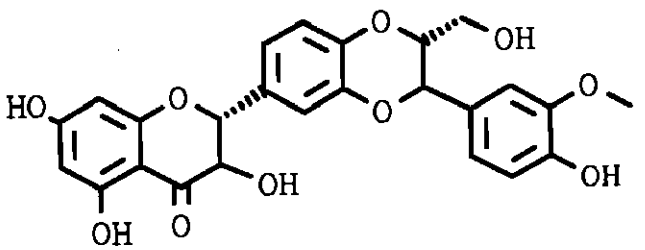


Figura 3.14. Silibina.

DIOSCOREACEAE

8) *Dioscorea composita* Hemsl. [A], *D. spiculiflora* Hemsl. [B], *D. floribunda* M. Martens & Galeotti [C], *D. deltoidea* Wall. [D]. NOMBRE COMÚN: "barbasco". FORMA DE CRECIMIENTO: enredadera. HÁBITAT: bosque tropical seco. DISTRIBUCIÓN: [A] a [C] en México; [D] en India. COMPUESTOS: las sapogeninas

esteroidales del rizoma, como la diosgenina (figura 3.15), se procesan químicamente en las hormonas esteroidales progesterona y glucocorticoides, como la cortisona (figura 3.15); la diosgenina es el compuesto precursor más importante para la producción de hormonas esteroidales. Los compuestos de otras plantas también se pueden utilizar como precursores, por ejemplo la esmilagenina de *Smilax regelii* Killip & Morton (Smilacaceae) y *Agave lecheguilla* Torrey (Amaryllidaceae), así como la solasodina y tomatidina de *Solanum marginatum* L. f. y *S. nigrum* L. (Solanaceae). Por otro lado, la hormona esteroidal estradiol y sus derivados, utilizados en anticonceptivos, son en la actualidad sintetizados del colesterol de animales, y de aceites vegetales. Uso: la progesterona es una hormona sexual humana y sus derivados químicos (acetato noretinrona, norgestrel, levonorgestrel, diacetato de etinodiol) tienen efectos similares a los de las hormonas. Las hormonas tienen múltiples efectos en el cuerpo, incluyendo el control del crecimiento y de la fertilidad. El glucocorticoide cortisona y sus derivados se utilizan contra inflamaciones (antiflogístico), alergias, reumatismo y para prevenir reacciones inmunes en casos especiales. FÁRMACOS: por ejemplo, el norgestrel, que es derivado de la progesterona, en combinación con etinilestradiol se utiliza como anticonceptivo en Eugynon® (Schering Aktiengesellschaft, Müllerstraße 178, 13353 Berlín, Alemania); la progesterona se encuentra en Progestogel® (Dr. Kade Pharmazeutische Fabrik GmbH, Rigistraße 2, 12277 Berlín, Alemania) y la cortisona en Cortison CIBA® (Ciba-Geigy GmbH, Abt. Ciba Cancer Care, Öflinger Straße 44, 79662 Wehr, Alemania) y Ficortril® (PFIZER GmbH - Karlsruhe, Pfizerstraße 1, 76139 Karlsruhe, Alemania).

EPHEDRACEAE [GYMNOSPERMAE]

9) *Ephedra distachya* L. NOMBRE COMÚN: "efedra". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: regiones áridas. DISTRIBUCIÓN: sur de Europa, India, cultivado también en China. DROGA CRUDA: *Ephedrae herba*, las ramas

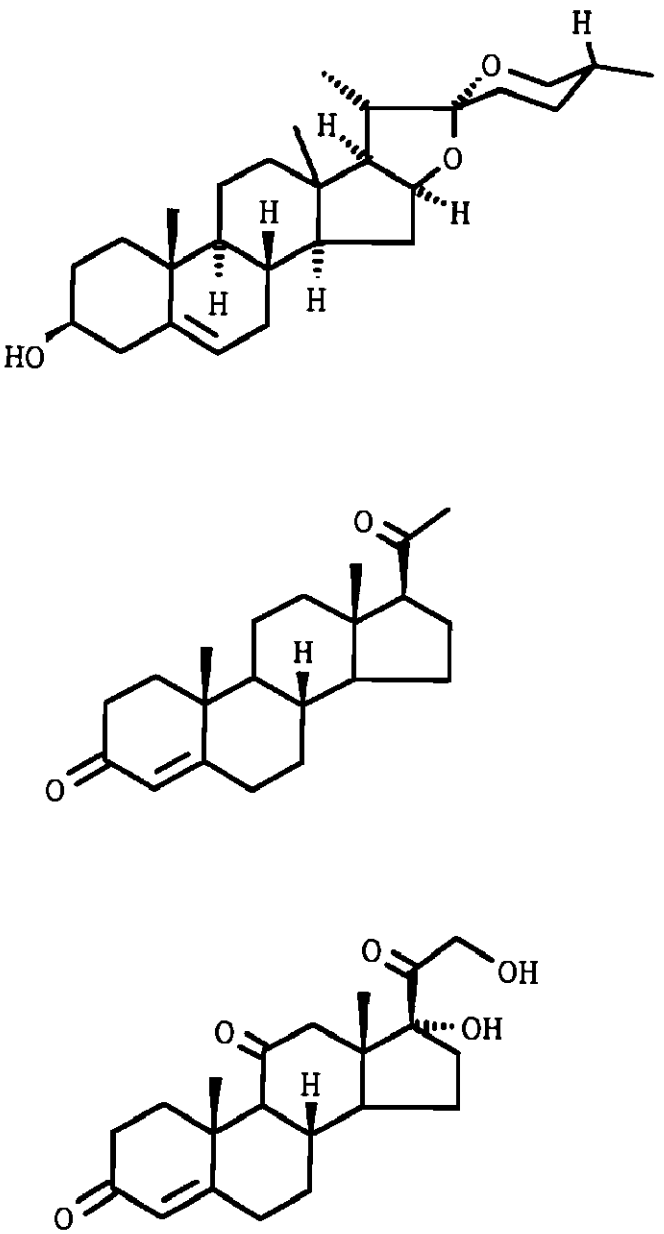


Figura 3.15. Diosgenina (arriba), progesterona (en medio) y cortisona (abajo). La progesterona y la cortisona se pueden derivar a partir de la diosgenina.

del arbusto pequeño; el importante compuesto efedrina se sintetiza en la actualidad, en lugar de extraerlo de la planta; DAB10: "Ephedrakraut", "Ephedrin". COMPUESTOS: los alcaloides L-efedrina (figura 3.16) y pseudoefedrina. USO Y FÁRMACOS: *Ephedra* ha sido utilizada en China por más de 4,000 años para la tos. La efedrina es un vasoconstrictor y broncodilatador. Es asimismo un estimulante que aumenta la presión sanguínea (tiene efectos simpatomiméticos causados por la similitud estructural con el transmisor adrenalina). Se utiliza contra la influenza (por ejemplo, Vibrocil® de Zyma GmbH, Zielstattstraße 40, 81379 Munich, Alemania), fiebre de heno, asma bronquial (por ejemplo, Ephepect® de Bolder Arznei-mittel GmbH, Koblenzer Straße 65, 50968 Colonia, Alemania), presión sanguínea muy baja (por ejemplo, Hypotonin® de Steiger-wald Arzneimittelwerk GmbH, Havelstraße 5, 64295 Darmstadt, Alemania), para disminuir el apetito (por ejemplo, Mirapront® de Heinrich Mack Nachf., Chem.-pharm. Fabrik, Heinrich-Mack-Straße 35, 89257 Illertissen, Alemania), y contra la fatiga (por ejemplo, Antiföhnon® de Südmedica Gmbh, Chemisch-pharmazeutische Fabrik, Ehrwalder Straße 21, 81377 Munich, Alemania).

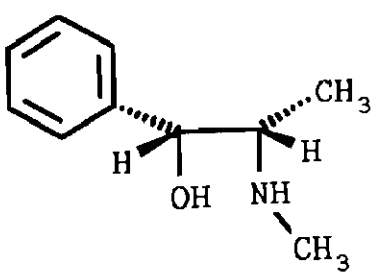


Figura 3.16. L-Efedrina.

ERYTHROXYLACEAE

10) *Erythroxylum coca* Lam. [A] y *E. novogranatense* (Morris) Hieronymus [B]. NOMBRE COMÚN: [A] "coca de Bolivia"; [B] "coca de Colombia". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: bosque tropical (sub)montano. DISTRIBUCIÓN: Andes de Sudamérica. DROGA CRUDA: *Cocae folium*, las hojas del arbusto; DAB10: "Cocainhydrochlorid". COMPUESTOS: los alcaloides (-) cocaína (figura 3.17) y cuscohigrina. USO Y FÁRMACOS: la cocaína tiene valor terapéutico como anestésico local. También es un estimulante; puede conducir a la dependencia (por lo menos psicológicamente) y es generalmente ilegal (las importaciones ilegales hacia Estados Unidos en 1980 se estimaron en aproximadamente 44,000 toneladas). Algunos indígenas de los Andes y del Amazonas mastican las hojas con greda ($CaCO_3$), lo que cambia químicamente la mayor parte de la cocaína en la ecgonina, por lo que no es adictiva pero sí eficaz. La cocaína en sí no se utiliza en la medicina. Su importancia para la medicina radica en que sirvió como compuesto modelo para sintetizar casi todos los anestésicos locales modernos, por ejemplo, la procaína (en Novocain® de Hoechst Aktiengesellschaft, Brüningstraße 50, 65926 Frankfurt/Main, Alemania) o la lidocaína (en Lidocain Rödler® de Woelm Pharma GmbH & Co., Max-Woelm-Straße 4, 37269 Eschwege, Alemania).

EUPHORBIACEAE

11) *Ricinus communis* L. NOMBRE COMÚN: "ricino" y "higuerilla". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto o árbol. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: originaria de India; cultivado en el sureste de Asia y en Brasil. DROGA CRUDA: *Ricini oleum*, el acei-

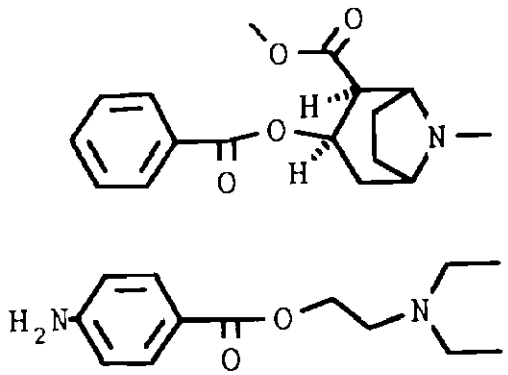


Figura 3.17. Cocaína (arriba) y procaína, la cual es sintética (abajo).

te de las semillas; DAB10: "Rizinusöl". COMPUESTOS: el aceite volátil se compone de glicéridos de ácido ricinoleico, ácido isoricinoleico, ácido esteárico y ácido dihidroxiesteárico; además, las semillas contienen la altamente tóxica proteína ricina y el alcaloide ricinina, los cuales se excluyen del aceite farmacéutico. Uso: el aceite puro se emplea como laxante por su ácido ricinoleico; además se utiliza en cosméticos y como lubricante par motores.

FLACOURTIACEAE

12) *Hydnocarpus kurzii* (King) Warb. NOMBRE COMÚN: "chaulmogra". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol alto. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: región Indomalaya (India, Birmania, Tailandia, Filipinas). DROGA CRUDA: *Hydnocarpi oleum*, el aceite de las semillas. COMPUESTOS: ácido chaulmógrico, ácido hidnocárpico y otros ácidos. Uso: el aceite o los ácidos aislados se han utilizado contra la lepra y la tuberculosis.

KRAMERIACEAE

13) *Krameria lappacea* (Dombey) Burdet & Simpson [sinónimo: *K. triandra* Ruiz & Pavón]. FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: vegetación en regiones áridas y rocosas. DISTRIBUCIÓN: Andes de Perú, Bolivia, Ecuador y Chile. DROGA CRUDA: *Ratanhiae radix*; pedazos de la raíz; DAB10: "Ratanhiawurzel". COMPUESTOS: ácido krameritánico. Uso: en ocasiones se utiliza a nivel interno en caso de diarrea y gastritis; se emplea externamente en caso de inflamación de las encías (gingivitis) y de las membranas de la mucosa de la boca (estomatitis), enfermedad periodontal y dolor de la garganta. FÁRMACOS: por ejemplo, Echtrosept® (Weber & Weber GmbH, Herrschinger Straße 33, 82266 Inning/ Ammersee, Alemania).

LABIATAE (= LAMIACEAE)

14) *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa o arbusto. HÁBITAT: lugares abiertos. DISTRIBUCIÓN: India, a través de Malaya hasta Australia tropical. DROGA CRUDA: *Orthosiphonis folium*, las hojas de la planta. COMPUESTOS: aceite volátil, saponinas, flavonas y ácidos orgánicos; DAB10: "Orthosiphonblätter". Uso: en forma de té como diurético en el caso de inflamaciones leves de la vejiga y/o de los riñones. FÁRMACOS: por ejemplo, Salus® Nieren-Blasen-Tee (Salus-Haus Dr. med. Otto Greither, Bahnhofstraße 24, 83052 Bruckmühl/ Mangfall-Obb., Alemania).

LAURACEAE

15) *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl [A] y *Cinnamomum verum* J. Presl [B; sinónimo: *C. zeylanicum* Nees]. NOMBRE COMÚN: [A] "alcanfor"; [B] "canela". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: [A] en el sureste de Asia, cultivado también en África Oriental, Marruecos, Sri Lanka, California (Estados Unidos) y México; [B] en Sri Lanka y el suroeste de India, cultivado también en Sumatra, Java, Indias Occidentales y Sudamérica. DROGA CRUDA: de [A] alcanfor, (figura 3.18) un polvo blanco de olor y sabor picante; el aceite, que contiene el alcanfor, se encuentra en las células de aceite de todas las partes leñosas del árbol; DAB10: "Campher", "Campher, Racemischer", "Campher-spiritus"; de [B] *Cinnamomi cortex* y *Cinnamomi aetheroleum*, la corteza del árbol, y el aceite de la corteza; DAB10: "Zimtrinde". COMPUESTOS: en [A] alcanfor (figura 3.18); en [B] más de 65 por ciento de aldehído cinámico; también eugenol, benzaldehído, linalol, α- y β-cariofileno, felandreno y α-pineno. USO: en [A] el alcanfor tiene un efecto antiséptico; se utiliza para lavados bucales y de la piel, así como en pomadas contra el reumatismo y neuralgias (dolor agudo de algún nervio); las inhalaciones se recomiendan para aliviar el catarro y la deficiencia respiratoria; [B] hoy día sirve principalmente como condimiento para cocinar. FÁRMACOS: el alcanfor se industrializa para varios tipos de dolor como Camphopin® (Schöning, Berlin Pharmazeutische Präparate, Porschestraße 22-24, 12107 Berlín, Alemania) y contra el reumatismo de los músculos como Trauma Salbe Rödler 303 N (Woelm Pharma GmbH & Co., Max-Woelm-Straße 4, 37269 Eschwege, Alemania).

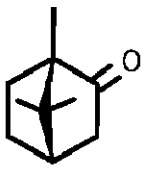


Figura 3.18. (+)-Alcanfor.

LEGUMINOSAE - CAESALPINIOIDEAE (= CAESALPINIACEAE)

16) *Senna alexandrina* P. Miller [sinónimos: *Cassia angustifolia* Vahl y *C. senna* L.]. NOMBRE COMÚN: "sen" y "sen de Alejandría". FORMA DE CRECIMIENTO: hierba con tallo subterráneo leñoso. HÁBITAT: pastizales. DISTRIBUCIÓN: África del Norte a través del Cercano Oriente hasta India; naturalizada en Española y el sur de México; cultivada en otras partes de América tropical. DROGA CRUDA: *Sennae folium* y *Sennae fructus*, las hojitas y los frutos; DAB10: "Sennesblätter", "Sennesfrüchte, Alexandriner", y "Sennesfrüchte, Tinnevelly". COMPUESTOS: las antraquinonas senosidas A, -B, -C, -D, -E, -F (figura 3.19). USO: las antraquinonas son fuertes laxantes y se pueden usar como té o extracto. FÁRMACOS: por ejemplo, Pursennid® (Sandoz AG, Deutschherrnstraße 15, 90429 Nürnberg, Alemania).

LEGUMINOSAE-PAPILIONOIDEAE (= PAPILIONACEAE)

17) *Myroxylon balsamum* (L.) Harms variedad *pereirae* (Royle) Harms [A] y variedad *balsamum* [B]. NOMBRE COMÚN: [A] "bálsamo de Perú"; [B] "bálsamo de tolú". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: [A] desde México hasta Brasil y Argentina; [B] en Colombia y Venezuela. DROGA CRUDA: de [A]

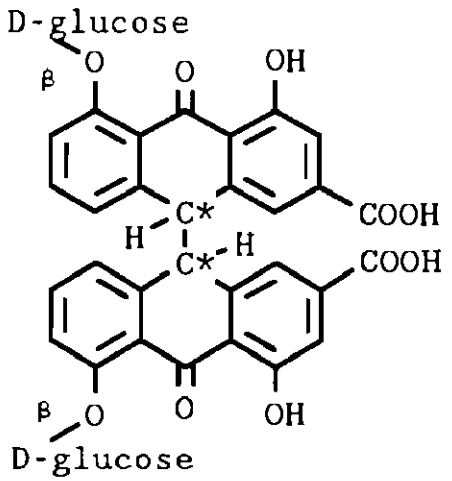


Figura 3.19. Senosida A a D (dependiendo de la estereoquímica en los dos C*).

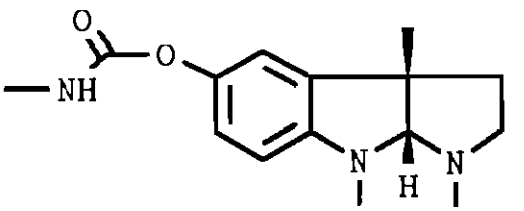


Figura 3.20. Fisostigmina.

Balsamum peruvianum; DAB10: "Perubalsam"; de [B] *Balsamum tolutanum*, la resina proveniente de heridas de los grandes árboles. COMPUESTOS: en [A] cinamato de bencilo, así como otros ésteres de ácido cinámico y ácido benzoico; en [B] alcoholes resínicos combinados con ácidos cinámicos y ácidos benzoicos. Uso: [A] para pomadas y soluciones de alcohol, aplicadas sobre heridas para estimular la cicatrización; el bálsamo tiene efecto antiséptico; además se le emplea contra la sarna; [B] se utiliza contra la tos, pero también para elaborar chicle y cosméticos (por su fragancia).

18) *Physostigma venenosum* Balf. NOMBRE COMÚN: "haba de Calabar". FORMA DE CRECIMIENTO: liana. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: África del Oeste. DROGA CRUDA: *Calabar semen*, las semillas de la liana de las cuales se obtiene el compuesto fisostigmina salicilato; DAB10: "Physostigminsalicylat" y "Physostigminsulfat". COMPUESTOS: los alcaloides indólicos fisostigmina (figura 3.20), eserina y geneserina. Uso: las semillas se utilizaron originalmente en África como veneno ordalía, es decir, un veneno para buscar el juicio de Dios: una persona acusada envenenada que moría se consideraba culpable. La fisostigmina inhibe la enzima colinesterasa aumentando así la concentración de la transmisora nerviosa acetilcolina (así representando un parasimpatomimético indirecto). Se utiliza el compuesto en gotas para los ojos para el tratamiento del glaucoma (hipertensión en el globo ocular, que puede conducir a la ceguera). FÁRMACOS: por ejemplo, una combinación de fisostigmina y pilocarpina (véase #34) en Isopto®-Pilomin (Alcon Pharma GmbH, Blankreutestraße 1, 79005 Freiburg, Alemania).

19) *Sophora japonica* L. NOMBRE COMÚN: "sófora". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: esta especie crece en bosque templado, pero otras especies de *Sophora* en bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: China, Japón. DROGA CRUDA: *Sophorae flos (gemma)*, los botones de flores sin abrir. COMPUESTOS: rutina (figura 3.21), glúcosidos de flavonol e isoflavonol. Uso: el árbol es la principal fuente de rutina, la cual detiene el flujo de sangre (antihemorrágica), previene el endurecimiento de los vasos (antiesclerótica),

y combate las inflamaciones (antiflogística), así como el edema. FÁRMACOS: por ejemplo, Styptobion® (E. Merck, Frankfurter Straße 250, 64271 Darmstadt, Alemania) y Ruticalzon® (SmithKline Beecham Pharma GmbH, Leopoldstraße 175, 80804 Munich, Alemania).

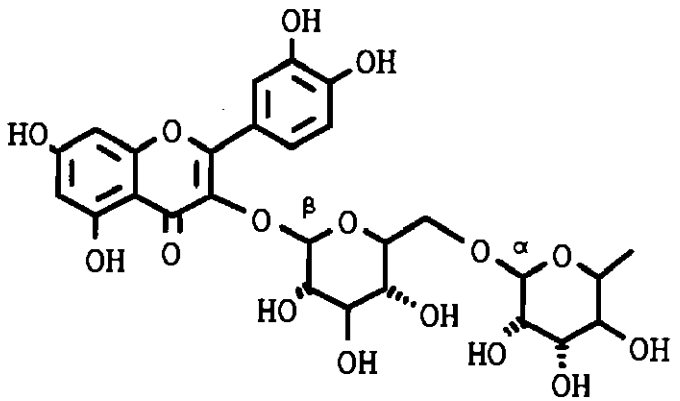


Figura 3.21. Rutina.

LOGANIACEAE

20) *Strychnos toxifera* Schomburgk ex Benth. [A], *S. castelnaeana* Wedd. [B], *S. nuxvomica* L. [C] y *S. ignatii* Bergius [D]. NOMBRE COMÚN: [C] "nuez vómica". FORMA DE CRECIMIENTO: lianas o árboles. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: [A] y [B] en la región amazónica; [C] en India, Sri Lanka, Malasia y norte de Australia; [D] en las Filipinas; también se cultiva en China e India. DROGA CRUDA: de [A] y [B] únicamente en forma pura el alcaloide C-toxiferina I (compuesto activo en un tipo de curare; véase también #21); [C] *Strychni semen*, las semillas; [D] *Ignatii semen*, las semillas. COMPUESTOS: en [A] y [B] C-toxiferina I (figura 3.22), y más de otros 40 alcaloides; en [C] estricnina, brucina, α- y β-colubrina; en [D] estricnina y brucina. Uso: [A] y [B] se utilizaron originalmente para elaborar el veneno de flechas. La C-toxiferina I bloquea el receptor neuromuscular para la acetilcolina, y por lo tanto paraliza el músculo. Hoy en día, el derivado semisintético alcuronio se emplea en cirugía para inmovilizar al paciente, porque su efecto es mucho más corto en tiempo que el de la C-toxiferina I. En [C] y [D] la estricnina y la brucina son de interés: la estricnina paraliza las sinapsis inhibidoras de la médula espinal; se utilizó para estimular la respiración y el metabolismo, y ahora se emplea en urología (véase fármacos). La brucina es un compuesto utilizado como estándar de lo amargo. FÁRMACOS: por ejemplo, el alcuronio, que se deriva de la toxiferina, en Alloferin® (Hoffmann La Roche AG, Emil-Barell-Straße 1, 79639 Grenzach-Wyhlen, Alemania); de la C-toxiferina I y la tubocurarina (véase #21) se pensó (no siempre de manera correcta) que tenían efecto a causa de los dos cuaternarios N-átomos con una distancia de 1.4 nanómetros; se sintetizaron otros bloqueadores neuromusculares con esa propiedad estructural, por ejemplo, el pancuronio en Pancuronium "Organon"® (Organon Teknika Medizinische Produkte GmbH, Wernher-von-Braun-Str. 18, 69214 Eppelheim, Alemania); estricnina, junto con atropina y efedrina, se encuentra en Dysurgal® (Galenika Dr. Hetterich GmbH,

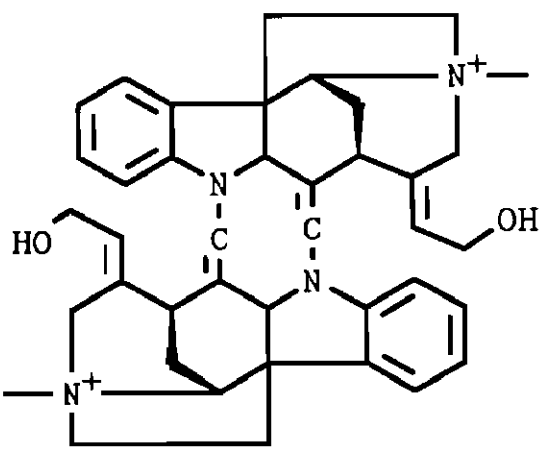


Figura 3.22. C-Toxiferina I.

Gebhardtstraße 5, 90762 Fürth/Bayern, Alemania) contra la disuria (ardor al orinar), incontinencia (salida de orina sin control) y dismenorrea (dolor durante la menstruación).

MENISPERMACEAE

21) *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pavón [y otras especies; véase la figura 3.3]. FORMA DE CRECIMIENTO: liana. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: región amazónica. COMPUESTOS: *Tubocurarinii chloridum*, el cloruro del alcaloide isoquinoleínico tubocurarina, compuesto activo en un tipo de curare (véase también #20); DAB10: "Tubocurarinchlorid". Uso: la planta se utilizó originalmente para la elaboración del veneno de flechas. La tubocurarina paraliza todos los músculos esqueléticos por bloquear el receptor de la transmisora neuromuscular acetilcolina. Se ha utilizado como relajante muscular en cirugía para inmovilizar al paciente.

22) *Jateorhiza palmata* (Lam.) Miers. FORMA DE CRECIMIENTO: liana. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: África del Este. DROGA CRUDA: *Colombo radix*, los pedazos de la raíz de la liana. COMPUESTOS: los alcaloides isoquinoleínicos palmatina, jatrorrizina y columbamina. Uso: contra diarrea.

MONIMIACEAE

23) *Peumus boldus* Molina. NOMBRE COMÚN: "boldo". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol pequeño. HÁBITAT: bosque (sub)tropical de montañas. DISTRIBUCIÓN: Chile, Perú. DROGA CRUDA: *Boldo folium*, las hojas. COMPUESTOS: la boldina y aproximadamente otros 20 alcaloides; además, aceite volátil (ascaridol, cineol). Uso: preparado como té, la boldina estimula la producción de bilis del hígado (colerético), así como la actividad estomacal (laxante) y del riñón (diurético). FÁRMACOS: por ejemplo, Boldo "Dr. Eberth"® (doctor Friedrich Eberth Nachf., Kick-Rasel-Straße 23-25, 92253 Schnaittenbach, Alemania) y Gallemolan® (Julius Redel Cesra-Arzneimittelfabrik GmbH & Co., Braunmattstraße 20, 76532 Baden-Baden, Alemania).

MYRISTICACEAE

24) *Myristica fragrans* Houtt. NOMBRE COMÚN: "mirística". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol de hasta 20 metros. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: originalmente de las Islas Molucas, se cultiva también en Indonesia y Malasia. DROGA CRUDA: *Myristicae semen*, las semillas sin su cáscara. COMPUESTOS: el aceite volátil contiene alrededor de 80 por ciento de pineno, así como dipenteno, miristicina, eugenol, safrol y elemicina. Uso: el aceite se utiliza contra los calambres abdominales y la diarrea, y es carminativo; en dosis elevadas es alucinógeno, probablemente a causa de los metabolitos de la miristicina y de la elemicina. Se utiliza también en la cocina como condimiento.

MYRTACEAE

25) *Eucalyptus globulus* Labill., *E. fruticetorum* F. Muell. ex Miq. y *E. smithii* R. T. Baker. NOMBRE COMÚN: "eucalipto". FORMA DE CRECIMIENTO: árboles de hasta más de 60 metros. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: originalmente en Australia, cultivado en Brasil, Congo, el suroeste de Europa y otros países, principalmente por la madera. DROGA CRUDA: *Eucalypti folium* y *Eucalypti aetheroleum*, las hojas y el aceite volátil de la hoja; DAB10: "Eucalyptusblätter" y

"Eucalyptusöl". COMPUESTOS: principalmente 1,8-cineol (figura 3.23); α -felandreno. USO: el aceite se utiliza en inhalantes para el tratamiento del asma y de la bronquitis, y tiene efecto antiséptico; también se emplea como linimento en casos de resfriado y reumatismo. FÁRMACOS: por ejemplo, el aceite volátil en Bronchodurat® Eucalyptusöl-Tropfen (G. PohlBoskamp GmbH & Co., Kieler Straße 11, 25551 Hohenlockstedt, Alemania).

26) *Syzygium aromaticum* (L.) Merill & Perry. NOMBRE COMÚN: "clavo". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: Zanzíbar, Mauricio, Madagascar, Molucas. DROGA CRUDA: *Caryophylli flos* y *Caryophylli aetheroleum*, los botones de las flores y el aceite volátil del pequeño árbol; DAB10: "Nelkenöl". COMPUESTOS: principalmente eugenol (figura 3.24); además, aceteugenol, α - y β-cariofileno. USO: el aceite se utiliza en odontología por sus propiedades desinfectantes y anestésicas. El eugenol y el aceteugenol sirven para aliviar inflamaciones (antiflogístico). Los botones de las flores se utilizan también como condimento.

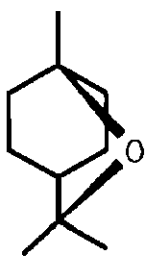


Figura 3.23. 1,8-Cineol (= eucaliptol).

PASSIFLORACEAE

27) *Passiflora incarnata* L. NOMBRE COMÚN: "pasionaria". FORMA DE CRECIMIENTO: enredadera. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: sur de Estados Unidos y América subtropical. DROGA CRUDA: todas las partes aéreas de la planta. COMPUESTOS: la vitexina y otros flavonoides; también cumarinas. USO: se emplea por sus propiedades sedantes y antidepresivas. FÁRMACOS: el extracto está contenido en Plantival® (Dr. Willmar Schwabe GmbH & Co., Willmar-Schwabe-Straße 4, 76227 Karlsruhe, Alemania).

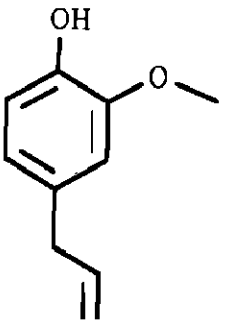


Figura 3.24. Eugenol.

PIPERACEAE

28) *Piper nigrum* L. [A] y *P. methysticum* Forster f. [B]. NOMBRE COMÚN: [A] "pimienta negra"; [B] "kava-kava". FORMA DE CRECIMIENTO: [A] enredadera; [B] arbusto. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: [A] en India, cultivada en América tropical e Indomalasia; [B] en Polinesia y Melanesia. DROGA CRUDA: de [A] *Piperis nigri fructus*, los frutos; de [B] "kava-kava", una bebida preparada de los rizomas y las raíces. COMPUESTOS: en [A] la ácrida piperina y compuestos similares menos ácridos; en [B] cavaína, dihidrocavaína, dehidrocavaína, y dehidrometisticina. USO: [A] como condimiento para estimular el apetito y elimi-

nar gases (carminativo); en [B] la cavaína y la dihidrocavaína son relajantes musculares, sedantes y analgésicos; la dehidrocavaína y la dehidrometisticina son espasmolíticas; la bebida de kava es primero refrescante, y después estimulante y tranquilizante. FÁRMACOS: por ejemplo, la cavaína se encuentra en Kavaform® (Dr. Schwab GmbH, Berg-am-Laim-Straße 129, 81673 Munich, Alemania) y en Kavain Harras® (Harras-Pharma-Curarina Arzneimittel GmbH, Am Harras 15, 81373 Munich, Alemania).

PUNICACEAE

29) *Punica granatum* L. NOMBRE COMÚN: "granada". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: condiciones más secas. DISTRIBUCIÓN: Pakistán, India y China; cultivado en muchos países tropicales, principalmente por sus frutos. DROGA CRUDA: *Granati cortex*, la corteza del árbol y sus raíces. COMPUESTOS: los alcaloides piperidínicos isopeletierina, metilisopeletierina y pseudopeletierina. USO: la isopeletierina paraliza las solitarias (animales de la tribu Plathelminthes, clase Cercomeromorphae y subclase Cestodea); se ha utilizado la planta junto con laxantes para eliminar a estos parásitos.

ROSACEAE

30) *Quillaja saponaria* Molina. FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: áreas montañosas. DISTRIBUCIÓN: Chile, Perú, Bolivia. DROGA CRUDA: *Quillajae cortex*, la corteza del árbol sin corcho. COMPUESTOS: mezcla de saponinas que incluye ácido quiláyico, galactosa, ácido glucorónico, ácido galacturónico, ramnosa, apiosa, xilosa, glucosa y ácidos orgánicos. USO: las saponinas contienen en su estructura molecular una parte polar y otra parte apolar, y en consecuencia encapsulan partículas de grasa (y también producen espuma); se utilizan para lavados bucales, en pastas de dientes, capas de película sensibles a la luz y como mediadores solventes.

RUBIACEAE

31) *Cephaelis ipecacuanha* (Brot.) Tussac [A] y *C. acuminata* Karsten [B]; (algunos taxónomos colocan el género *Cephaelis* Sw. dentro del género *Psychotria* L.). FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto pequeño. HÁBITAT: bosque tropical. DISTRIBUCIÓN: [A] en la región amazónica; [B] en Colombia y América Central. DROGA CRUDA: *Ipecacuanhae radix*, pedazos de la raíz y rizoma; DAB10: "Ipecacuanhaextract", "Ipecacuanhapulver", "Ipecacuanhatinktur", e "Ipecacuanhawurzel". COMPUESTOS: los alcaloides emetina, cefaelina y psicotrina. USO: la emetina y la cefaelina en dosis bajas son secretolíticas; se utilizan para tratar la tosferina, la bronquitis y el asma bronquial. En dosis elevadas causan vómito, por lo que se administran como eméticos en niños que comen algo venenoso. La emetina inhibe la reproducción de la forma asexual del protozoario *Entamoeba histolytica* (la causa de disentería amibiano); la semisintética 2-dehidroemetina es un amebicídico aún más fuerte.

32) *Cinchona calisaya* Weddell, *C. officinalis* L. [véase la figura 3.4] y *C. pubescens* Vahl. NOMBRE COMÚN: "quina". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque montañoso tropical. DISTRIBUCIÓN: originaria de los Andes en Sudamérica, pero cultivado en Guatemala, Java, India y Congo. DROGA CRUDA: *Cinchonae cortex*, pedazos de la corteza; DAB10: "Chinarinde", "Chi-

natinktur, Zusammengesetzte", "Chinidinsulfat", "Chininhydrochlorid" y "Chininsulfat". COMPUESTOS: los alcaloides quinina, quinidina (figura 3.25), cinconina, cinconidina; además los no-alcaloides ácido cincotánico y la amarga quinovina. Uso: la quinina mata la forma asexual de los protozoarios *Plasmodium vivax, P. malariae, P. falciparum*, y en consecuencia se utiliza contra la malaria. El uso de la corteza para este fin por las indígenas "se descubrió" en 1513 y todavía se emplea como medicamento de último recurso, especialmente a causa de que diversas variedades de *Plasmodium* han desarrollado resistencia frente a los antimaláricos sintéticos. Además, la quinina es eficaz contra la fiebre y el dolor; se ha utilizado para tratar resfriados e influenza. También es espasmolítico, al aliviar espasmos musculares. Se emplea como estándar para calibrar lo amargo y se usa en bebidas para estimular el apetito. La quinidina se administra en caso de arritmias cardiacas y taquicardia (un ritmo cardiaco de más de 100 pulsaciones por minuto). FÁRMACOS: por ejemplo, Chininum dihydrochloricum "Buchler"® (Marion Merrell Dow GmbH, Komturstraße 58-62, 12099 Berlín, Alemania) contra la malaria; Chinavit® (Woelm Pharma GmbH & Co., Max-Woelm-Straße 4, 37269 Eschwege, Alemania) contra resfriados; Chinidinum sulfuricum "Buchler"® (también Marion Merrell Dow GmbH), Galactoquin® (Mundipharma GmbH, Mundipharma-Straße 2, 65549 Limburg/Lahn, Alemania) y Optochinidin® retard (Boehringer Mannheim GmbH, Sandhofer Straße 116, 68305 Mannheim, Alemania) contienen la quinidina para el corazón; Limptar® (también Marion Merrell Dow GmbH) se compone a base de quinina, y es eficaz contra calambres musculares; la estructura de la quinina ha servido como

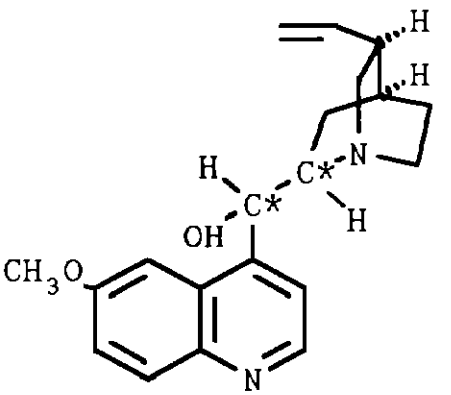


Figura 3.25: Quinina y quinidina; los dos compuestos son estereoisoméricos en los dos C*.

modelo para sintetizar nuevos antimaláricos, por ejemplo la cloroquina en Resochin® (Bayer AG, 51368 Leverkusen, Alemania).

33) *Pausinystalia johimbe* (Schumann) Beille. NOMBRE COMÚN: "yohimbo". FORMA DE CRECIMIENTO: árbol. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: Camerún, Congo, Gabón, Nigeria. DROGA CRUDA: *Yohimbe cortex*, pedazos de la corteza. COMPUESTOS: el alcaloide yohimbina. Uso: la yohimbina es un vasodilatador y baja la presión sanguínea (simpatolítica); se utiliza como afrodisiaco. FÁRMACOS: por ejemplo, contra la impotencia Yohimbin "Spiegel"® (Kali-Chemie Pharma GmbH, Hans-Böckler-Allee 20, 30173 Hannover, Alemania).

RUTACEAE

34) *Pilocarpus jaborandi* Holmes, *P. microphyllus* Stapf, *P. pennatifolius* Lemaire, *P. racemosus* Vahl. NOMBRE COMÚN: "jaborandi". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto o pequeño árbol. HÁBITAT: bosque tropi-

cal seco. DISTRIBUCIÓN: Sudamérica. DROGA CRUDA: *Jaborandifolium*, las hojas de la planta de las cuales se obtiene la pilocarpina; DAB10: "Pilocarpinhydrochlorid" y "Pilocarpinnitrat". COMPUESTOS: los alcaloides imidazólicos pilocarpina (figura 3.26) e isopilocarpina. USO: la pilocarpina tiene el mismo efecto como la transmisora nerviosa acetilcolina, pero no es descompuesta por la enzima colinesterasa y por lo tanto se encuentra en concentraciones más elevadas (parasimpatomimético directo). Incrementa la traspiración, la producción de saliva, y estimula los intestinos. Se utiliza en gotas para los ojos contra el glaucoma (hipertesión en el globo ocular). FÁRMACOS: por ejemplo, Normoglaucon® (Dr. Gerhard Mann, Chem.-pharm. Fabrik GmbH, Brunsbütteler Damm 165-173, 13581 Berlín, Alemania) y Thiloadren® (Alcon Pharma GmbH, Blankreutestraße 1, 79108 Freiburg, Alemania); en combinación con la fisostigmina (véase #13).

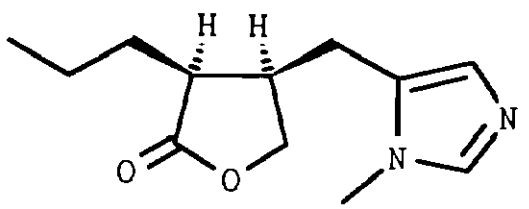


Figura 3.26. Pilocarpina.

SAPINDACEAE

35) *Paullinia cupana* H.B.K. variedad *sorbilis* (Mart.) Ducke [forma cultivada] y variedad *cupana* [forma silvestre]. NOMBRE COMÚN: "guaraná". FORMA DE CRECIMIENTO: enredadera; cultivado como arbusto. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: región amazónica (Venezuela, Brasil). DROGA CRUDA: "guaraná", una pasta seca que se produce de las semillas. COMPUESTOS: la pasta contiene una alta concentración de cafeína (2.5 a 8 por ciento del peso seco vegetal; figura 3.29); teobromina, teofilina, catequinas. USO: se ha utilizado contra el dolor de cabeza, y en Sudamérica sirve para preparar bebidas.

SIMAROUBACEAE

36) *Quassia amara* L. [A] y *Picrasma excelsa* (Swartz) Planchón. [B] - NOMBRE COMÚN: "cuasia". FORMA DE CRECIMIENTO: [A] arbusto; [B] árbol de hasta 20 metros. HÁBITAT: condiciones más secas. DISTRIBUCIÓN: [A] desde las Guayanas y norte de Brasil hasta Panamá; [B] en Jamaica, Antillas Menores, norte de Venezuela. DROGA CRUDA: *Quassiae lignum*, pedazos de madera de las dos especies. COMPUESTOS: los amargos simaroubólidos cuasina, neocuasina y 18-hidroxicuasina. USO: lo amargo estimula el apetito y la digestión. Existe algún efecto contra los gusanos parásitos (antihelmíntico) e insectos. La planta se utilizó como sustituto del "lúpulo" (*Humulus lupulus* L.) en las fábricas de cerveza.

SOLANACEAE

37) *Capsicum annuum* L. variedad *longum* (DC.) Sendtner y *C. frutescens* L. [en múltiples variedades; algunos taxónomos consideran *C. annuum* y *C. frutescens* la misma especie]. NOMBRE COMÚN: "chile". FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa o arbusto. HÁBITAT: áreas abiertas. DISTRIBUCIÓN: originario de América tropical, cultivado en la mayoría de regiones tropicales y cálido-templadas del mundo. DROGA CRUDA: *Capsici fructus acer*, el fruto; DAB10: "Cayennepfeffer". COMPUESTOS: el ácrido capsaicina (figura 3.27) y otras amidas; también carotenoides, ácido ascórbico y

flavonoides. USO: externamente, en ocasiones como emplasto contra el reumatismo y la artritis (inflamación de las articulaciones). La capsaicina inhibe el dolor y las inflamaciones (antiflogístico). Se utiliza en la cocina para estimular el apetito, como carminativo y como condimento. FÁRMACOS: contra el reumatismo de los músculos y varios tipos de dolor en Caye-Balsam® (Pharmasal, Chem.-pharm. Fabrik H. Franzke KG, Drosselgasse 5, 82166 Gräfelfing, Alemania) y en ABC Wärme-Pflaster N (Beiersdorf AG, Unnastraße 48, 20245 Hamburgo, Alemania).

38) *Nicotiana tabacum* L., *N. rustica* L. y *N. latissima* Mill. NOMBRE COMÚN: "tabaco". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto. HÁBITAT: condiciones más secas. DISTRIBUCIÓN: América. DROGA CRUDA: *Nicotianae folium* y *Nicotianae virginianae herba*, las hojas y todas las partes aéreas de la planta; en el DAB10 semisintético ácido nicotínico ("Nicotinsäure"). COMPUESTOS: los alcaloides piridínicos L-nicotina (figura 3.28), nornicotina y anabasina; también piperidinas, aminas, flavonas y cumarinas. USO: la planta se usa ampliamente para la elaboración de cigarillos con efectos colaterales muy negativos (riesgo de cáncer, arteriosclerosis). La nicotina afecta las sinapsis nicotínicas de los nervios como un trasmisor. Los extractos se utilizan como insecticidas (contra los áfidos). Se procesa la nicotina en el ácido nicotínico (figura 3.28), el cual es un vasodilatador y se emplea contra alteraciones de la circulación sanguínea periférica, hiperlipoproteinemia (demasiada lipoproteína en la sangre), angina de pecho (dolor en el pecho debido a la circulación de la sangre obstruida en el músculo cardiaco) y asma.

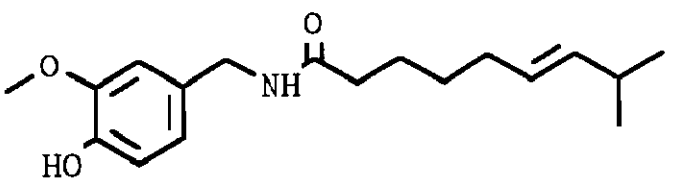


Figura 3.27. Capsaicina.

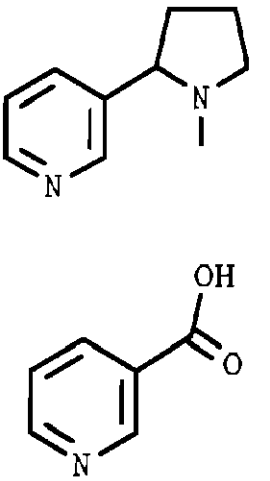


Figura 3.28. Nicotina (arriba) y ácido nicotínico (abajo).

THEACEAE

39) *Camellia sinensis* (L.) Kuntze variedad *assamica* (Masters) Kitam. y otras variedades. NOMBRE COMÚN: "té negro". FORMA DE CRECIMIENTO: arbusto o árbol de hasta 15 metros de alto. HÁBITAT: vegetación tropical montañosa. DISTRIBUCIÓN: originario del sur de China y Camboya; cultivado en el sureste de Asia, África del Este, el Cercano Oriente y América tropical. DROGA CRUDA: *Theae folium*, las hojas; en el DAB10 se encuentran la cafeína ("Coffein"), la teobromina ("Theobromin") y la teofilina ("Theophyllin"). COMPUESTOS: cafeína (fi-

gura 3.29), teofilina, teobromina, adenina, xantina y taminos (catequinas); también saponinas y un aceite volátil con más de 300 compuestos. Uso y FÁRMACOS: el "té negro" tiene un efecto estimulante causado por la cafeína, teofilina y teobromina. Las hojas del té contienen una concentración más elevada de cafeína que los granos de café, pero una taza de té preparada contiene por lo general menos cafeína que una taza de café. Los taninos son eficaces contra la diarrea. La cafeína contra la fatiga está, por ejemplo, en Coffeinum 0.2 g Compretten® N (Cascan GmbH & Co. KG, Hohenstaufenstr. 7, 65189 Wiesbaden, Alemania). La teobromina junto con otros compuestos se utiliza contra la arteriosclerosis, por ejemplo, en Dynamol® (Dr. Friedrich Eberth Nachf., Kick-Rasel-Straße 23-25, 92253 Schnaittenbach, Alemania). La teofilina es importante por su uso contra el asma y la respiración insuficiente, por ejemplo, en Aerobin® (Farmasan Arzneimittel GmbH & Co., Bunsenstraße 6-10, 76275 Ettlingen, Alemania) y en Euphyllin® (Byk Gulden Lomberg Chemische Fabrik GmbH, Byk-Gulden-Straße 2, 78467 Konstanz, Alemania).

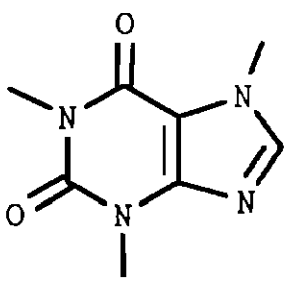


Figura 3.29. Cafeína.

ZINGIBERACEAE

40) *Alpinia officinarum* Hance. FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: India y Tailandia. DROGA CRUDA: *Galangae rhizoma*, pedazos del rizoma. COMPUESTOS: el aceite volátil contiene 1,8-cineol y eugenol (figuras 3.23 y 3.24); una ácrida resina. Uso: los compuestos ácridos estimulan el apetito y la digestión. FÁRMACOS: por ejemplo, Klosterfrau Melissengeist® (Maria Clementine Martin Klosterfrau Vertriebsgesellschaft mbH, Gereonsmühlengasse 1-11, 50606 Colonia, Alemania).

41) *Curcuma zedoaria* (Christm.) Roscoe [A], *C. xanthorrhiza* Roxb. [B], *C. longa* L. [C]. NOMBRE COMÚN: [C] "cúrcuma". FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: [A] en Sri Lanka e India; [B] en Java y el sur de China; [C] en Asia tropical y África. DROGA CRUDA: de [A] *Zedoariae rhizoma*; de [B] *Curcumae xanthorrhizae rhizoma*; DAB10: "Gelbwurz, Javanische"; de [C] *Curcumae longae rhizoma*; en las tres especies pedazos del rizoma. COMPUESTOS: en [A] alcoholes sesquiterpénicos, zingibereno y 1,8-cineol (figura 3.23); en [B] principalmente 1-cicloisoprenomirceno; también xanthorrizol; en [C] similar pero sin xanthorrizol; [B] y [C] contienen curcurminas. Uso: [A], [B] y [C] incrementan el apetito y la digestión, y estimulan la producción de bilis; [C] se utiliza como condimiento ("curry"). FÁRMACOS: un extracto de [B], por ejemplo, en Choleodoron® (Weleda AG Heilmittelbetriebe, Möhlerstraße 3-5, 73525 Schwäbisch Gmünd, Alemania).

42) *Zingiber officinale* Roscoe. NOMBRE COMÚN: "jengibre". FORMA DE CRECIMIENTO: hierba gruesa. HÁBITAT: bosque tropical húmedo. DISTRIBUCIÓN: originario de Asia tropical, cultivado en todos los trópicos húmedos. DROGA CRUDA: *Zingiberis rhizoma*, pedazos del rizoma. Compuestos: en el aceite volátil se encuentran alrededor de

50 compuestos, incluyendo zingibereno, β-felandreno, (+)– canfeno y cineol. Uso: estimula el apetito y la digestión; disminuye la náusea y el vómito (antiemético); se utiliza como condimento (por ejemplo, "ginger ale"). FÁRMACOS: por ejemplo, el extracto contra el vómito en Zintona® (Weimer Pharma GmbH, Im Steingerüst 30, 76437 Rastatt, Alemania).

3.6 RESUMEN

El mundo de las plantas, y en particular los bosques tropicales, abarca una amplia gama de compuestos químicos, la mayoría de ellos desconocidos y poco estudiados. Muchos de estos compuestos vegetales secundarios no están directamente involucrados en los procesos metabólicos básicos de las plantas. En un estudio del género *Ormosia* demostramos cómo la cromatografía de gases y la espectrometría de masas se pueden utilizar para investigar esta diversidad química. En dicho estudio encontramos más de 140 alcaloides quinolizidínicos en 11 especies. Nuestro estudio reconfirmó el principio general de que las especies taxonómicamente relacionadas también lo son desde el punto de vista químico. Contienen compuestos químicamente similares y en consecuencia presentan frecuentemente actividades biológicas parecidas.

Los compuestos vegetales secundarios han sido importantes para usos no medicinales. El comercio con resinas vegetales (principalmente el incienso de *Boswellia sacra*) y posteriormente de condimentos como la pimienta negra (*Piper nigrum*) figuraron de manera prominente en la historia de Europa. En los trópicos húmedos, el auge del caucho hacia finales del siglo XIX y principios del XX cambió la faz de la región amazónica, Malasia y otras regiones. Sin embargo, mientras la naturaleza ha proporcionado una gran cantidad de modelos químicos, la química orgánica ha hecho posible sintetizar muchos compuestos útiles de plantas de manera barata, consistente, y en las cantidades demandadas por el mercado. Así se redujo en gran medida la importancia económica de los compuestos vegetales no medicinales.

En muchos casos, los compuestos secundarios pueden servir para defender a la planta contra los herbívoros y patógenos. Una gran cantidad de ellos son biológicamente activos en muchos organismos, incluyendo al ser humano. Las sociedades humanas han sido capaces de entender, controlar y aprovechar estas actividades para mejorar su salud. La sustancia vegetal se convirtió en un medicamento. Durante muchos siglos las personas de todo el mundo, inclusive las de aquellos países que en la actualidad son altamente industrializados, han rastreado el reino vegetal en busca de medicamentos; en algunas tradiciones lo han venido haciendo por más de un milenio. De hecho, han realizado un "prerrastreo" empírico de sus floras locales para sustancias vegetales bioactivas, y el acercamiento etnofarmacológico se aprovecha de este conocimiento para descubrir medicamentos. En la parte noroeste de la región amazónica, los indígenas han descrito alrededor de 1,500 plantas bioactivas. Muy pocas de éstas han sido investigada desde el punto de vista químico y/o farmacológico.

A medida que la medicina científica ha progresado, se ha ido incorporando a la farmacopea moderna una serie de sustancias provenientes de las plantas (principalmente de la zona templada). En la medicina científica han existido cuatro papeles diferentes de las plantas:

1) El compuesto medicinal deseado se deriva y se purifica directamente de la planta; un ejemplo de ello es la digitoxina proveniente de *Digitalis lanata* para el tratamiento de problemas cardiacos.

2) La planta proporciona un precursor para un derivado semisintético; un ejemplo de ello es el alcuronio, un relajante muscular, que se obtiene mediante la modificación de la C-toxiferina I de *Strychnos toxifera*.
3) En algunos casos, un compuesto vegetal se puede "copiar" en el laboratorio; es decir, es posible sintetizarlo completamente en grandes cantidades. Un ejemplo de lo anterior es la L-efedrina, originalmente aislado de *Ephedra distachya*, que se emplea contra el asma y la fiebre del heno.
4) Algunos compuestos vegetales secundarios sirven únicamente como modelos para detectar y entender a un receptor. Esta información se utiliza para diseñar y sintetizar nuevas estructuras semejantes para obtener un mejor efecto en dicho receptor. Por ejemplo, los anestésicos locales, modelados de acuerdo con la cocaína proveniente de *Erythroxylum coca* tienen únicamente efecto anestésico pero no adictivo.

Únicamente unas cuantas especies de plantas producen medicamentos importantes en la medicina científica. Menos de 50 especies de plantas de los bosques tropicales han proporcionado medicamentos con importancia a nivel mundial. Una razón de este pequeño número es el tremendo costo en tiempo y dinero que se requiere para la investigación y el desarrollo de cualquier medicamento nuevo (sintético u obtenido de la planta); con frecuencia rebasa los 100 millones de dólares y requiere de más de 10 años en realizarlo. Otra razón es que aunque una gran cantidad de especies de plantas contienen sustancias bioactivas, muy pocas de ellas tienen valor terapéutico novedoso, o superior al de los medicamentos científicos existentes. En consecuencia, aunque los indígenas han informado que existen cerca de 1,500 especies con bioactividad en el noroeste de Amazonia, una investigación completa de todas éstas se traduciría quizá en unos cuantos, pero no en 1,500 nuevos medicamentos.

Sin embargo, para los investigadores, los bosques tropicales son fascinantes a causa de su gran diversidad de compuestos químicos. Todavía se puede descubrir una gran cantidad de sustancias bioactivas, algunas de las cuales pueden lograr una importancia mayor a la regional, y servir como medicamentos o modelos para la investigación farmacológica y química medicinal en el mundo.

Pero las plantas medicinales también desempeñan otro papel de suma importancia; constituyen una parte o, en ocasiones, la totalidad de las farmacopeas locales en determinadas regiones donde los medicamentos científicos no están al alcance de la población. Por razones logísticas y económicas, hasta el 80 por ciento de la población de los países menos industrializados tiene poco o ningún acceso a los medicamentos modernos y depende parcial o totalmente de las tradiciones del cuidado para la salud que se basan en el conocimiento de las plantas. Una planta medicinal local puede ser inferior frente a los medicamentos adecuados que se conocen para determinados fines, pero si aquélla no es tóxica y tiene algún grado de eficacia, puede cubrir una importante necesidad local de salud.

Los medicamentos tradicionales de plantas ocupan también un lugar importante en las naciones más ricas. Para malestares menores como resfriados o molestias estomacales, los tés medicinales preparados en casa, provenientes "de la naturaleza" son populares, aun en los países altamente industrializados. Por ejemplo, en Alemania las drogas crudas de plantas conforman una parte de la farmacopea oficial, y una cuarta parte del currículo universitario en la carrera de farmacia se dedica a la farmacognosia, que incluye el estudio de los compuestos químicos, así como el uso y el control de calidad de las plantas medicinales. Los tés

medicinales se pueden adquirir en las farmacias alemanas. Extractos de plantas y compuestos puros derivados de plantas se venden en fármacos terminados; de más de 8,000 fármacos terminados comercializados en Alemania durante 1994, alrededor del 6 por ciento contenía uno o más elementos activos derivados de plantas.

En Alemania, y en general en Europa, se han desarrollado mecanismos específicos para evaluar y regular las drogas crudas de plantas. Un grupo de expertos de varias disciplinas científicas evalúa la información disponible específica acerca de drogas crudas, y hace recomendaciones favorables o desfavorables con respecto a su uso. Otra comisión trabaja sobre los lineamientos legales para asegurar el control de calidad de cada droga cruda, y éstos se publican en el libro alemán de medicamentos; es decir, la farmacopea oficial. En países tropicales, podrían adoptarse planteamientos similares para integrar las plantas medicinales en sistemas eficaces de cuidado para la salud a nivel local.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P., "The occurrence of piscicides and stupefactants in the plant kingdom", en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People (Advances in Economic Botany* 8), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

ADJANOHOUN, E.J., A.M.R. AHYI, L. AKÉ ASSI, J. BANIAKINA, P. CHIBON, G. CUSSET, V. DOULOU, A. ENZANZA, J. EYMÉ, E. GOUDOTÉ, A. KEITA, C. MBEMBA, J. MOLLET, J.-M. MOUTSAMBOTÉ, J. MPATI Y P. SITA, *Médicine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Congo*, Agence de Coopération Culturelle et Technique, París, 1988.

AGUILAR, A., J.R. CAMACHO, S. CHINO, P. JÁCQUEZ, Y M.E. LÓPEZ, *Herbario medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social Información etnobotánica*, Instituto Mexicano del Seguro Social, México, D.F., 1994.

AGUILAR C., A., y C. ZOLLA, *Plantas tóxicas de México*, Instituto Mexicano del Seguro Social, México, D.F., 1982.

ARVIGO, R., y M. BALICK, *Rainforest Remedies: 100 Healing Herbs of Belize*, Lotus Press, Twin Lakes, Wisconsin, 1993.

AUTERHOFF, H., J. KNABE y H.-D. HÖLTJE, *Lehrbuch der Pharmazeutischen Chemie*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 1991.

BAERHEIM SVENDSEN, A., "Biogene Arzneistoffe. Heute noch oder heute wieder?", en: F.C. Czygan (ed.), *Biogene Arzneistoffe*, pp. 27-44, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

———, y J. J.C. SCHEFFER, "Natural products in therapy, prospects goals and means in modern research", *Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition* 4: 93-103, 1982.

BALANDRIN, M.F., J.A. KLOCKE, E.S. WURTELE y W. HUGH BOLLINGER, "Natural plant chemicals: sources of industrial and medicinal materials", *Science* 228: 1154-1160, 1985.

BINGEL, A.S., y H.H.S. FONG, "Potential fertility-regulating agents from plants", en: H. Wagner, H. Hikino y N. R. Farnsworth (eds.), *Economic and Medicinal Plant Research* 2, pp. 73-118, Academic Press, Londres, 1988.

BORMAN, S., "Scientists mobilize to increase supply of anticancer drug taxol", *Chemical & Engineering News* 69: 11-18, 1991.

BOYD, M.R., "Status of the NCI preclinical antitumor drug discovery screen", *Antitumor Drug Discovery Screen* 3: 1-12, 1989.

BPI, *Rote Liste*, Editio Cantor, Aulendorf/Württ., 1991. [BPI = Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V., Karlstraße 21, 60329 Frankfurt/Main, Alemania.]

———, *Rote Liste*. Editio Cantor, Aulendorf/Württ., 1994. [BPI = Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V., Karlstraße 21, 60329 Frankfurt/Main, Alemania.]

BUCKINGHAM, J. (director ejecutivo), *Dictionary of Organic Compounds* (7 volúmenes más suplementos adicionales posteriores), Capman and Hall, Nueva York, 1982.

CORDELL, C.A., C.W.W. BEECHER y J.M. PEZZUTO, "Can ethnopharmacology contribute to the development of new anticancer drugs?", *Journal of Ethnopharmacology* 32: 117-134, 1991.

COX, P.A., & M. J. BALICK. 1994. "The ethnobotanical approach to drug discovery", *Scientific American* 270(6): 60-65.

CROOM (JR.), E.M., "Documenting and evaluating herbal remedies", *Economic Botany* 37: 13-27, 1983.

DAB10 = *Deutsches Arzneibuch* (10a. edición), Deutscher Apotheker Verlag, Stuttgart, y Govi-Verlag GmbH, Frankfurt (Main), Alemania, 1991.

DALY, D.C., "Tree of life", *Audubon* 94: 76-85, 1992.

———, y C.F. LIMBACH, "The role of the physician in medicinal plant research", en: M. J. Balick, E. Elisabetsky, y S. Laird (eds.), *Medicinal Resources of the Tropical Forest - Biodiversity and its Importance to Human Health*, pp. 48-62, Columbia University Press, Nueva York, 1996.

DEAN, W., *Brazil and the Struggle for Rubber. A Study in Environmental History*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

DEL AMO R., S., *Plantas medicinales del estado de Veracruz*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, 1979.

DÍAZ, J.L. (ed.), *Usos de las plantas medicinales de México. Monografías Científicas II*, IMEPLAM, México, D.F., 1976.

DIRZO, R., "Estudios sobre interacciones planta-herbívoro en Los Tuxtlas, Veracruz", *Revista de biología tropical* 35 (supl.1): 119-131, 1987.

ELISABETSKY, E., y D.A. POSEY, "Use of contraceptive and related plants by the Kayapó Indians (Brazil)", *Journal of Ethnopharmacology* 26: 299-316, 1989.

ERWIN, T.L., "The tropical forest canopy: the heart of biotic diversity", en: E.O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, pp. 123-129, National Academy Press, Washington, D.C., 1988.

EVANS, F.J, "Natural products as probes for new drug target identification", *Journal of Ethnopharmacology* 32: 91-102, 1991.

FARNSWORTH, N.R., "Screening plants for new medicines", en: E.O. Wilson (ed.), *Biodiversity*, pp. 83-97, National Academy Press, Washington, D.C., 1988.

FORTH, W., D. HENSCHLER y W. RUMMEL (eds.), *Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie*, B.I. Wissenschaftsverlag, Mannheim, 1988.

FOYE, W.O., *Principles of Medicinal Chemistry*, Lea & Febiger, Filadelfia, 1989.

FROHNE, D., y U. JENSEN, *Systematik des Pflanzenreichs unter besonderer Berücksichtigung chemischer Merkmale und pflanzlicher Drogen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1985.

GARCÍA BARRIGA, H., *Flora medicinal de Colombia*, Tercer Mundo, Bogotá, 1992.

GOODMAN GILMAN, A., L.S. GOODMAN, T.W. RALL y F. MURAD, *Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics*, MacMillan Publishing Company, Nueva York, 1985.

GREINWALD, R., W. SCHULTZE y F.C. Czygan, "Über die Alkaloidzusammensetzung der oberirdischen Teile von *Laburnum watereri* (Kirchn.) DIPP", *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 186: 1-10, 1990.

———, W. SCHULTZE, J.H. ROSS, L. WITTE y F.C. CZYGAN, "A survey of alkaloids in the genus *Lamprolobium* Benth. (Fabaceae: Brongniartieae)", *Biochemical Systematics and Ecology* 21: 405-411, 1993.

GRENAND, P., C. MORETTI y H. JACQUEMIN, *Pharmacopées traditionnelles en Guyane. Créoles, Palikur, Wayapi*, Editions de l'Orstom, París, 1987.

GROOM, N., *Frankincense and Myrrh*, Longman, Londres, 1981.

HARBORNE, J.B., *Phytochemical Methods*, Chapman and Hall, Londres, 1984.

HARTKE, K., y E. MUTSCHLER (eds.), *DAB9. Kommentar. Deutsches Arzneibuch, 9. Ausgabe 1986 mit wissenschaftlichen Erläuterungen* (3 volúmenes), Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, y Govi-Verlag, Frankfurt (Main), 1988.

HAWLEY, G. G., *Diccionario de química y de productos químicos español–inglés / inglés–español*, Ediciones Omega, Barcelona, 1975.

HEGNAUER, R., *Chemotaxonomie der Pflanzen. Eine Übersicht über die Verbreitung und die systematische Bedeutung der Pflanzenstoffe* (volúmenes 1 a 6 +), Birkhäuser, Basilea, 1962, 1963, 1964, 1966, 1969, 1973 +.

———, "Bedeutung der Chemotaxonomie für die Pharmazeutische Biologie", en: F.-C. Czygan (ed.), *Biogene Arzneistoffe*, pp. 157-175, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

HENSYL, W.R. (ed.), *Stedman's Medical Dictionary*, Williams & Wilkins, Baltimore, 1990.

HESSE, M., H. MEIER y B. ZEEH, *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1984.

HOLTHUIS, J.J.N., "Etoposide and teniposide", *Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition* 10: 101-116, 1988.

HOWE, H.F., y L.C. WESTLEY, *Ecological Relationships of Plants and Animals*, Oxford University Press, Nueva York, 1988.

HOSTETTMANN, K. (ed.), *Methods in Plant Biochemistry* 6: *Assays for Bioactivity*, Academic Press, Londres, 1991.

JANZEN, D. H., "The defenses of legumes against herbivores", en: R.M. Polhill y P.H. Raven (eds.), *Advances in Legume Systematics*, pp. 951-977, Royal Botanic Gardens Kew, Richmond, Surrey, 1981.

JOYCE, C., "Prospectors for tropical medicines", *New Scientist* (19 de octubre): 36-40, 1991.

KELLER, K., "Results of the revision of herbal drugs in the Federal Republic of Germany with a special focus on risk aspects", *Zeitschrift für Phytotherapie* 13: 116-120, 1992.

KINGHORN, A.D., "Plants as sources of medicinally and pharmaceutically important compounds", en: H. N. Nigg y D.S. Seigler (eds.), *Phytochemical Resources for Medicine and Agriculture*, pp. 75-95, Plenum Press, Nueva York, 1992.

———, y M.F. BALANDRIN, "Quinolizidine alkaloids of the Leguminosae: Structural types, analysis, chemotaxonomy, and biological activities", en: S.W. Pelletier (ed.), *Alkaloids. Chemical and Biological Perspectives* (volumen 2), pp. 105-148, Wiley, Nueva York, 1984.

———, y L.J. LIN, "Alkaloid distribution in some species of the Papilionaceous tribes Sophoreae, Dalbergieeae, Loteae, Brongniartieae and Bossiaeeae", *Phytochemistry* 21: 2269-2275, 1982.

———, R.A. HUSSAIN, E.F. ROBBINS, M.F. BALANDRIN, C.H. STIRTON y S.V. EVANS, "Alkaloid distribution in seeds of *Ormosia, Pericopsis* and *Haplormosia*", *Phytochemistry* 27: 439-444, 1988.

LA ROTTA C., C., "Observaciones etnobotánicas de la comunidad Andoque (Caño Aduche) Amazonas", *Colombia Amazónica* 1: 53-67, 1982.

LEWIS, W. H., *Medical Botany — Plants affecting Man's Health*, Wiley, Nueva York, 1977.

LINARES, E., R. BYE y B. FLORES, *Tés curativos de México (Cuadernos 7)*, Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., 1990.

LOZOYA, X., "An overview of the system of traditional medicine currently practised in Mexico", en: H. Wagner, H. Hikino y N.R. Farnsworth (eds.), *Economic and Medicinal Plant Research* (volumen 4), pp. 71-93, Academic Press, Londres, 1990. [Una descripción más detallada en español se proporciona en: X. Lozoya L., G. Velázquez D. y A. Flores A., *La medicina tradicional en México. Experiencia del programa IMSS-Coplamar 1982-1987*, Instituto Mexicano del Seguro Social, México, D.F., 1988.]

LUCKNER, M., y B. DIETTRICH, "Die Regulation des Sekundärstoffwechsels", en: F.C. Czygan (ed.), *Biogene Arzneistoffe*, pp. 45-59, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

MABBERLEY, D.J., *The Plant Book. A Portable Dictionary of the Higher Plants*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

MARTÍNEZ, M., *Las plantas medicinales de México*, Librería y Ediciones Botas, México, D.F., 1989.

MEBS, D., *Gifttiere*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 1992.

MELZACK, R., "The tragedy of needless pain", *Scientific American* (febrero): 19-25, 1990.

MITCHELL, J.D., "The poisonous Anacardiaceae genera of the world", en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People (Advances in Economic Botany* 8), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

MOTHES, K., "Zur Wissenschaftsgeschichte der biogenen Arzneistoffe", en: F.C. Czygan (ed.),

Biogene Arzneistoffe, pp. 5-25, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

NEUNER-JEHLE, N., H. NESVABDA y G. SPITELLER, "Schlüsselbruchstücke in den Massenspektren von Alkaloiden - 3. Mitteilung", *Monatshefte für Chemie* 95: 687-709, 1964.

PEI-GEN, X., y W. NAI-GONG, "Can ethnopharmacology contribute to the development of antifertility drugs?", *Journal of Ethnopharmacology* 32: 167-178, 1991.

PHILLIPSON, J.D., y C.W. WRIGHT, "Can ethnopharmacology contribute to the development of antimalarial agents?" *Journal of Ethnopharmacology* 32: 155-166, 1991.

PINEDA CAMACHO, R., "El ciclo del caucho (1880-1932)", en: M. Jimeno S., S. Cárdenas de P., A.M. Sierra, P. Leyva, y A. Guarnizo (eds.), *Colombia Amazónica*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1987.

POLHILL, R.M., "Papilionoideae", en: R.M. Polhill y P.H. Raven (eds.), *Advances in Legume Systematic*, pp. 191-208, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, 1981.

REHM, S., y G. ESPIG, *Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1984.

RICKER, M., G. VEEN, D.C. DALY, L. WITTE, M. SINTA V., J. CHOTA I., y F.C. CZYGAN, "Alkaloid diversity in eleven species of *Ormosia* and in *Clathrotropis macrocarpa* (Leguminosae-Papilionoideae)", *Brittonia* 46: 355-371, 1994.

ROSENTHAL, G.A., "A seed-eating beetle's adaptations to a poisonous seed", *Scientific American* (Noviembre): 138-145, 1983.

———, y D.H. JANZEN (eds.), *Herbivores. Their Interaction with Secondary Plant Metabolites*, Academic Press, Nueva York, 1979.

SCHEPARTZ, S.A., "History of the National Cancer Institute and the plant screening program", *Cancer Treatment Reports* 60: 975-977, 1976.

SCHULTES, R.E., "The role of the ethnobotanist in the search for new medicinal plants", *Lloydia* 25: 257-266, 1962.

———, y R.F. RAFFAUF, *The Healing Forest. Medicinal and Toxic Plants of the Northwest Amazonia*, Dioscorides Press, Portland, Oregon, 1990.

SOEJARTO, D.D., y N.R. FARNSWORTH, "Tropical rain forests. Potential source of new drugs?", *Perspectives in Biology and Medicine* 32: 244-256, 1989.

———, C. GYLLENHAAL, C. LEWANDOWSKI y N. R. FARNSWORTH, "Why do medicinal sciences need tropical rain forests?", *Transactions of the Illinois State Academy of Science* 84: 65-76, 1991.

SOLOMONS, T.W.G., *Organic Chemistry*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1988.

SPJUT, R. W., y R. E. PERDUE, "Plant folklore: a tool for predicting sources of antitumor activity?", *Cancer Treatment Reports* 60: 979-985, 1976.

SRIVASTAVA, R.P., y P. PROKSCH, "Contact toxicity and feeding inhibitory activity of chromenes from Asteraceae against *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae)", *Entomologia Generalis* 15: 265-274, 1991.

STEERE, W.C., "The cinchona bark industry of South America", *The Scientific Monthly* LXI: 114-126, 1945.

STEINEGGER, E., y R. HÄNSEL, *Lehrbuch der Pharmakognosie und Phytopharmazie*, Springer Verlag, Berlín, 1992.

SUFFNESS, M., "New approaches to the discovery of antitumor agents", en: K. Hostettmann y P.J. Lea (eds.), *Annual Proceedings of the Phytochemical Society of Europe: Biologically Active Natural Products*, Clarendon Press, Oxford, 1987.

TEUSCHER, E., "Zur möglichen Funktion von Sekundärstoffen in biologischen Systemen", en: F.C. Czygan (ed.), *Biogene Arzneistoffe*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1984.

———, y U. LINDEQUIST, *Biogene Gifte: Biologie, Chemie, Pharmakologie*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1987.

TREASE, G.E., y W.C. EVANS, *Tratado de farmacognosia*, EMALSA, Madrid, 1986. [Original en inglés: Evans, W. C., *Trease and Evans' Pharmacognosy*, Baillière Tindall, Londres, 1989].

TYLER, V.E., "Plant drugs in the twenty-first century", *Economic Botany* 40: 279-288, 1986.

———, L.R. BRADY y J.E. ROBBERS, *Pharmacognosy*, Lea & Febiger, Filadelfia, 519 pp., 1988.

VON REIS ALTSCHUL, S., y F.J. LIPP, *New Plant Sources for Drugs and Foods from the New*

York Botanical Garden Herbarium, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1982.

WAGNER, H., *Pharmazeutische Biologie: 2. Drogen und ihre Inhaltsstoffe*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1988.

WALSH, J.A., "Disease problems in the Third World", en: B.R. Bloom y A. Cerami (eds.), *Biomedical Science and the Third World: Under the Volcano (Annals of the New York Academy of Sciences 569)*, pp. 1-16, The New York Academy of Sciences, Nueva York, 1989.

WATERMAN, P.G., y D. MCKEY, "Herbivory and secondary compounds in rain-forest plants", en: H. Lieth y M.J.A. Werger (eds.), *Ecosystems of the World 14B. Tropical Rain Forest Ecosystems: Biogeographical and Ecological Studies*, pp. 513-536, Elsevier, Amsterdam, 1989.

WEISSMANN, G., "Aspirin", *Scientific American* (enero): 58-64, 1991.

WENIGER, B., "Interest and limitation of a global ethnopharmacological survey", *Journal of Ethnopharmacology* 32: 37-42, 1991.

WENZELL, S.R., *Medicinal Plant Use and Knowledge in the Context of Economic and Social Transformations*, documento presentado en el "1992 Annual Meeting of the Southern Anthropological Society" en St. Augustine, Florida, 1992.

WICHTL, M. (ed.), *Teedrogen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 1989.

WILLIAMS, D.E., "A review of sources for the study of náhuatl plant classification", en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People (Advances in Economic Botany* 8), The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

CAPÍTULO 4

MANEJO DEL BOSQUE TROPICAL: ASPECTOS BIOLÓGICOS

Mientras que los capítulos 2 y 3 se refirieron primordialmente a la descripción empírica de los recursos botánicos y fitoquímicos, éste examina los bosques tropicales como sistemas dinámicos. Independientemente de los objetivos que se persigan con el manejo del bosque tropical, es necesario conocer las limitaciones que existen para tal manejo. Para realizar un análisis de costo-beneficio, los economistas requieren de información cuantitativa sobre la productividad del sistema forestal bajo estrategias de manejo alternativas, tomando en cuenta las limitaciones ecológicas de cada una.

Un ánalisis ecológico del manejo del bosque tropical puede ayudar a moderar dos posiciones opuestas. En un extremo, los conservacionistas sostienen que los bosques tropicales se deben dejar completamente en su estado natural; frecuentemente, relacionan la manipulación del bosque con destrucción de hábitat y colapso ecológico. En el otro extremo, muchos partidarios del desarrollo consideran que los bosques tropicales son obstáculos naturales para el aumento del bienestar humano; frecuentemente relacionan la deforestación con el progreso, y la asumen como una acción que aumenta el valor de la tierra. La evidencia científica en este capítulo apunta hacia un camino intermedio; en muchas áreas, los conservacionistas no han reconocido la tolerancia del ecosistema ante cierto cambio, mientras que los partidarios del desarrollo no han entendido los elevados costos ecológicos que pueden producir las desviaciones excesivas del estado natural de un ecosistema, que se traducen finalmente en costos monetarios.

4.1 CONCEPTOS PARA EL MANEJO FORESTAL

El manejo forestal[1] trata de lograr un manejo racional a largo plazo de los ambientes dominados por los árboles.[2] Los árboles crecen con relativa lentitud, por lo que las decisiones tomadas por los responsables del manejo afectan necesariamente el suministro de los productos obtenidos de éstos para las generaciones futuras. La idea de sustentabilidad está profundamente enraizada en la ciencia del manejo forestal. El manejo sustentable implica que la cantidad de los productos físicos (por ejemplo, madera) y el suministro de servicios

[1] En lugar de "manejo forestal" podríamos también hablar de "silvicultura"; como ciencia, la *silvicultura* trata de las técnicas de cómo cultivar árboles en el bosque.

[2] Los *árboles* se caracterizan por un crecimiento secundario de un tronco de madera; es decir, un *cambium* produce un crecimiento en el diámetro a lo largo del árbol. En este sentido, las palmas (plantas de la familia Palmae = Arecaceae) como monocotiledoneas no son verdaderos árboles, porque, aunque tienen un tronco de madera, carecen de este cambium.

(por ejemplo, recreación) aportados por el bosque no declinan a largo plazo. La sustentabilidad es la base de todos los conceptos para el manejo forestal (véanse libros de texto como el de Burschel y Huss, 1987; Davis y Johnson, 1987; Smith, 1986; Clutter *et al.*, 1983).

Las especies arbóreas están adaptadas a condiciones ecológicas específicas. Al analizar la capacidad que tienen para crecer, competir y dispersarse bajo ciertas circunstancias ambientales —por ejemplo, clímaticas, regímenes de luz, suelos específicos, condiciones extremas de estrés de agua, presencia de plagas —puede notarse que cada una de ellas posee una combinación especial de requerimientos ambientales y adaptaciones. En cada caso, el manejo se debe ajustar a la especie vegetal y al ambiente local en que ésta se encuentra.

Los conceptos para el manejo forestal tienen sus raíces en el conocimiento ecológico. Existen varios textos sobre la ecología de los bosques tropicales (por ejemplo, Whitmore, 1990 y 1984; Jacobs, 1988; Walter y Breckle, 1984). Un libro recomendable sobre ecología de bosques en general es el de Spurr y Barnes (1980, en español); otro es el de Oliver y Larson (1990), que está centrado específicamente en el manejo.

EL CRECIMIENTO REQUIERE DE LUZ SOLAR, PERO NO EXCESIVA

La luz del sol proporciona la energía para formar azúcares y subsecuentemente todos los demás compuestos químicos para la estructura y el metabolismo de la planta. La fotosíntesis es el proceso mediante el cual se fabrican azúcares a partir del bióxido de carbono y del agua.

La luz solar que penetra al sotobosque[3] es muy reducida. Únicamente entre 0.4 y 3.8 por ciento de la luz solar que incidió sobre el dosel[4] de un bosque tropical en Costa Rica llegó al suelo (Chazdon y Fetcher, 1984), y alrededor del 1 por ciento llegó al suelo en un bosque dominado por especies de la familia Dipterocarpaceae en Sri Lanka (Ashton, 1992). Las plantas del sotobosque, incluyendo las plántulas y juveniles de los árboles, enfrentan retos especiales bajo estas circunstancias. Dependen en gran medida de *haces de luz* ("sunflecks" en inglés), luz solar que entra por lapsos cortos al bosque a través de pequeños claros[5] del dosel durante ciertos tiempos del día (Mooney *et al.*, 1984). Chazdon y Fetcher (1984) encontraron que los haces de luz contribuyen del 55 al 77 por ciento del total de luz que reciben las plantas del sotobosque.

Los fisiólogos de plantas han demostrado que algunas especies vegetales son aptas para recibir mucha luz (*heliófitas*), mientras otras requieren de condiciones de poca luz (*esciofitas*; véanse Ashton y Berlyn, 1992; Barbour *et al.*, 1987; Larcher, 1984). Las plantas adaptadas a la sombra (plantas del sotobosque) prosperan poco o nada ante el sol directo; lo contrario sucede con las plantas adaptadas al sol (pioneras, plantas del dosel) cuando están a la sombra. Algunas importantes especies maderables asiáticas pertenecientes a los géneros *Dipterocarpus* Gaertner f., *Shorea* Roxb. ex Gaertner f. (ambas Dipterocarpaceae) y *Mesua* L. (Guttiferae) requieren para su desarrollo temprano de las condiciones de sombra típicas del bosque maduro (Ashton *et al.*, 1992). Es raro el establecimiento en condiciones muy

[3] Por debajo de los árboles grandes de un bosque existen árboles más pequeños así como árboles jóvenes, los cuales forman un estrato distinto, denominado *sotobosque* ("understorey" en inglés).

[4] Las copas de los árboles forman un techo natural, que se denomina *dosel* ("canopy").

[5] Cuando caen árboles grandes, se forman huecos en el dosel por los cuales entra mucha luz al sotobosque; estas zonas se denominan *claros* ("gaps").

abiertas de *Dacryodes excelsa* Vahl ("tabonuco"; Burseraceae), y de otras especies maderables valiosas de los "bosques de tabonuco" en Puerto Rico (Devoe, 1992). Muchas especies arbóreas del dosel comienzan su ciclo de vida como plántulas adaptadas a la sombra y desarrollan copas con hojas adaptadas al sol directo, cuando alcanzan el dosel (Givnish, 1988).

Las plantas del sotobosque tienen hojas de sombra que tienden a ser grandes y simples (no divididas) para capturar la mayor cantidad de luz solar posible. Comparadas con las hojas adaptadas al sol directo, las de sombra son más eficaces a niveles bajos de luz, pero menos eficaces cuando se exponen a la luz solar directa. Las plantas de sotobosque reaccionan rápidamente ante la presencia de haces de luz, aumentando su actividad fotosintética (Ashton y Berlyn, 1992; Chazdon y Pearcy, 1991). Los taxónomos también están conscientes de que en las ramas bajas de árboles altos, las hojas tienden a ser más grandes y menos gruesas, en comparación con las de ramas altas.

Los claros causados por la caída de árboles constituyen un elemento crucial en la dinámica de los bosques tropicales (Whitmore, 1991; Hartshorn, 1990; Martínez-Ramos, M., 1985; Brokaw, 1982). Además de la liberación de nutrientes provenientes de la descomposición de los árboles caídos, hay un gran influjo de energía solar. Esto último permite que crezcan los individuos más jóvenes de las especies del dosel. Las semillas y plántulas de muchas especies reaccionan a un aumento de luz de manera favorable en su desarrollo (véase Popma y Bongers, 1988).

EL MANEJO PUEDE SIMULAR PERTURBACIONES NATURALES

La perturbación natural es un componente fundamental del proceso de renovación de los bosques. Una *perturbación* es un cambio súbito en las condiciones físicas o químicas, la disponibilidad de recursos y/o las interacciones bióticas que afectan el desempeño de los organismos. Ésta puede ser causada por un conjunto variado de sucesos tales como fuegos (véase Goldammer, 1993), caídas de árboles por viento o senectud y herbivoría u otros efectos de animales (Oliver y Larson, 1990). En un área de 28 hectáreas de bosque viejo (mayor a 200 años de edad) en la isla de Barro Colorado, Panamá, los claros de más de 150 metros cuadrados aparecieron a una tasa promedio de uno por hectárea cada cinco años (Brokaw, 1982). En los bosques del Caribe, la elevada frecuencia de huracanes tiene una gran influencia en los patrones de distribución espacial de las especies arbóreas. Durante el huracán "Hugo" en 1989, los árboles de un bosque húmedo de Puerto Rico, que tenían un diámetro (DAP) mayor de 70 centímetros, fueron notablemente susceptibles de ser derribados, y solamente especies arbóreas con raíces bien ancladas fueron más resistentes (Basnet *et al.*, 1992).

En el pasado se pensó que los bosques persistían en un estado de clímax, es decir, con una estructura y composición de especies estable, determinadas por las condiciones del clima y suelo. En la actualidad, se les considera sistemas dinámicos, influidos por sucesos al azar; estos sucesos no sólo contribuyen a determinar qué individuos tienen una cierta probabilidad para sobrevivir o regenerarse, sino también tienen efectos a largo plazo sobre la composición de especies, e incluso sobre la propia estructura del bosque. Esto significa que en un área dada y bajo ciertas condiciones ambientales, diferentes composiciones y estructuras del bosque no sólo son posibles sino inevitables, dado que cada sitio dentro de dicha área tiene una historia diferente (Oliver y Larson, 1990).

El análisis de las perturbaciones naturales es interesante porque proporciona valiosas indicaciones sobre el impacto que tendrán las

diversas actividades humanas sobre el bosque. Los científicos forestales señalan que algunos sistemas de manejo simulan sucesos en el bosque que ocurren naturalmente. Dependiendo de la escala, ciertas actividades humanas tales como tala selectiva y completa, aclaramiento, plantaciones de enriquecimiento y extracción de frutos o de otros productos no-maderables, son comparables con perturbaciones naturales como la caída de árboles por el viento, la creación de claros o la depredación de semillas por animales. En consecuencia, los bosques pueden adaptarse a estos tipos de manejo, dentro de ciertos límites (Oliver y Larson, 1990; Whitmore, 1990, 1984).

LA NECESIDAD DE PROTEGER EL SUELO

Los suelos están entre los factores ambientales más importantes que determinan el crecimiento del bosque. La fertilidad y otras propiedades del suelo varían notablemente en los trópicos, en ocasiones de manera abrupta en cortas distancias. La elección de las especies para manejo, enriquecimiento o sembrado en general debe tomar en consideración los requerimientos de nutrientes y las tolerancias de cada una de ellas. En un estudio de especies maderables importantes de Asia en los géneros *Dipterocarpus, Mesua,* y *Shorea*, Ashton *et al.* (1992) sugirieron que los patrones de distribución de éstas son específicos del lugar, así que cada especie crece mejor sobre un diferente tipo de suelo.

Los suelos son distinguidos e identificados por taxónomos de suelo. El sistema de clasificación de suelos que se utiliza en Estados Unidos reconoce 11 órdenes principales de suelo, subdivididos en 47 subórdenes, 230 grupos mayores, 1,200 subgrupos, 6,600 familias y numerosas series. El orden de suelo más frecuente en América Latina y África es el oxisol. Éstos son suelos que han sido fuertemente intemperizados y que tienen baja fertilidad. Se dañan fácilmente si no son protegidos por vegetación (Brady, 1990; véanse Herrera, 1985, y Jordan, 1985, para un análisis de los suelos de la región amazónica).

Los suelos tienen que ser manejados para mantener un equilibrio entre la entrada y salida (es decir, la pérdida) de nutrientes. La entrada de nutrientes es proporcionada por la deposición atmosférica, principalmente a través de la precipitación, por la descomposición de plantas y animales, por la fertilización del suelo a través de quemas, la introducción de abonos vegetales y otras materias orgánicas, o bien por la aplicación de fertilizantes sintéticos. La pérdida ocurre por lixiviación,[6] erosión y cosecha o extracción de material orgánico, el cual incluye madera, cultivos y productos forestales no-maderables.

El manejo indígena de los suelos forestales tropicales ha considerado las propiedades del suelo. Por ejemplo, el sistema de roza-tumba y quema[7] empleado por los indígenas Amuesha sobre las laderas orientales de los Andes está adaptado a la elevada precipitación pluvial existente en la zona (alrededor de 6 metros por año). Se queman áreas del bosque durante la primavera, para facilitar la siembra en el verano. La combustión no es completa, de manera que quedan cenizas que al mezclarse con la materia vegetal no quemada funcionan como abono. La ceniza aumenta favorablemente el pH [8]

---

[6] Se denomina *lixiviación* al proceso de la pérdida de nutrientes en el suelo por filtración pluvial.

[7] El manejo de *roza-tumba* y *quema* ("swidden-fallow", "slash-and-burn" en inglés) realizado por diversos grupos indígenas en los bosques tropicales, consiste en deshierbar un área, y talar y quemar los árboles, con el fin de sembrar cultivos en dicha área, que ha sido fertilizado con las cenizas de la vegetación quemada.

[8] El término *pH* se refiere a la acidez de una sustancia; es el logaritmo negativo (de base 10) de la concentraeión de

del suelo y proporciona nutrientes, mientras que el abono al pudrirse proporciona más nutrientes, así como una valiosa protección contra la erosión (Salick, 1989).

La fertilidad del suelo es manipulada por los indígenas Kayapó del Brasil amazónico (Hecht y Posey, 1989). Este grupo étnico habita una región en el sur de Pará en los márgenes del Río Fresco. Crea campos más o menos circulares de alrededor de una hectárea. Tres anillos concéntricos representan tres zonas de siembra. Hecht y Posey encontraron que la estructura de anillos concéntricos se correlaciona con diferencias estadísticas significativas en la fertilidad del suelo. El ciclo del roza-tumba y quema es de alrededor de 15 años. La fertilidad del suelo es manipulada por la aplicación de abono, ceniza y plantaciones de enriquecimiento. Por ejemplo, las especies de *Inga* Miller (Leguminosae-Mimosoideae) sirven para fijar nitrógeno debido a la asociación que tienen con bacterias nitrificantes que habitan en nódulos en sus raíces.

En la mayoría de los sistemas tradicionales de roza-tumba y quema, el contenido de nutrientes del suelo disminuye con el tiempo y el pH regresa a su acidez anterior. Además, la productividad del cultivo declina y la competencia de las especies que colonizan aumenta hasta el punto en que el beneficio del deshierbe no amerita la inversión de mano de obra. Por estas razones, estas áreas finalmente se abandonan al proceso de sucesión,[9] para crear nuevos campos de cultivos en otro lugar.

En sitios no fertilizados, la entrada de minerales proviene en gran parte de la lluvia. Ésta contiene concentraciones finas de minerales disueltos. En la parte central de Java, Bruijnzeel (1989) midió en la lluvia las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, nitratos, cloro, fosfatos, silicón, aluminio, hierro, manganeso, amonio y sulfatos. Al investigar troncos de plantaciones locales de *Pinus merkusii* Jungh. & de Vr. y *Agathis dammara* (Lamb.) Rich. (Araucariaceae, Gymnospermae), Bruijnzeel demostró que la entrada atmosférica de magnesio y potasio fue suficientemente alta como para compensar las pérdidas de estos elementos debido a la remoción de troncos; sin embargo, las entradas atmosféricas no fueron suficientes para compensar las pérdidas de nitrógeno, calcio y fósforo, los cuales son elementos típicos en los fertilizantes.

El nitrógeno y el fósforo son los factores limitantes más importantes en la fertilidad del suelo. Vitousek (1984) concluyó que los sitios de oxisoles y ultisoles viejos, especialmente en la región amazónica, parecen ser particularmente bajos en fósforo disponible. En el suelo volcánico de la estación de investigación «La Selva» en Costa Rica, donde se encuentra un bosque húmedo, Vitousek y Denslow (1986) reportaron una disponibilidad alta de nitrógeno y una disponibilidad relativamente baja de fósforo. En contraste, Tanner *et al.* (1992) encontraron que el nitrógeno es más limitante que el fósforo en un área de bosque húmedo de montaña en cerca de 2,500 metros de elevación en Venezuela. Las tasas de crecimiento de los árboles se duplicaron en un área de este bosque mediante la aplicación de fertilizante.

En la parte superior del Río Negro en la región amazónica de Venezuela, Jordan (1989) encontró que el fósforo es el nutriente limitan-

---

iones hidrógeno en una solución acuosa ($pH = -Log[H^+]$). Un pH de 7 (a 25 °C de temperatura) es neutral, porque las concentraciones de H^+ y OH^- son iguales. Un pH de -1 es muy ácido, porque la concentración de H^+ es muy alto en comparación a la de OH^-; por otro lado, un pH de 15 es muy alcalino. Muchas plantas no crecen sobre suelos ácidos, donde las concentraciones de iones como hierro, manganeso, zinc y cobre pueden estar tan altas que son tóxicas para las plantas; la ceniza de plantas aumenta el pH, es decir, disminuye la acidez, y liga a estos iones (véase Brady, 1990).

[9] La *sucesión* es un cambio temporal direccional de especies en una comunidad, después de una perturbación.

te en los oxisoles, y el nitrógeno en los espodosoles. Después de cortar y quemar el bosque, aumentó la fertilidad del suelo. Sin embargo, el rendimiento de cosecha declinó gradualmente durante el periodo de cultivo, probablemente debido a la pérdida de materia orgánica que existe sobre el suelo (como ceniza y ramas), lo que a su vez disminuye el pH del suelo y la cantidad de fósforo disponible. No obstante, después de tres años de cultivo, Jordan encontró que los niveles de nutrientes no se habían reducido tanto como para impedir la productividad sucesional y la recuperación del bosque (para un análisis general para los trópicos véase también Weischet y Caviedes, 1993; y Sánchez, 1976).

Montagnini y Sancho (1990) mostraron que distintas especies producen distintos efectos sobre el suelo. Los efectos producidos pueden ser de importancia para la selección de árboles. En la costa atlántica de Costa Rica, examinaron suelos debajo de las siguientes especies madereras nativas:

Stryphnodendron excelsum Harms (Leguminosae-Mimosoideae),
Dalbergia tucurensis Donn. Smith (Leguminosae-Papilionoideae),
Dipteryx panamensis (Pittier) Record & Mell (Leguminosae-Papilionoideae),
Vochysia hondurensis Sprague (Vochysiaceae)
V. ferruginea Mart,
Tabebuia rosea (Bertol.) DC. (Bignoniaceae).

Debajo de *Vochysia* fueron encontrados los valores más altos de la materia orgánica, nitrógeno total, calcio, fósforo y *ferruginea*. Existió una tendencia aparente hacia un contenido más elevado de nitrato del suelo en los sitios ocupados por los árboles de *Stryphnodendron excelsum* y *Dalbergia tucurensis*. Éstas y otras especies arbóreas en la familia Leguminosae, que fijan nitrógeno, pueden tener efectos positivos sobre el suelo (véase Allen y Allen, 1981 para detalles sobre características, usos y nodulación de las leguminosas). Gupta (1993) discute las especies arbóreas útiles en agroforestería y para la recuperación de suelos degradados, con un enfoque en las especies del sureste de Asia y de África.

La compactación[10] del suelo es un problema mayor cuando la cosecha de árboles se realiza con maquinaria pesada. En Jari, en el este de la región amazónica de Brasil, la clarificación del bosque para plantaciones por máquinas fue abandonada, porque los árboles de la plantación crecían pobremente en el suelo compactado (Whitmore, 1991). En muchos bosques de regiones frías y templadas, la cosecha de la madera tiene lugar en el invierno, porque en esa época los suelos se congelan y no hay compactación. En el verano, la cosecha se realiza cuando el suelo está seco. En los trópicos húmedos no existen estas opciones. Allá, la cosecha se puede llevar a cabo con caballos u otros animales, más que con maquinaria pesada. En muchas regiones, la gente local ya está acostumbrada a utilizar animales (por ejemplo, en Los Tuxtlas, Veracruz, México). Esto tiene menos impacto sobre el bosque futuro —semillas, plántulas, juveniles y árboles remanentes— una de las principales preocupaciones en el manejo forestal (véase Verissimo *et al.*, 1992). La compactación del suelo es menos preocupante en los suelos arenosos o rocosos. Un análisis de la cosecha maderera,

[10] Es importante para la agricultura, el manejo forestal y el crecimiento de plantas en general, que el suelo no sólo sea fértil en nutrimentos, sino también mullido y poroso; un suelo compactado contiene pocos animales y microorganismos de tierra, además de que no permite el paso del agua. Por lo tanto, causa problemas a las raíces en crecimiento para encontrar agua y nutrientes.

incluyendo el empleo de animales, es proporcionado por Sessions y Heinrich (1993).

En muchas áreas tropicales los pastizales para el ganado no han sido sustentables, porque los suelos están mal protegidos con una capa escasa de pasto, y esto último provoca lixiviación de nutrientes y erosión (Nepstad *et al.*, 1990; Serrão y Toledo, 1990; Fearnside, 1985, 1980). Los bosques secundarios[11] retienen nutrientes en el ecosistema, por lo que al prevenir el crecimiento del bosque secundario, se lleva a cabo una pérdida de nutrientes.

Shukla *et al.* (1990) concluyeron, a partir de un modelo matemático, que una conversión a gran escala del bosque en pastizales para ganado en la región amazónica conduciría a un cambio climático regional, incluyendo un incremento significativo en la temperatura de superficie del suelo, una disminución en la evapotranspiración y la precipitación a través de la región y una prolongación de la estación seca.

Los suelos frágiles en muchas áreas tropicales favorecen un *manejo de árboles de distintas edades* ("uneven-aged management" en inglés), en el cual se realiza la tala de los árboles más viejos tratando de no dañar a los otros árboles. También son prometedores los *sistemas de árboles nodriza* ("shelterwood systems"), en los cuales se dejan árboles del dosel del bosque para proporcionar protección al suelo, sombra y control climático a las plántulas y a la regeneración de avanzada;[12] al mismo tiempo estos árboles continúan aportando semillas (véase Ashton *et al.*, 1992; Smith, 1986). El sistema de raíces remanente, junto con sus hongos micorrízicos asociados,[13] obtienen eficientemente los nutrientes disueltos, antes de que se filtren hacia el suelo mineral (Stark y Jordan, 1978).

LOS ÁRBOLES COMPITEN ENTRE SÍ

Históricamente, en forestería y ecología se pensó que todas las especies de un bosque eran mutuamente interdependientes para su sobrevivencia y crecimiento, hasta el grado de que se creía que una comunidad de plantas se comportaba como un superorganismo (véase Clements, 1916). En la actualidad, este punto de vista no es muy aceptado; ahora, se considera que la competencia, más que el mutualismo entre especies arbóreas, representa la fuerza principal que determina la composición de plantas del bosque (Oliver y Larson, 1990).

Cada árbol en un bosque requiere de luz solar, agua, bióxido de carbono y minerales del suelo, así como de espacio físico. El bióxido de carbono se encuentra en una cantidad suficientemente alta en la atmósfera, de manera que los árboles no compiten por ello. La luz solar, y en época de secas el agua y los minerales del suelo, son los factores principales que pueden generar competencia. Si un árbol ha sobrepasado a otros árboles y ha asimilado los minerales disponibles del suelo, es decir, ha ocupado el

---

[11] El término *bosque secundario* se refiere a un bosque en el que se puede todavía reconocer que una vez fue talado completamente (posiblemente hace muchas décadas). Se le contrasta con un *bosque primario* (o bosque virgen), que aparentemente nunca ha sido talado.

[12] La *regeneración de avanzada* consta de las plántulas y árboles jovenes que se han desarrollado debajo del dosel del bosque, y que se encuentran en un estado de crecimiento mínimo, "esperando" a que se abra un claro en el dosel que les proporcione más luz, así como también nutrientes que provienen de los árboles caídos, mismos que al caer causaron el claro.

[13] Muchas plantas vasculares (incluyendo algunos helechos) tienen *hongos micorrízicos asociados*, es decir, hongos asociados a las raíces de la planta, que facilitan la absorción de nutrimentos minerales a la planta; a su vez, la planta proporciona carbohidratos de su fotosíntesis a estos hongos.

espacio de crecimiento[14] disponible, entonces suprime a los árboles vecinos. La competencia reduce el crecimiento del tronco (véase Oliver y Larson, 1990) y la producción de frutos (véase Weiner, 1988), y esto conduce frecuentemente a la muerte del árbol supreso.

Teóricamente se anticipa que la competencia entre individuos de la misma especie sea más fuerte que entre individuos de diferentes especies, dado que los individuos de la misma especie ocupan el mismo nicho ecológico[15] (Begon *et al.*, 1986). Por ejemplo, en la isla de Barro Colorado (Panamá), Hubbell y Foster (1990) encontraron que el crecimiento y la sobrevivencia de los árboles jóvenes (DAP ≥ 1 centímetro) de *Alseis blackiana* Hemsl. (Rubiaceae) y *Trichilia tuberculata* C. DC. (Meliaceae) se correlacionaron negativamente con la densidad de los adultos conespecíficos.[16]

Existe poca evidencia de *mutualismo* entre especies arbóreas de un bosque, es decir, una interdependencia positiva recíproca entre los interactuantes. Existe más evidencia de *facilitación,* que es un beneficio que sólo un individuo de una especie obtiene de otro individuo de distinta especie. Cada árbol tiene efectos particulares sobre su vecindad, por ejemplo, al afectar las propiedades del suelo y el ambiente de luz para sus vecinos. Estos efectos pueden cambiar con el paso del tiempo. Durante algún tiempo, una planta leguminosa podría proporcionar nitrógeno y un árbol podría proteger a las plántulas del exceso de luz solar. Posteriormente, estos mismos árboles podrían competir con sus vecinos por nutrientes y por luz solar.

Las estrategias de manejo forestal intentan favorecer especies con valor económico. Por lo tanto, la competencia de árboles es uno de los factores principales de costo: particularmente en los bosques ricos en especies, el establecimiento de monocultivos está acompañado de costos para eliminar a las especies no deseadas y proteger a las deseadas. Por esta razón, los monocultivos se justifican sólo cuando la especie manejada tiene un valor alto.

¿EN QUÉ GRADO DISMINUYE LA COSECHA A CAUSA DE LAS PLAGAS?

Los árboles son atacados por animales, parásitos vegetales, hongos, bacterias y virus. Para todos estos enemigos utilizaremos el término de *plaga*. Por ejemplo, los árboles del género *Swietenia* Jacquin ("caoba"; Meliaceae) son atacados por las larvas de la mariposa *Hypsipyla robusta* (Pyralidae, Lepidoptera). (Véase Newton *et al.*, 1993). Todos los miembros de la familia Loranthaceae ("muérdagos") parasitan a varias especies de angiospermas. Numerosas plantas tropicales comercialmente importantes, incluyendo *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken (Boraginaceae) por su madera y *Hevea brasiliensis* (A. Juss.) Muell. Arg. ("caucho"; Euphorbiaceae) por su caucho, son parasitadas por el hongo *Erythricium salmo-*

---

[14] *Espacio de crecimiento* es la disponibilidad de todos los factores de crecimiento requeridos para una planta en cuestión. El concepto se puede ilustrar con el siguiente ejemplo: si una planta requiere por lo menos de 2 litros de agua y 3 horas de luz solar directa por día, pero solamente hay 1 litro de agua y 2 horas de luz, entonces no existe un espacio de crecimiento bidimensional suficiente de agua y luz. El espacio de crecimiento también se puede referir al espacio físico disponible para una planta.

[15] El concepto de *nicho ecológico* es similar al de espacio de crecimiento. Sin embargo, en lugar de considerar el espacio de crecimiento disponible para una planta en un sitio en cuestión, se refiere a toda la variedad de factores ecológicos a la cual una especie está adaptada en general.

[16] *Conespecífico* = de la misma especie.

nicolor (Berk. & Br.) Burdsall ("enfermedad rosa"). Las bacterias y los virus son los responsables de múltiples enfermedades que sufren las plantas de valor comercial (véase Ivory y Specht, 1993).

Hendrix (1988) estimó que el 64 por ciento de todas las especies de mamíferos comen plantas y que alrededor del 50 por ciento de las especies de insectos son fitófagos (es decir, comen material vegetal). La herbivoría, por otra parte, conduce a la reducción del crecimiento del tronco y a la disminución en la producción de frutos. La reducción en el crecimiento es por lo general proporcional a la cantidad de tejido perdido (Hendrix, 1988). La herbivoría frecuentemente es más severa en plantas ya debilitadas por otras razones, por ejemplo, el estrés por falta de agua (Oliver y Larson, 1990).

Los forestales frecuentemente se impresionan por las tasas de crecimiento que pueden alcanzarse bajo condiciones de un monocultivo sembrado. Por ejemplo, las plantaciones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *E. urophylla* S.T. Blake (Myrtaceae; de Australia), en la costa este de Brasil, alcanzaron en promedio un crecimiento de madera de 50 a 70 metros cúbicos por hectárea por año. Una de las plantaciones más productivas en el mundo fue la de *Eucalyptus deglupta* Sm. en Papúa Nueva Guinea, en la que los árboles crecieron en sus primeros tres años a una altura promedio de 24 metros y un volumen de 288 metros cúbicos por hectárea (Evans, 1992). Sin embargo, aunque los monocultivos pueden tener un alto rendimiento, los costos de manejo pueden ser aun más altos (véase el apartado 5.6).

Probablemente todos los monocultivos son susceptibles a la explosión de poblaciones de plagas. El problema de las plagas es particularmente preocupante en bosques tropicales, ya que alguna de las muchas especies de insectos que habitan en ellos, podría ser una plaga de la especie arbórea de interés comercial. En contraste con los monocultivos, los cuales tienden a presentar sucesos "catastróficos" de plagas (para ejemplos brasileños véase McKean, 1985), los bosques diversos de especies típicamente muestran un nivel de herbivoría más uniforme a través del tiempo. La razón de esta diferencia se basa en la proximidad entre los árboles hospederos a una plaga hospedero-específica; en un monocultivo, la plaga fácilmente puede diseminarse de un hospedero al siguiente —un fenómeno típico de la epidemiología.

Por ejemplo, en 1928 Henry Ford inició una plantación de *Hevea brasiliensis* cerca de la parte baja del Río Tapajós en Pará, Brasil, para producir caucho y enviarlo a Estados Unidos. La plantación se infestó por una forma de roya ("South American leaf blight disease" en inglés), causada por el hongo *Microcyclus ulei* (Hennings) Muller & von Arx. Después de una inversión de 15 millones de dólares, la cantidad producida de caucho comercial era tan baja que la operación fue abandonada al final de la década de 1940 (Dean, 1987; McKean, 1985).

De la Cruz y Dirzo (1987) midieron el nivel de herbivoría en el follaje de plántulas de 52 especies arbóreas del bosque húmedo de Los Tuxtlas (Veracruz, México). El daño promedio fue menor al 10 por ciento del área foliar, y solamente algunos individuos mostraron daño extenso. Dirzo (1987) observó que en Los Tuxtlas los principales herbívoros son insectos, particularmente larvas de Lepidoptera (= mariposas), y que muchas especies de insectos son hospedero-específicos. Una palomilla migratoria (*Urania fulgens*, Uranidae) exhibe explosiones de su población, durante las cuales causa una defoliación intensa a su planta hospedera, el árbol *Omphalea oleifera* Hemsl. (Euphorbiaceae).

En el bosque húmedo de la isla Barro Colorado, Panamá, las propiedades foliares, tales

como pubescencia, firmeza[17] y contenidos de agua, proteína, fibra y fenoles, explicaron más del 70 por ciento de la variación interespecífica observada en las tasas de herbivoría sobre hojas maduras. Los niveles de herbivoría se explicaron en su mayoría por la firmeza de la hoja, seguidos por el contenido de fibra y el valor nutricional (contenido de proteínas). En el 70 por ciento de las especies, las hojas jóvenes sufrieron niveles de daño más altos que las hojas maduras (Coley, 1983).

Aunque las hormigas son generalmente útiles en el bosque, dado que aflojan el suelo, en los neotrópicos la existencia de las hormigas cortadoras de hojas[18] puede representar un problema serio para el manejo. Estas hormigas cosechan grandes cantidades de hojas verdes de la vegetación, que posteriormente utilizan para el cultivo de hongos que mantienen dentro de sus nidos y que les sirven de alimento. Haines (1975) observó en Panamá que diferentes especies de *Atta* tenían su mayor abundancia en un estado particular sucesional de la vegetación. Con un aumento de los campos agrícolas, la abundancia de colonias de *Atta* pareció incrementarse. Hölldobler y Wilson (1990) señalan que existen especies vegetales con ciertos compuestos químicos en las hojas (en particular terpenoides), que las hacen inapropiadas para el cultivo de los hongos. Dichas especies de plantas son evitadas por las hormigas.

Por desgracia, virtualmente no existen datos cuantitativos sobre la pérdida de producción debido al ataque de plagas para bosques tropicales. Para un análisis de costo-beneficio es necesario estudiar la relación entre el tipo de manejo forestal y la disminución de la cosecha de un producto forestal debido a plagas. Se presentan un número de preguntas claves como las siguientes: si el daño en las hojas es constante y equivale a cierta área folial del árbol, entonces, ¿cuánto disminuye el crecimiento de madera o la producción de frutos? ¿Qué tanto de la diferencia existente en la cosecha de madera o de frutos entre un bosque diverso de especies y un monocultivo se debe a los daños producidos por plagas? ¿Con qué frecuencia ocurren explosiones poblacionales de las plagas, y qué tanto disminuye la cosecha cuando éstas ocurren? ¿Qué sistemas de manejo pueden prevenir las explosiones de plagas y cuánto cuesta este manejo? Estas son preguntas que tienen que ser abordadas por los botánicos económicos, los cuales tratan de desarrollar planes para el manejo racional de bosques tropicales (véase también Castello *et al.*, 1995; Newton, 1993).

LA REPRODUCCIÓN DE ÁRBOLES DEPENDE DE LA DISPERSIÓN DEL POLEN Y LAS SEMILLAS

En muchos bosques tropicales, los árboles maduros de una misma especie se encuentran muy apartados unos de otros, de manera que las densidades poblacionales de muchas especies son menores a un árbol maduro por hectárea (véase el cuadro 4.9). No obstante, la mayoría de los árboles se entrecruzan con otros conespecíficos, y la autofertilización es menos común (Murawski *et al.*, 1994; Bawa y Krugman, 1991; Ledig, 1986). Bawa (1974) reporta que en una flora tropical, el 76 por ciento de las especies arbóreas tenían entrecruzamiento obligado debido a que son *dioicas* (existen árboles masculinos y femeninos) o que poseen sistemas de autoincompatibilidad; otro 10 por ciento

[17] Coley (1983) define *firmeza* como la fuerza necesaria para perforar una hoja con una vara de cinco milímetros.

[18] Las *hormigas cortadoras de hojas* abarcan 24 especies de *Acromyrmex* y 15 especies de *Atta*. Las hormigas cortadoras de hojas habitan únicamente en Latinoamérica y el sur de Estados Unidos (Hölldobler y Wilson, 1990).

correspondió a especies *monoicas* (flores masculinas y femeninas separadas en el mismo árbol). Entonces, con frecuencia es necesario que el polen que contiene el germen masculino, sea transportado desde la flor de un árbol hasta el gineceo (que contiene el óvulo) de la flor de otro.

Todavía no está claro qué tan importante es el entrecruzamiento de los árboles para el vigor del bosque a largo plazo. Mientras menos árboles existan para el entrecruzamiento o menos árboles puedan entrecruzarse, mayor es la probabilidad de que genes idénticos se emparejen en la doble hélice del ADN[19] en los descendientes; esta condición se denomina homocigosis[20] para estos genes. El problema de la homocigosidad es que existen copias deletéreas de genes, y si se emparejan no hay ninguna copia "saludable" del gen para compensar el efecto deletéreo. Esto puede resultar en individuos con fertilidad más baja y/o mortalidad más alta. Las poblaciones pequeñas en individuos reproductivos tienen una probabilidad más alta de perder diversidad de genes y una probabilidad más baja de prevenir homocigosidades deletéreas (Futuyma, 1986). Los biólogos de la conservación tienen como un aspecto principal de estudio los problemas causados por *depresiones genéticas por consanguinidad* ("inbreeding depression" en inglés), porque los bosques naturales están fragmentados, y las poblaciones arbóreas están reducidas drásticamente por la actividad humana.

Ledig (1986) sostiene que debido a que las poblaciones de especies arbóreas tienen una carga genética elevada de mutaciones[21] deletéreas (más alta que aquellas de las plantas con vida corta), es deseable conservar en cada especie la mayor diversidad genética posible. Desafortunadamente, no es claro cómo se puede traducir esto último a las decisiones de manejo del mundo real. Casi no existen estudios de bosques tropicales en los que se haya determinado cuántos árboles tienen una población genética; una excepción es el estudio de Eguiarte *et al.* (1993) sobre *Astrocaryum mexicanum* Liebm. ex Mart. (Palmae) en la región de Los Tuxtlas (Veracruz, México). Se encontró que la población genética de esta abundante palma del sotobosque (hasta 1,200 palmas adultas por hectárea) consistió de 102 a 895 individuos en un área de vecindad genética de 2,551 metros cuadrados.

Mientras que la uniformidad genética es deseable en monocultivos para promover uniformidad del producto, el cruzamiento de árboles de alto rendimiento reduce en gran medida la diversidad genética. Por lo tanto, es importante que se encuentre disponible una fuente natural de diversidad genética de las especies para realizar cruzamientos de mejoramiento en el futuro. Si bien es deseable que exista una uniformidad genética en los monocultivos, el manejo de bosques tropicales diversos en especies debería tratar de mantener e incluso de promover el entrecruzamiento de muchos árboles de la misma especie.

Las especies de árboles tropicales dependen para su polinización primordialmente de animales —en gran medida de insectos, pero también de murciélagos y aves. Muchas especies vegetales pueden ser polinizadas por más de una especie animal, pero los animales varían en su eficiencia como polinizadores; esto en-

---

[19] ADN = ácido desoxirribonucleico ("desoxyribonucleic acid" o "DNA", en inglés), la macromolécula que contiene toda la información genética de los seres vivos.

[20] *Homocigosis* = "de origen puro"; el opuesto es *heterocigosis* = "de origen mezclado".

[21] *Mutaciones* son cambios en el material genético (ADN) de un mismo individuo que pueden ocurrir por varias razones, por ejemplo, si hay un error en la replicación del ADN.

contraron Schemske y Horvitz (1984) en su estudio de la hierba neotropical *Calathea ovandensis* Matuda (Marantaceae).

Los animales dispersores dependen tanto de los frutos para su nutrición, como a su vez los árboles dependen de estos animales para dispersar sus semillas. En los bosques neotropicales, del 50 al 90 por ciento de todas las especies arbóreas del dosel, y casi el 100 por ciento de otras especies de árboles y arbustos, son dispersados por animales (Howe, 1984). La dispersión de las semillas afuera del árbol adulto generalmente implica tasas de sobrevivencia más altas para los descendientes. En la isla de Barro Colorado en Panamá, la mayoría de las semillas (54 por ciento) de *Virola surinamensis* (Rottb.) Warb. (Myristicaceae), dispersadas por tucanes,[22] fueron diseminadas individualmente a través del bosque, mientras que 46 por ciento cayeron debajo del árbol materno. La mortalidad de semillas y de plántulas debajo de la copa materna excedió el 99.99 por ciento. Únicamente las semillas regurgitadas por pájaros fuera de los árboles progenitores tuvieron alguna probabilidad apreciable (0.3-0.5 por ciento) de sobrevivir 15 meses en el sotobosque (Howe, 1990).

En otro estudio en la isla de Barro Colorado, menos de una cuarta parte (23 por ciento) de las semillas de *Tetragastis panamensis* (Engl.) Kuntze (Burseraceae), dispersadas por monos, fueron removidas de la vecindad de los árboles maternos. Una proporción alta de las semillas sobrevivió 15 meses debajo de la copa (44 por ciento), en grupos defecados por monos o individualmente fuera de los árboles maternos (Howe, 1990). Las poblaciones de árboles cuyas semillas son dispersadas por aves o murciélagos son especialmente vulnerables a la extinción local, si los agentes de dispersión son cazados exageradamente o desaparecen de otra manera. Esto se debe a que dichos árboles no pueden reclutar una cantidad suficiente de plántulas cerca de los árboles maternos.

El manejo forestal de bosques diversos debe considerar las especies animales que dispersan las semillas de los árboles comerciales; por lo tanto, debe tomar en cuenta las fuentes de alimentación de estos animales. Los animales no-migratorios requieren de alimento durante todo el año, y en los climas tropicales estacionales los animales que comen frutos dependen de algunas especies arbóreas durante los periodos en los que el alimento es escaso. En un bosque perennifolio en Costa Rica, 33 especies árboreas produjeron frutos en septiembre, pero solamente 12 en diciembre. Las especies que producen frutos en diciembre sostienen a las poblaciones de animales que dispersan las semillas de especies vegetales que producen frutos en otras estaciones del año. Por ejemplo, en la estación de investigación "La Selva" (Costa Rica), la eliminación de la especie arbórea *Casearia corymbosa* H.B.K. (Flacourtiaceae) afectaría a la población de tucanes en la época de escasez de frutos, lo que a su vez conduciría a una dispersión reducida de semillas para muchas especies arbóreas, cuyos frutos comen los tucanes. Sin embargo, *C. corymbosa* no juega el mismo papel crítico en el parque nacional de Santa Rosa (Costa Rica); obviamente, los planes de manejo deben ajustarse a cada localidad (Howe, 1984).

4.2 IMPACTO DEL MANEJO DE UNA POBLACIÓN ARBÓREA AL PASO DEL TIEMPO

Las decisiones racionales que afectan el futuro de un sistema forestal se deben basar en predic-

[22] *Tucanes* son aves de la familia Ramphastidae.

ciones sobre el desarrollo del bosque; esto requiere de una comprensión de los patrones de reacción a perturbaciones. En ecología así como en economía, el reto principal es predecir el desarrollo de un sistema a partir de ciertas variables. Usualmente las predicciones de un sistema se llevan a cabo mediante la aplicación de un modelo. Un *modelo* es una secuencia de enunciados usualmente matemáticos que describen un sistema. Los enunciados contienen diferentes variables que se pueden analizar sobre un ámbito de valores. Un modelo nunca capturará todos los aspectos de un sistema, y en consecuencia siempre será inexacto en algún grado. No es importante que un modelo sea perfecto, pero sí que sea adecuado para cierto propósito.

En este apartado se intenta modelar la dinámica de crecimiento de una población[23] de árboles de la misma especie en un bosque. El desarrollo de una población se puede modelar mediante la utilización de tres parámetros[24] fundamentales de las poblaciones: la *tasa de sobrevivencia*, la *tasa de crecimiento* y la *fecundidad*.[25] Nuestra mejor estimación sobre los valores promedio de estos tres parámetros a largo plazo es tomando los valores promedio de tantos árboles como sea posible, durante tanto tiempo como sea posible, suponiendo que los valores promedio del pasado continuaran igual en el futuro.

El cuadro 4.1 explica el modelo que utilizamos. A primera vista podría parecer complicado, pero su estructura es simple. La población de árboles se divide en x estadios (= etapas, por ejemplo, juveniles o adultos), para los cuales se obtienen datos de campo sobre la tasa promedio de sobrevivencia (*Sob[x]*), la tasa promedio de crecimiento (*Mov[x]*) y la fecundidad promedio (*Fec[x]*). Estos datos entran en el modelo. Sería tedioso realizar los cálculos a mano, por lo que escribimos un programa de computadora.

El cuadro 4.2 muestra los datos de entrada para la estructura de la población de la especie arbórea *Grias peruviana* Miers (Lecythidaceae) en un bosque húmedo primario cerca de Jenaro Herrera, junto al Río Ucayali en la región amazónica de Perú. Los datos de campo provienen de Peters (1990). Para la obtención de estos datos se utilizaron 15 áreas de 20 por 20 metros cada una. Los frutos comestibles de *G. peruviana* son populares en esta región, especialmente en la ciudad de Iquitos. Generalmente, la especie es un árbol del sotobosque encontrado en bosques que se inundan estacionalmente al oeste de la región amazónica. Este árbol puede formar poblaciones de alta densidad en sitios que le son favorables. Los nombres comunes son "sacha mangua" en Perú, y "llanero", "apaí", o "pitón" en Ecuador. Los árboles adultos alcanzan alturas de hasta 25 metros y diámetros del tronco hasta 40 centímetros. Los frutos miden de 8 a 13 de centímetros de largo y contienen una sola semilla rodeada por una pulpa comestible, rica en vitamina A (Peters y Hammond, 1990).

El cuadro 4.3 proporciona el resultado del análisis para el punto inicial (año 0) y después del primer año (año 1), con los datos de entrada

---

[23] Aquí usamos el término *población* como un conjunto de árboles de la misma especie que cohabitan en un área determinada.

[24] Un *parámetro* es un valor constante; en contraste, una *variable* es un carácter, que puede variar en su característica. Si medimos una tasa de sobrevivencia, esto es una variable, pero si hablamos del valor promedio a largo plazo, la tasa de sobrevivencia se vuelve en un parámetro. En estadística, el término parámetro se refiere al valor verdadero, alrededor del cual existe variación estocástica.

[25] El término *fecundidad* se refiere al número de hijos producidos, mientras que *fertilidad* se refiere al número de huevos producidos.

CUADRO 4.1. Modelo de una población de árboles

CARACTERÍSTICAS GENERALES:

1) Básicamente se trata de un modelo de "Markov chains" (para más información sobre este tipo de modelo véase Hillier y Lieberman, 1990, o Swartzman y Kaluzny, 1987). El modelo es determinístico, es decir, no permite la variación estocástica a través del tiempo. Durante los años en que este modelo se aplica, se deben considerar valores promedios a través del tiempo para los parámetros de entrada, alrededor de los cuales existe variación estocástica.
2) El desarrollo de los árboles ocurre en distintos estadios (= etapas) y los árboles "brincan" (en lugar de crecer lentamente) de un estadio al siguiente en puntos específicos en el tiempo.
3) El número de semillas que se convierte en plántulas permanece constante; por lo tanto, el modelo se desarolla hacia una equilibrio.
4) Se supone que los parámetros de entrada (para cada estadio: tasa anual de sobrevivencia, tasa anual de crecimiento, y producción anual de semillas) son constantes aun cuando el número de árboles en cada estadio cambia; no dependen de la densidad de la población. Si la cantidad de árboles aumenta en gran medida, se podría anticipar que las tasas de sobrevivencia y de fecundidad de las estadios jóvenes serían afectados negativamente, y el supuesto ya no aplicaría.
5) Un árbol pequeño puede ser viejo y un árbol grande puede ser joven (después de diferentes éxitos en la competencia). Esto último no afecta el modelo si la proporción entre los árboles que crecen más rápido y los que crecen más lento no cambia, y así el promedio en las tasas medidas es constante.
6) En el modelo se supone que la reproducción ocurre solamente vía semillas, y no de forma vegetativa por rebrotes.
7) En el modelo se calcula con semillas, aunque el producto de interés comercial pueden ser los frutos. Si un fruto tiene varias semillas, hay que dividir la producción promedio de semillas entre el número promedio de semillas por fruto para conocer el número de frutos producidos.

VARIABLES DE ENTRADA:

x = El estadio (sin unidad): los árboles son asignados a los estadios en relación con su tamaño.
Núm [x] = El número de árboles en el estadio *x* (sin unidad): *Núm[x]* se puede considerar un número promedio esperado para un área de bosque en cuestión, y en consecuencia no será un número entero.
Sob [x] = La proporción promedio de árboles en el estadio *x*, que sobrevive de un año al siguiente año (sin unidad).
Mov [x] = La proporción promedio de sobrevivientes de árboles en el estadio *x* que se mueven durante un año al siguiente estadio (x + 1) (sin unidad): este parámetro refleja la tasa de crecimiento.
Fec [x] = La tasa de fecundidad promedio (es decir, producción de semillas) de un árbol en un año en el estadio *x* (en semillas por árbol por año): observe que un fruto podría contener varias semillas dependiendo de la especie; además, algunas especies tienen árboles masculinos y femininos, en consecuencia, la tasa de fecundidad se tiene que promediar tanto sobre femeninos como sobre masculinos en un estadio; *Fec[x]* se puede considerar un número promedio esperado para un área de bosque en cuestión, y en consecuencia no será un número entero.
Vol [x] = El volumen promedio del tronco de un árbol en el estadio *x* (en metros cúbicos).

mostrados en el cuadro 4.2. Algunas variables son específicas a la especie y al sitio donde la población se desarrolla; no cambian aunque el número de árboles *Núm [x]* sí lo haga, es decir, en el modelo son independientes de la densidad existente en la población. La variable *Tiempo[x]* muestra que los estadios duran lapsos muy diferentes (de 1 a 34.5 años). La edad esperada de un árbol al final de un estadio, *Edad[x]*, muestra que en este modelo los árboles en promedio no viven más de 125.3 años.

De las variables dependientes del tiempo, el número de árboles en un estadio (*Núm[x]*) es la variable crucial, ya que todas las demás varia-

CUADRO 4.1. (continuación)

CÁLCULOS Y VARIABLES DE SALIDA: [1]

Tiempo [x] = El tiempo esperado en que un árbol permanece en el estadio *x* antes de moverse al siguiente estadio (x + 1) (en años):
Tiempo [x] = 1 /Mov [x]
Tiempo[2] = 1 /0.161 = 6.2 años

Edad [x] = El tiempo esperado que un árbol necesita para pasar del estadio 0 al final del estadio *x* (años) cuando la estructura de la población es estable:
Edad [x] = Σ_1^x **(Tiempo [x])**
Edad[3] = 1.0 + 6.2 + 4.1 = 11.3 años

Núm [x] = El número esperado de árboles en el estadio *x* (sin unidad):
Núm [x] = (Núm _ Antes [x]) (Sob [x]) − (Núm _Antes [x]) (Sob [x])(Mov[x]) + (Núm _ Antes [x-1]) (Sob [x-1])(Mov [x-1])
para los estadios 2 al n; Núm [1] es constante
Cálculos de Núm [2] después del primer año:
Núm [2] = (997)(0.124) − (997)(0.124)(0.161) + (8581)(0.525)(1.000)
= 123.6 − 19.9 + 4505.0
= 4608.7
Esta fórmula muestra que el número de árboles en un estadio, después de un año, es igual al número de árboles que han sobrevivido en el estadio, menos el número de árboles que se han movido al siguiente estadio, más el número de árboles que han entrado del estadio anterior. Calculamos con números truncados en el segundo decimal (truncar en lugar de redondear es necesario para permitir matemáticamente la extinción total en caso de ninguna reproducción).

Fec _Pob [x] = La tasa de fecundidad esperada (es decir, producción de semillas) de todos los árboles de la población en el estadio *x* en un año (en semillas por año):
Fec _Pob [x] = (Fec [x]) (Num [x])
Fec _Pob [6] = (16) (118) = 1888 semillas por año

Mad _Pob [x] = El volumen esperado de la madera de todos los árboles de la población en el estadio *x* (en metros cúbicos):
Mad _Pob [x] = (Vol [x]) (Num [x])
Mad _Pob [7] = (0.0327) (82) = 2.68 metros cúbicos

[1] Los ejemplos son del cuadro 4.3 con los valores de los parámetros de entrada del cuadro 4.2; algunas diferencias en los resultados entre este cuadro y el cuadro 4.3 se deben a errores de redondeo (los cálculos en el cuadro 4.3 son más exactos).

bles dependen de ella. Resulta útil presentar un ejemplo de cómo el modelo calcula *Núm [x]* de un año al otro; aquí examinamos qué pasa en el estadio de las plántulas (x = 2) en el primer año. En el año 0, *Núm [2]* es 997, por lo que 997 individuos están en el estadio de plántulas. Durante un año, únicamente el 12.4 por ciento de los individuos en este estadio sobreviven, por lo que sobreviven (997)(0.124) = 123.6 individuos (12.4 por ciento es una probabilidad promedio, por lo que el número esperado de sobrevivientes no tiene que ser un número entero). De las plantas que sobreviven, el 16.1 por ciento crece lo suficiente en ese año para

CUADRO 4.2 **Datos sobre una población de *Grias peruviana*** [1]

x	*Descripción*	*Núm [x]*	*SobNr* [2]	*MovNr* [2]	*Sob [x]=*	*Mov [x]= SobNr/ Núm [x]*	*Fec [x] MovNr/ SobNr*	*Vol [x]* [3]
1)	semillas	8581	4505	4505	0.525	1.000	0	0.0000
2)	0-50 cm alto (plántulas)	997	124	20	0.124	0.161	0	0.0000
3)	50-100 cm alto (juveniles I)	463	316	76	0.683	0.241	0	0.0000
4)	100-150 cm alto (juveniles II)	167	146	50	0.874	0.342	0	0.0002
5)	1-5 cm dap (juveniles III)	132	127	7	0.962	0.055	0	0.0005
6)	5-10 cm dap (adultos I)	118	115	6	0.975	0.052	16	0.0074
7)	10-15 cm dap (adultos II)	82	81	3	0.988	0.037	34	0.0327
8)	15-20 cm dap (adultos III)	35	35	1	1.000	0.029	59	0.1203
9)	>20 cm dap (adultos IV)	13	12	1[4]	0.923	0.083	97	0.5301

[1] Los datos de campo provienen de Peters (1990)

[2] Estas son variables de ayuda que en el cuaddro 4.1 no entran en los cálculos del modelo; *SobNr* es el número de árboles que han sobrevivido durante todo el año; *MovNr* es el número de árboles que han crecido tanto que se mueven al siguiente estadio; observe que el número de árboles que se mueve (MovNr) más el número de los árboles que no se mueve (no mostrados) tiene que ser igual al número de los sobrevivientes (SobNr).

[3] Volumen en metros cúbicos según datos de Peters y Hammond (1990): los diámetros inferiores *D* fueron estimados de manera cruda mediante interpolación en centímetros como 0, 0.75, 1.5, 2.25, 3, 7.5, 12.5, 17.5 y 30, para los estadios 1 a 9, respectivamente; las alturas *a* se estimaron por interpolación en metros como 0, 0.25, 0.75, 1.25, 2, 5, 8, 15 y 22.5, para los estadios 1 a 9, respectivamente; los volúmenes se calcularon modelando los troncos como conos: $V = (1/12)(\pi)(a)(D^2)$.

[4] En el último estadio, el número de árboles muertos (13 – 12 = 1) tiene que ser igual al número de árboles que se mueven (1), ya que después únicamente existe el estadio de muerto.

que alcancen el tamaño de los árboles en el estadio tres; de este modo (123.6)(0.161) = 19.9 árboles se mueven hacia el siguiente estadio y correspondientemente (123.6)(1 - 0.161) = 103.7 árboles se quedan en el estadio dos. En un año, 0.525 o 52.5 por ciento de las semillas (estadio 1) sobreviven y la totalidad de ellos (100 por ciento) se convierten en plántulas; por lo tanto, (8581)(0.525)(1.000) = 4505.0 semillas se han convertido en plántulas. El nuevo número de individuos en el estadio dos (*Núm [2]*) es en consecuencia el número original menos los sobrevivientes que no se han movido al estadio tres, más los sobrevivientes del estadio uno que se han movido al estadio dos: 123.6 - 19.9 + 4505.0 = 4608.7.

DESARROLLO HACIA UNA ESTRUCTURA ESTABLE

La figura 4.1 muestra la estructuración de la población en algunos estadios, a medida que

CUADRO 4.3. Parámetros de población para los años 0 y 1 [1]

Los siguientes datos de salida *no* dependen del año:

x	*Tiempo[x]*	*Edad[x]*
1	1.0	1.0
2	6.2	7.2
3	4.1	11.4
4	2.9	14.3
5	18.2	32.5
6	19.2	51.7
7	27.0	78.7
8	34.5	113.2
9	12.0	125.3

Los datos de salida para el año 0 son:

x	*Núm [x]*	*Fec _Pop [x]*	*Mad _Pop [x]*
1	8581.0	0	0.00
2	997.0	0	0.00
3	463.0	0	0.02
4	167.0	0	0.03
5	132.0	0	0.06
6	118.0	1888	0.87
7	82.0	2788	2.68
8	35.0	2065	4.21
9	13.0	1261	6.89
Suma:	10588.0	8002	14.76

Los datos de salida para el año 1 son:

x	*Núm [x]*	*Fec _Pop [x]*	*Mad _Pop [x]*
1	8581.0	0.0	0.00
2	4608.7	0.0	0.02
3	259.9	0.0	0.01
4	172.2	0.0	0.03
5	169.9	0.0	0.08
6	116.0	1856.0	0.85
7	84.0	2856.0	2.75
8	36.9	2177.1	4.44
9	12.0	1166.0	6.36
Suma:	14040.6	8055.1	15.26

[1] Los cálculos se realizaron por computadora; las sumas caluladas a mano no siempre son exactamente iguales, dado que la computadora calcula con ocho decimales, en lugar de con uno.

crece hacia una estructura estable; recuerde que el número anual de semillas que entran al sistema es constante. Por *estructuración* queremos decir que el número relativo de árboles en cada estadio cambia con el paso del tiempo. Se puede observar que en los primeros años hay una fuerte transformación en la estructura de la población, la cual se hace cada vez menos pronunciada hasta que se llega a una estructura estable después de 190 años.[26] Después, el número de árboles en cada estadio permanece constante, aunque cada año hay árboles que mueren o se mueven de un estadio al próximo. Esta es una observación fundamental para los sistemas forestales y biológicos en general.

> *Con parámetros fijos de entrada, el sistema siempre se aproxima a una* estructura estable, *en que cada estadio tiene un recambio constante, por lo que parece estática. Un cambio de los parámetros de entrada causará que el sistema cambie hacia un nueva estructura estable.*

En un estado de una estructura estable, la población no cambia las proporciones de individuos entre los estadios, aunque el tamaño de la población en su conjunto pueda variar. En un estado de *equilibrio*, la población tiene una estructura estable y no varía su tamaño. En nuestro modelo, el número de semillas para desarrollar plántulas es constante a través del tiempo, por lo que una estructura estable será siempre un equilibrio.[27]

Observe que la población se estructura en distintos lapsos, desde uno hasta el último, y que los primeros estadios llegan a la estabili-

[26] El año en que se alcanza la estructura estable depende de la exactitud de los cálculos, es decir, del número de decimales utilizados en la variable *Núm [x]*. Los cambios toman más tiempo a medida que se utilizan más decimales. Los cambios de la población en los últimos años, antes de llegar a la estructura estable, son siempre pequeños y asintóticos. Por lo tanto, la escala del tiempo (años, décadas o siglos) para llegar a la estructura estable y la magnitud de los cambios que se producen en la estructuración de la población son de mayor interés que los valores exactos de tiempo y número de árboles.

[27] Véase Caswell (1989) para modelos y conceptos sofisticados de estudios de poblaciones (empleando la matemática de matrices).

dad de manera más rápida que los últimos. Esto ocurrirá siempre que se dé un cambio en las parámetros en los primeros estadios, ya que el tiempo requerido para que los efectos de este cambio alcancen estadios cada vez mayores aumenta; por ello, tomará más tiempo para que el último estadio llegue a su estabilidad.

En la realidad, los parámetros de entrada nunca tendrán valores constantes, sino que variarán de un año al otro, por lo que la población de árboles se aproxima siempre a distintos equilibrios. Es probable que los datos proporcionados por Peters (cuadro 4.2) no representan los parámetros promedio de largo plazo, si se tienen en cuenta dos observaciones:

1) El número predicho por el modelo de semillas producidas en los años 0 y 1 (8,002 y 8,055.1) es más bajo que el número observado de semillas (8,581), que se supuso estaba disponible cada año para la regeneración. Solamente después de varios años de estructuración se produce un exceso de semillas, es decir, más de las 8,581 semillas requeridas cada año.
2) El número de individuos en el estadio de las plántulas cambia notablemente en el modelo durante el primer año, de 997 a 4,608.7. Podría ser que la tasa promedio de sobrevivencia de las semillas sea menor en realidad que la tasa medida en el estudio; también podría ser que la producción de semillas fuera excepcionalmente alta.

Por supuesto, es posible que la población de *Grias peruviana* realmente esté en una fase de estructuración; no obstante, la siguiente sección mostrará que el modelo es sensible a la inexactitud de los parámetros de entrada. Por lo tanto, utilizando las mediciones de un año, nuestro modelo podría ser inadecuado para predecir el futuro de la población de *G. peruviana*. Sin embargo, vamos a poder hacer algunas observaciones interesantes en las siguientes secciones.

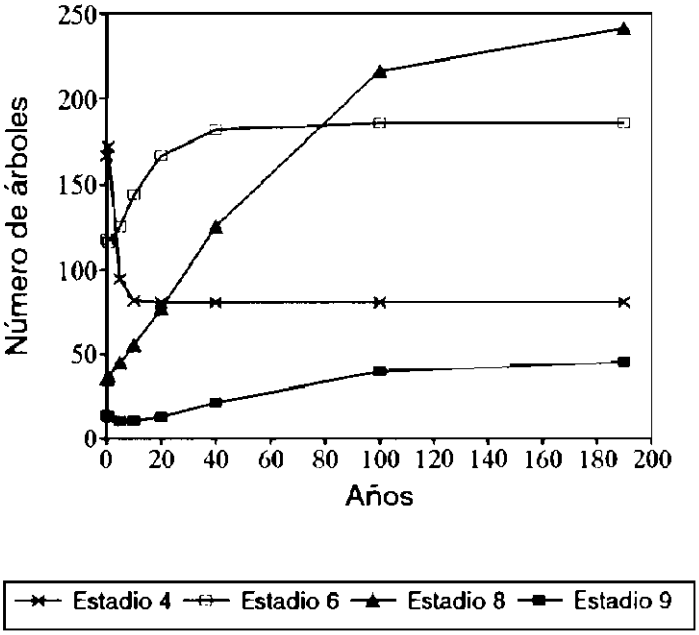


Figura 4.1. Cambio proyectado de la estructura de la población de árboles de *Grias peruviana* al paso del tiempo (según los datos de entrada del cuadro 4.2). De los nueve estadios, únicamente se presentan cuatro.

SENSIBILIDAD DEL RESULTADO A LOS PARÁMETROS DE ENTRADA

Probando la sensibilidad del modelo a variaciones en los parámetros de entrada nos puede dar una idea de cómo se afectan los resultados obtenidos del modelo cuando se producen variaciones en los parámetros del mismo, debido a sucesos naturales o al manejo forestal. También, los datos biológicos que se obtienen del campo casi nunca son 100 por ciento exactos, y entonces necesitamos saber cómo reacciona el modelo a la inexactitud.

En el cuadro 4.4 los valores originales de los parámetros de entrada se han reducido o aumentado en un 10 por ciento para obtener límites mínimos y máximos, dentro de los cuales podrían encontrarse los valores prome-

CUADRO 4.4. **Estimación sobre un ámbito de tres parámetros de entrada**

	Sob [x] [1]			*Mov [x]*[1]			*Fec [x]*		
x	*−10%*	*Orig.*[2]	*+10%*	*−10%*	*Orig.*[2]	*+10%*	*−10%*	*Orig.*[2]	*+10%*
1)	0.473	0.525	0.578	0.900	1.000	1.000	0.0	0.0	0.0
2)	0.112	0.124	0.136	0.145	0.161	0.177	0.0	0.0	0.0
3)	0.615	0.683	0.751	0.217	0.241	0.265	0.0	0.0	0.0
4)	0.787	0.874	0.961	0.308	0.342	0.376	0.0	0.0	0.0
5)	0.866	0.962	1.000	0.050	0.055	0.061	0.0	0.0	0.0
6)	0.878	0.975	1.000	0.047	0.052	0.057	14.4	16.0	17.6
7)	0.889	0.988	1.000	0.033	0.037	0.041	30.6	34.0	37.4
8)	0.900	1.000	1.000	0.026	0.029	0.032	53.1	59.0	64.9
9)	0.831	0.923	1.000	0.075	0.083	0.091	87.3	97.0	106.7

[1] Observe que los números no pueden exceder de 1, por lo que no siempre se pueden desviar por un 10 por ciento.

[2] Orig. = número original presentado en el cuadro 4.2.

dio de largo plazo. La figura 4.2 muestra el desarrollo proyectado por el modelo sobre el número de árboles en el estadio seis (adultos I). Dos características son inmediatamente obvias: mientras más adelante se vea en el futuro, menos predecible será el número de árboles que existan en la población; y el ámbito de variación es tan amplio que no se sabe si la población disminuirá, se mantendrá, o aumentará. Lo mismo es válido para otros estadios, y también para la producción de frutos y madera. Por lo tanto, un 10 por ciento de incertidumbre en todos los parámetros de entrada impide la predicción del derrotero de la población de *Grias peruviana*.

EL IMPACTO DE MANEJO

El análisis de sensibilidad anterior muestra que ciertos cambios relativamente pequeños en los parámetros de entrada pueden tener fuertes efectos sobre el desarrollo de la población y su equilibrio. Un forestal (es decir, un reponsable del manejo) deseará aprovechar esta sensibilidad y manipular los parámetros de entrada para obtener un fuerte efecto positivo con un esfuerzo reducido.

Al observar los valores de los parámetros de entrada en el cuadro 4.2, el valor para *Sur[2]*

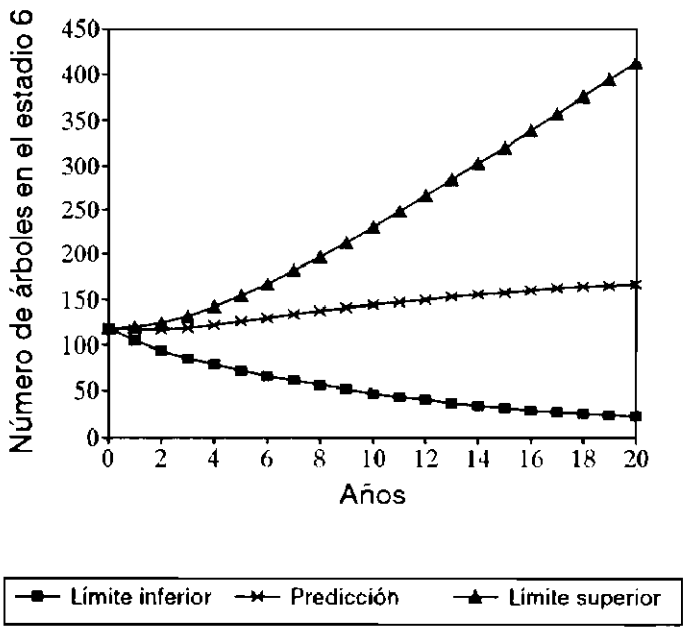


Figura 4.2. Desarrollo proyectado de la población de árboles de *Grias peruviana* en el estadio seis (adultos I), utilizando para los parámetros de entrada el ámbito mostrados en el cuadro 4.4.

con 12.4 por ciento sobresale. El estadio 2 (plántulas), se puede manejar con relativa facilidad, por ejemplo, sembrando semillas en viveros, bajo condiciones favorables de suelo, luz y protección, para después de algunos meses trasplantarlas como plántulas en claros del bosque. Suponga que estas medidas son capaces de aumentar la tasa de sobrevivencia de las plántulas hasta 80 por ciento. El impacto de estas iniciativas de manejo se muestra en la figura 4.3 para la producción total de frutos y el volumen total de madera de troncos en la población. Después de un retraso de cinco años, la población manejada comienza a distinguirse de la población original en su productividad, y se incrementa exponencialmente por varios años antes de nivelarse (lo último no se muestra en las figuras). Ciertamente se deberían seguir iniciativas de manejo de este tipo.

En nuestro modelo, se supone que todos los parámetros de entrada permanecen constantes durante el desarrollo hacia el equilibrio y después de alcanzarlo. No obstante, existen casos en los cuales el equilibrio predicho es hipotético, el cual en la realidad nunca se alcanzará. La razón es que en la naturaleza existen procesos de retroalimentación entre los parámetros que determinan el equilibrio de la población. Por ejemplo, si se predice un incremento de la densidad de árboles adultos, se llegará a un punto en que físicamente ya no existe espacio suficiente para acomodar la cantidad de árboles que predice el modelo. Además, a una densidad muy alta podría ser imposible prevenir ataques de plagas, y la mortalidad de los árboles en uno o varios estadios aumentaría inevitablemente.

Otra iniciativa de manejo sobre la población arbórea podría ser cosechando la madera, por ejemplo talando todos los árboles del estadio nueve (adultos IV). Esto disminuiría a cero la tasa de sobrevivencia de estos árboles. Los impactos de este manejo también se muestran en la figura 4.3, en términos de la producción total de frutos y del volumen total de madera. Se puede observar que la población completa llega a un equilibrio con un número de árboles por debajo del original.

LA EXTINCIÓN A PARTIR DE LA FALTA DE REPRODUCCIÓN

Cuando la población se encuentra en estado de equilibrio, se puede cosechar anualmente todo el excedente de semillas, es decir, todas aquellas que no son necesarias para compensar el número de plántulas que se mueren o que pasan al siguiente estadio de desarrollo. En el modelo se utilizan 8,581 semillas reproductivas cada año para obtener en el futuro una población estable y en equilibrio. La población en equilibrio produce anualmente un promedio de 8,581 + 1,000 = 9,581 semillas, por lo que existe un excedente de 1,000 semillas, las cuales se pueden cosechar. Sin embargo, esto supone que después de cosechar los frutos con las semillas excedentes, las semillas restantes requeridas para la reproducción no son recolectadas en mayor grado por animales. Es importante destacar que la extracción de frutos puede suprimir las poblaciones de animales silvestres deseables que viven primordialmente de ellos.

En un bosque en el que se maneja el establecimiento de nuevos árboles, el número de semillas necesarias será mucho menor que el que se requiere en un bosque sin manejo, porque el forestal protegerá a las plántulas valiosas, y de esta manera la tasa de sobrevivencia de estas plantas será más alta. En cualquier caso, con restablecimiento natural o manejado, es esencial registrar la reproducción de los árboles y asegurar la regeneración exitosa del bosque (véase Peters, 1994).

La planeación a largo plazo, a través de varias generaciones humanas, es un prerrequisito

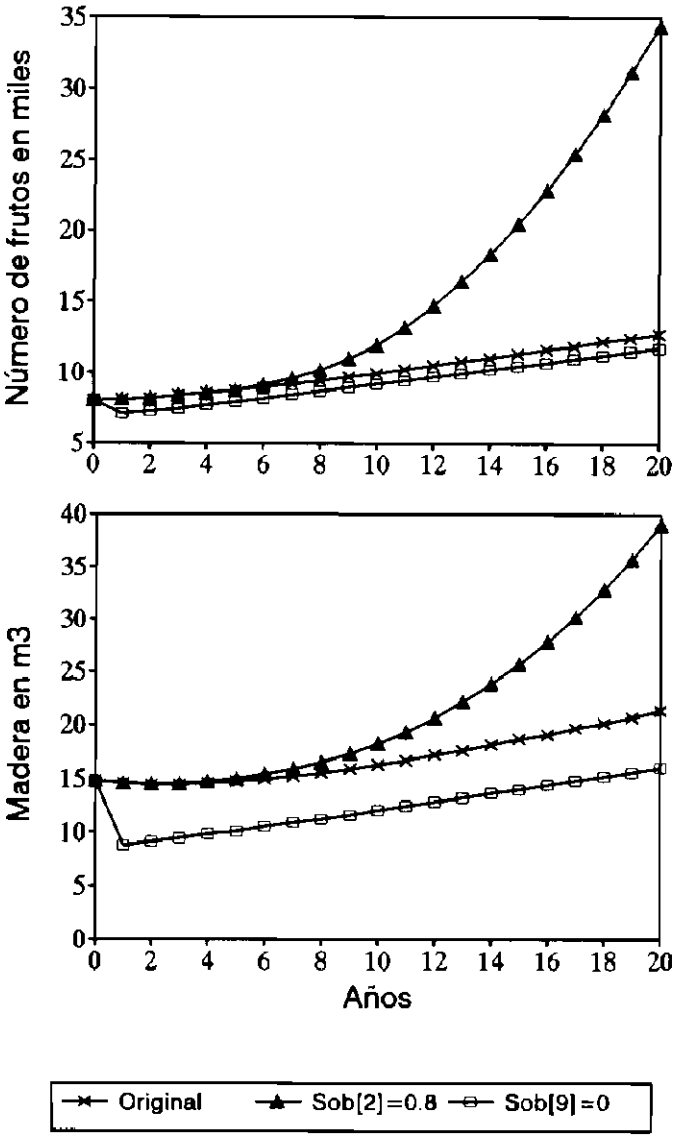


Figura 4.3. Desarrollo de la producción total de frutos y del volumen de madera de tronco bajo manejo en la población de *Grias peruviana*. En un escenario hipotético, la tasa de sobrevivencia de las plántulas ha sido aumentada por el forestal a *Sur[2]*= 0.8, o sea en un 80 por ciento; en el otro escenario, todos los árboles en el estadio nueve siempre se talan para utilizar la madera (*Sur[9]* = 0).

para la cosecha de productos forestales y para el manejo forestal en general.Esto se puede ver en el siguiente ejemplo. La cosecha de todas las semillas disponibles en todos los años conducirá a la extinción de la población de árboles (excepto si los árboles ya establecidos se reproducen vegetativamente, como con rebrotes).[28] Sin embargo, la población de árboles se aproxima lentamente a la extinción: en el modelo toma 208 años para que el último árbol muera (en el proceso la estructura de la población nunca es estable, por lo que el tiempo tarda más que los 125.3 años proyectados para un árbol en el cuadro 4.3). El desarrollo de la población en este caso se presenta en la figura 4.4. Observe que la extinción sucede desde los es-

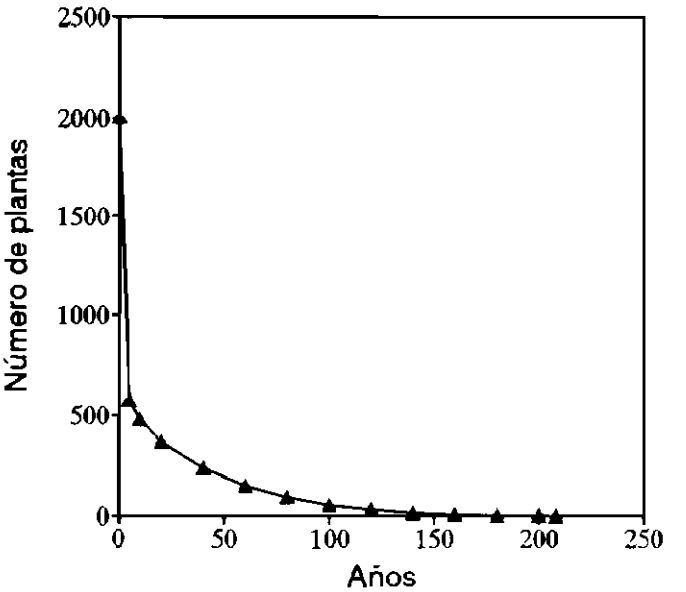


Figura 4.4. Modelación de la población de *Grias peruviana* hacia la extinción. La entrada de semillas (*Núm [1]*) es cero, dado que todas las semillas producidas en cada año se cosechan.

[28] En varias especies arbóreas existe la reproducción vegetal mediante el desarrollo de nuevos troncos a partir de raíces y de troncos ya existentes; estos nuevos troncos, que representan clones genéticos, se denominan *rebrotes* ("sprouts" en inglés).

tadios bajos hasta los altos, es decir, primero se extinguen los estadios jóvenes. Durante un largo lapso, el observador casual notaría todavía la presencia de los árboles maduros, y concluiría erróneamente que la población está sana.

4.3 CURVAS DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

Generalmente, las curvas de crecimiento de los árboles se refieren al crecimiento en el volumen, diámetro o altura del tronco, en función de la edad del árbol. En monocultivos de árboles maderables, las curvas de crecimiento se reportan como *tablas de rendimiento* ("yield tables" en inglés), en términos del volumen de madera producida por hectárea bajo cierta calidad de sitio, la que en gran parte depende del suelo y del clima. Los forestales han cuantificado la calidad de sitio con un *índice de sitio*, que es la altura de una cierta especie arbórea depués de cierto número de años (25, 50 ó 100 años; véase Avery y Burkhart, 1983).

Las curvas de crecimiento de árboles se han analizado primordialmente en bosques templados; se han acumulado relativamente pocos datos para bosques tropicales. Lo anterior se debe a la dificultad de estimar la edad de la mayor parte de los árboles tropicales. La mayoría de los árboles de clima templado presenta *anillos anuales de crecimiento* en su madera: estos anillos reflejan un crecimiento rápido en primavera y verano, y lento o nulo en otoño e invierno. A partir de un corte (o viruta)[29] transversal del tronco, los anillos son evidentes de modo que se puede "leer" la edad y aun el patrón de crecimiento que el árbol ha tenido a lo largo de hasta varios siglos. En los trópicos húmedos las estaciones son mucho menos pronunciadas, por lo que en general las maderas no muestran de un año a otro, anillos con un patrón confiable. A pesar de estas diferencias, la forma básica de la curva de crecimiento del volumen es la misma en bosques templados y tropicales. La forma será importante para el análisis económico en el apartado 5.3, en el que utilizaremos una función de crecimiento mostrada en el presente apartado. No obstante, antes de analizar las curvas de crecimiento del volumen, vamos a examinar los aspectos prácticos para medir los troncos de árboles.

MEDICIÓN DE TRONCOS DE ÁRBOLES

En términos prácticos para cosechar madera, los troncos de los árboles tienen una forma de *cono truncado* con una base ancha que se afila hacia la punta; este modelo sirve para estimar el volumen del tronco. La figura 4.5 muestra esta forma. La fórmula para calcular el *volumen de un cono truncado* es la siguiente:

$$V = [1/12][\pi][a][(D^2 + (D)(d) + d^2]$$

en que π = 3.141593

a = altura del tronco (truncado)

D = diámetro inferior del tronco

d = diámetro superior del tronco; observe, que si d es 0, la fórmula se simplifica y resulta para un cono normal (no-truncado):

$$V = [1/12][\pi][a][D^2]$$

En cuanto a la cosecha de madera, estamos frecuentemente más interesados en la cantidad de tablas rectangulares que se pueden cortar del tronco que en el volumen exacto del árbol en pie. Por lo tanto, los forestales hablan generalmente del número de pies-tabla, los cuales

[29] Existen herramientas especiales para sacar *virutas* transversales, es decir, una prueba de madera en forma cilíndrica de unos milímetros de diámetro.

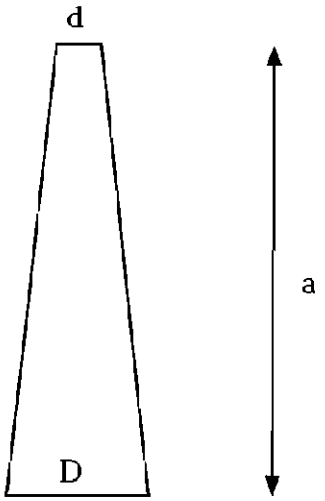


Figura 4.5. Forma de cono truncado para modelar troncos de árboles: *d* = diámetro superior del tronco truncado; *D* = diámetro inferior del tronco truncado; *a* = altura del tronco truncado.

se pueden cortar de un tronco. Un *pie-tabla* es un volumen rectangular del tamaño siguiente:

$$(1 \text{ pie})(1 \text{ pie})(1 \text{ pulgada}) = (1/12) \text{ pie}^3$$

o en unidades métricas

$$(2.54 \text{ cm})(30.48 \text{ cm})(30.48 \text{ cm}) = 2359.7 \text{ cm}^3 = 0.0023597 \text{ m}^3$$

El volumen en pies-tabla será más pequeño que el volumen actual del tronco redondo, porque una parte de la madera se pierde por merma o desperdicio. No es fácil determinar cuántos pies-tablas se pueden obtener de un tronco, especialmente cuando los troncos no son derechos y tienen una forma irregular. El volumen aprovechado del tronco en pies-tabla resulta ser frecuentemente menos de 60 por ciento de su volumen total (se habla del *coeficiente de recuperación* o "lumber recovery rate" en inglés).

Los resultados más exactos de *mediciones de alturas de troncos* todavía se obtienen subiendo al árbol con una cinta métrica. Sin embargo, frecuentemente esto resulta ser peligroso, inconveniente y/o imposible, así que se han desarrollado instrumentos para tomar mediciones desde el nivel del suelo. El instrumento más barato es el *clinómetro,*[30] el cual sólo mide el ángulo en relación con un punto distante, por encima o por debajo de la horizontal (véase la figura 4.6). Los *relascopios* son más sofisticados y pueden también medir distancias y diámetros del tronco en su parte superior desde el nivel del suelo. Una mejor exactitud y precisión[31] se puede lograr usando los *dendrómetros ópticos de Barr & Stroud* (sin embargo, difíciles de obtener) y los *transits* (únicamente para medir alturas).

La figura 4.6 muestra el método para medir alturas desde el nivel del suelo con un clinómetro. La altura por arriba de la horizontal se determina geométricamente, utilizando la distancia *Di* (desde el eje central del árbol hasta el punto de medición) y el ángulo α_1 mediante la fórmula $A_1 = (Di)(\tan[\alpha_1])$. De manera similar, la altura por debajo de la horizontal es $A_2 = (Di)(\tan[\alpha_2])$. Las dos alturas se tienen que sumar para obtener la altura total *A*:

[30] En la medición de la altura de los árboles (necesarios para calcular el volumen del tronco) y en la medición de la distancia que hay entre los márgenes de la copa y los centros del tronco (véase el apartado 4.4), utilizamos un clinómetro Suunto, de Forestry Suppliers, Inc., P.O. Box 8397, Jackson, MS 39284-8397, Estados Unidos.

[31] *Exactitud* se refiere a proporcionar el valor verdadero; *precisión* se refiere a proporcionar consistentemente el mismo valor.

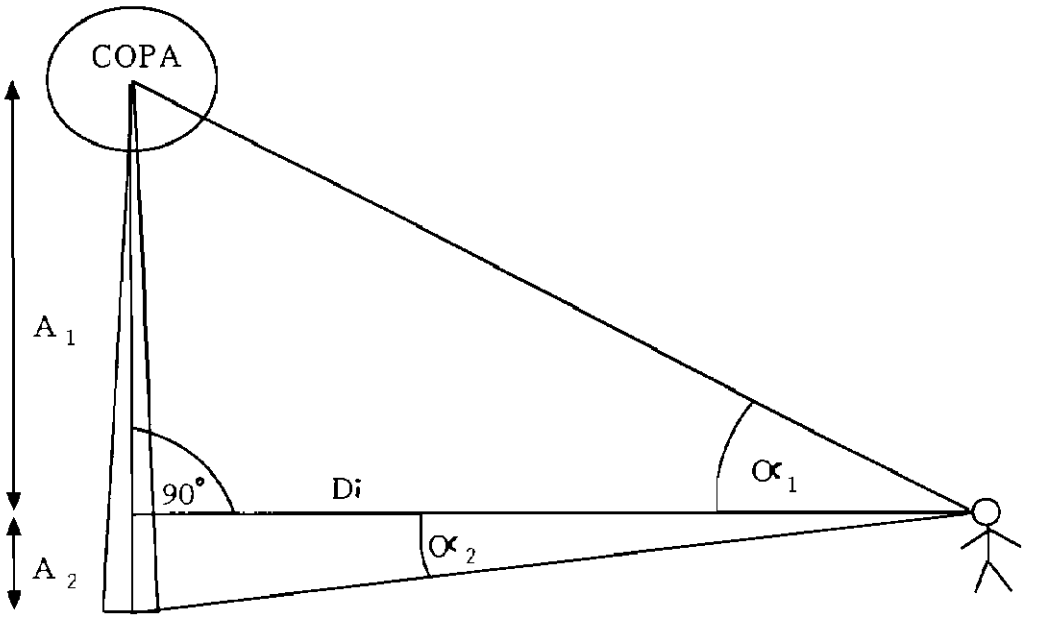


Figura 4.6. Medición de la altura de un tronco con un clinómetro: A_1 = altura por encima de la horizontal hasta cualquier punto (no necesariamente hasta la punta del árbol); A_2 = altura por debajo de la horizontal hasta cualquier punto (no necesariamente hasta el suelo); Di = distancia desde el eje central del árbol hasta el punto de medición; α_1 = ángulo por encima de la horizontal hacia el punto de medición; α_2 = ángulo por debajo de la horizontal hacia el punto de medición.

$$A = A_1 + A_2$$
$$= (Di)(\tan[\alpha_1]) + (Di)(\tan[\alpha_2])$$
$$A = (Di)(\tan[\alpha_1] + \tan[\alpha_2])$$

Por ejemplo, si la distancia es 20 metros, α_1= 36° y α_2 = 5°, entonces A = (20)(tan[36°] + tan[5°]) metros = 16 metros.

El método se vuelve muy inexacto cuando la distancia *Di* es menor que la altura *A*. Ese problema se analiza en el cuadro 4.5. Pueden surgir otros problemas cuando el árbol está inclinado, partido en dos troncos, sin una punta evidente del tronco o localizado en una pendiente muy inclinada. Dependiendo del objetivo de la medición puede ser de utilidad en casos así hacer un bosquejo de la forma y posición del árbol durante el trabajo de campo, y hacer unas cuantas mediciones extras (por ejemplo, medir ambas partes en caso de un tronco partido).

El *diámetro del tronco* se deduce mejor a partir de la circunferencia. Aunque existen instrumentos llamados *vernier* que miden el diámetro de manera directa,con frecuencia los árboles no son completamente redondos, y el diámetro de un mismo árbol difiere dependiendo del lado sobre el cual se tomó la medición. La medición de la circunferencia con una cinta plástica (que es inoxidable) promedia las irregularidades del diámetro, y con frecuencia es preferible así.

El diámetro *d* se calcula a partir de la circunferencia *c*:

$$d = c/\pi$$

Para comparar los troncos de árboles, comúnmente se mide el diámetro a la altura del pecho (= DAP; en 1.3 metros).

En árboles tropicales, los contrafuertes frecuentemente impiden medir el DAP directa-

CUADRO 4.5 Recomendaciones para medir la altura de árboles desde el nivel del suelo

La figura 4.6 muestra que mientras más alejada esté la persona al realizar la medición, menor será el ángulo (α_1 o α_2). Un error en la medición de por ejemplo 1° dará como resultado un pequeño error en la altura desde una distancia alejada (*Di* es larga, α_1 o α_2 pequeño) pero un gran error de la altura desde una distancia corta (*Di* es corta, α_1 o α_2 largo). Mientras mayor sea la distancia *Di*, más exacta será la medición de la altura. Como regla de campo, la distancia deberá ser tal, que el ángulo medido esté por debajo de 45°.

En los bosques tropicales (particularmente los naturales) las copas de los árboles son densas, y en consecuencia, es difícil y hasta imposible medirlas desde una gran distancia. Para árboles que no son demasiado grandes, a veces ayuda si una persona "agita" el tronco, para que la persona que mida, pueda observar la copa al moverse y distinguirla en el dosel. No obstante, en algunos casos se tiene que medir el ángulo desde una distancia relativamente corta, por la cual el método se vuelve muy inexacto. En estos casos, se debería medir un ángulo mínimo y uno máximo que incluyan el ángulo verdadero. Esto permite calcular un ámbito en el cual se encuentra la verdadera altura. Es también de utilidad, realizar los cálculos de la altura en el campo y comparar el resultado con una estimación cruda al observar el árbol, o mejor comparar el árbol con un palo de longitud conocida. Esto evitará tener valores completamente irrealistas.

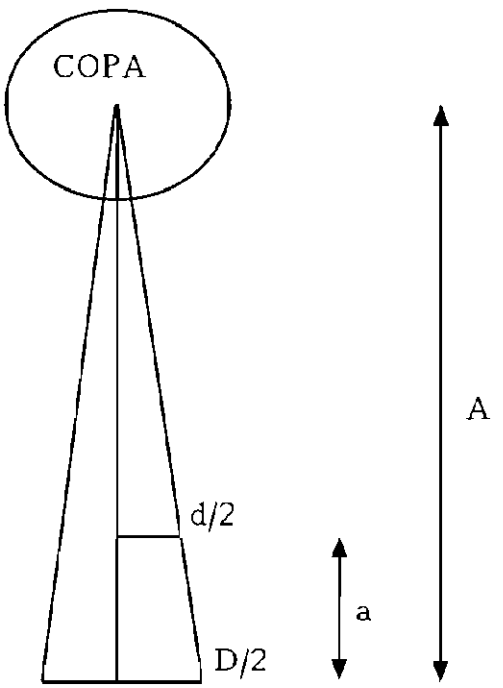


Figura 4.7. Medición de diámetros de troncos de manera indirecta: *D* = diámetro deseado; *d* = diámetro más arriba que se puede medir bien; *A* = altura entre el punto de medición para *D* y la punta del árbol; *a* = altura entre el punto de medición para *D* y el punto de medición para *d*.

mente. También, para el cálculo del volumen nos interesa obtener el diámetro en la base del tronco. El diámetro o la circunferencia de la base es difícil de medir porque con frecuencia se "pierde" entre raíces superficiales, contrafuertes, una forma de tronco irregular y vegetación. En estos casos, podemos deducir el diámetro a partir de una medida tomada en un punto más alto del tronco, donde su forma sea regular. Si *A*, *a*, y *d* se han medido como se muestra en la figura 4.7, entonces:

$$(d/2)\ /(D/2) = (A - a)\ /A$$
$$D = (d)(A)\ /(A - a)$$

Por ejemplo, si $A = 20$ metros, $a = 1.5$ metros y $d = 1.00$ metros, entonces $D = (1.00)(20)\ /\ (20 - 1.5)$ metros = 1.08 metros.

Para medir el *crecimiento de los diámetros, alturas y/o de volúmenes de troncos* es necesario obtener por lo menos dos mediciones al principio y al final de un periodo de tiempo. Normalmente, se utiliza por lo menos un año para el crecimiento del diámetro, y de tres a cinco años para el crecimiento de la altura y del volumen de árboles grandes (donde "grande"

significa que no se puede medir la altura con una regla de medición). El crecimiento de la altura de plántulas y de árboles pequeños se puede medir también durante un año, por ejemplo cada mes.

Las mediciones del crecimiento del diámetro son más exactas si se utiliza un cinturón extensible de aluminio, fijo a una cierta altura del tronco (pero con riesgo de robo). El crecimiento se mide como la expansión del cinturón a través de un periodo. Un método menos sofisticado es marcar o pintar el lugar de la primera medición, con el fin de obtener la segunda medición del diámetro exactamente a la misma altura que la primera. Mediciones subsecuentes de diámetros se deberían hacer a la misma altura del árbol para medir la diferencia debido al crecimiento y no a la variación de la forma del tronco. Un método que puede medir incrementos del diámetro en micrómetros en un punto del tronco es el método del alfiler ("pinning method" en inglés), para el cual se necesita un microscopio y un pequeño laboratorio (véase Kuroda y Shimaji, 1984). Zeide (1989) analizó ecuaciones matemáticas que describen el crecimientro del diámetro de los troncos.

Para el análisis estadístico de datos, véase Sokal y Rohlf (1995; junto con Rohlf y Sokal, 1995). Para más información acerca de mediciones del volumen y crecimiento de árboles en sistemas forestales, véase Avery y Burkhart (1983).

DESCRIPCIÓN DE UNA CURVA DEL CRECIMIENTO DE VOLUMEN A TRAVÉS DE UNA REGRESIÓN CURVILINEAL

Pseudotsuga menziesii (Mirbel) Franco ("Douglas fir"; Pinaceae) es una especie arbórea de un tamaño impresionante que domina el paisaje del noroeste de Estados Unidos y del suroeste de Canadá, e incluso llega en su distribución al

CUADRO 4.6. **Predicción de la curva de crecimiento del volumen de un árbol de *Pseudotsuga menziesii* en el noroeste de Estados Unidos** [1]

Edad (p) años	*Volumen (V_p) m^3 /árbol*	*Predicción m^3 /árbol*	*Diferencia m^3 /árbol*
40	0.80	0.74	-0.06
50	2.19	2.30	0.11
60	4.21	4.19	-0.02
70	6.22	6.18	-0.04
80	8.07	8.07	0.00
90	9.72	9.73	0.01
100	11.10	11.11	0.01
110	12.26	12.26	0.00
120	13.25	13.24	-0.01
130	14.14	14.13	-0.01
140	14.93	14.94	0.01
150	15.65	15.64	-0.01
160	16.33	16.32	-0.01

[1] Las dos primeras columnas contienen datos según Avery y Burkhart (1983).

norte de México. En 1985 se taló un espécimen que medía 133 metros de altura en 1895 en British Columbia, Canadá (Mabberley, 1989).

Las primeras dos columnas del cuadro 4.6 muestran datos del crecimiento del volumen del tronco de un árbol promedio de *Pseudotsuga menziesii* en un lugar de calidad intermedia (datos según Avery y Burkhart, 1983; datos originales de McArdle *et al.*, 1961). Obsérvese que los datos mostrados son para un árbol individual y no para un área de bosque con un monocultivo.

Deseamos describir el crecimiento de manera explícita con una ecuación de crecimiento en lugar de con puntos en el tiempo. Una ecuación de ese tipo será necesaria para la optimización económica del ciclo de la cosecha (apartado 5.3). Para obtener una ecuación así, se tiene que llevar a cabo una regresión curvilineal. Las técnicas de regresión son herramientas poderosas en ecología y economía, porque permiten convertir datos empíricos en ecuaciones matemáticas; además, hacen posible examinar una situación donde uno o varios factores tienen un impacto sobre el resultado, y analizar la importancia relativa de cada factor. Los conceptos básicos de regresión se explican brevemente en el cuadro 4.7.

Al realizar una regresión curvilineal del volumen del tronco en función de la edad del árbol (datos del cuadro 4.6) con un programa estadístico por computadora, se tiene como resultado la siguiente ecuación, que representa un polinomio:

$$\begin{aligned} V_p = & -8.7787 \\ & + (2.5029)(10^{-1})(p) \\ & - (4.3724)(10^{-4})(p^2) \\ & - (9.5280)(10^{-7})(p^3) \end{aligned}$$

$40 \leq p \leq 160$

$R^2 = 0.9997$

en que

V_p = volumen esperado de madera de un tronco arbóreo promedio en metros cúbicos

p = periodo de crecimiento, o edad del árbol, en años

Esta ecuación es simplemente una buena descripción matemática de la curva de crecimiento, la cual es específica para la especie y el sitio, y se derivó de los datos del cuadro 4.6. La ecuación es válida únicamente entre los límites para los cuales se derivó, aquí entre $p = 40$ y $p = 160$. Las predicciones hechas a partir de esta ecuación para diferentes edades se muestran en la columna 3 del cuadro 4.6. Los datos del cuadro 4.6 se grafican en la figura 4.8. Como se puede observar, la ecuación de regresión tiene un buen ajuste entre las edades del árbol que van de los 40 a los 160 años.

La regresión curvilineal no es una técnica directa en el sentido de que no existe solamente un resultado correcto; puede haber varias ecuaciones similares (aunque nunca exactamente iguales) que se ajusten a los datos originales. Mediante el incremento del número de términos en el polinomio se logra un ajuste cada vez más exacto. La siguiente ecuación de regresión tiene un ajuste tan exacto entre los años 40 y 160, que en una gráfica de la misma casi no se puede distinguir la curva original de aquella de regresión:

$$\begin{aligned} V_p = & -1.0910 \\ & + (1.9282)(10^{-6})(p^4) \\ & - (4.3525)(10^{-8})(p^5) \\ & + (3.9079)(10^{-10})(p^6) \\ & - (1.6199)(10^{-12})(p^7) \\ & + (2.5837)(10^{-15})(p^6) \end{aligned}$$

$40 \leq p \leq 160$

$R^2 = 0.999990$

La diferencia entre las dos ecuaciones de regresión que tratan de describir la misma curva de crecimiento es una desigualdad en los modelos subyacentes de regresión. En primer lugar, se

CUADRO 4.7. Introducción a la regresión estadística

En la ciencia forestal, la biología y las ciencias en general, frecuentemente se enfrenta una situación en que se dispone de datos para dos o más variables (por ejemplo, volumen del tronco y edad de un árbol) y una es dependiente de la(s) otra(s). Se quiere expresar esa relación de manera explícita mediante una ecuación matemática Y = función (X_1, X_2...X_n). La regresión[1] calcula una ecuación representando una línea recta o una curva que se ajusta de manera óptima dentro de una "nube" de datos. Mientras que los datos típicamente incluyen un componente de variación aleatorio, la función matemática deberá ser tal que la desviación de cualquier dato sea lo más pequeña posible del valor pronosticado por la ecuación. Una regresión estadística deriva esta ecuación matemática óptima de regresión (véanse las figuras 4.9 o 2.9 como ejemplos).

Una regresión lineal de dos variables ajusta una línea recta a los datos, causando que las distancias entre todos los datos y sus puntos más cerca en la línea recta se minimicen. Una línea recta se puede expresar matemáticamente mediante la ecuación $Y = a + (b)(X)$, en que a es la intersección con el eje-Y y b (el coeficiente de X) es la pendiente. Se supone que los datos están distribuidos normalmente alrededor de la línea, por lo que la línea en sí representa la verdadera relación entre X y Y. Así, cualquier punto Y se puede predecir desde una X dada.

Una regresión lineal múltiple traza óptimamente una línea recta a través de los datos en un espacio tri o hiperdimensional, es decir, Y se explica por múltiples variables X_1, X_2 ... X_n. La ecuación de regresión en ese caso es $Y = a + (b_1)(X_1) + (b_2)(X_2) + ... + (b_n)(X_n)$.

Una de las herramientas más importantes en el análisis de regresión es la transformación de las variables para obtener linealidad. Una de las transformaciones más comunes es tomar el logaritmo de una o varias variables (por lo general el logaritmo natural ["Ln"; base de e], aunque para la linealidad no importa cuál sea). Una ecuación simple de regresión después de la transformación podría ser:

$$Ln[Y] = a + (b)(Ln[X])$$

la cual después de llevar a cabo la regresión se puede transformar en:

$$Y = e^{a + (b)(Ln[X])}$$

Esta ecuación representa una curva, en lugar de una línea recta. Graficar los datos transformados ayuda a visualizar, si después de la transformación éstos representan una línea recta.

Si no se puede encontrar ninguna transformación para lograr la linealidad, entonces se puede realizar una regresión curvilineal. Una regresión curvilineal bidimensional explica a Y únicamente por una variable X, pero utiliza el método de la regresión lineal múltiple para trazar una curva a través de los datos. Explica Y por medio de una ecuación del tipo $Y = a + (b_1)(X) + (b_2)(X^2) + ... + (b_n)(X^n)$, en que el número de coeficientes se tiene que escoger, mientras la computación calcula todos los coeficientes a, b_1 ... b_n.

Las regresiones contienen cálculos simples aunque largos, y en consecuencia deberían realizarse por computadora con un programa estadístico. Las regresiones lineales bidimensionales se pueden llevar a cabo por algunas calculadoras de mano o programas de hoja de cálculo.

A una ecuación de regresión, como $Y = a + (b)(X)$ se denomina *modelo de regresión*. Un modelo de regresión se ajusta a los datos mejor o peor que otros. El grado de ajuste a los datos se expresa generalmente por el coeficiente de determinación R^2, que varía entre 0 y 1; en 0 no hay ninguna relación entre la variable independiente X y la variable explicada Y, mientras que en 1 existe una perfecta relación, descrita por la ecuación de regresión (es decir, todos los datos se encuentran exactamente sobre la curva trazada).

Usualmente, para regresiones lineales se deberían calcular intervalos de confianza o alternativamente realizar una prueba de significancia para asegurar que la pendiente es distinta de cero (es decir, la ecuación de regresión explica parte de la variación de la variable explicada Y). Esto último evita la malinterpretación de variación aleatoria en los datos como una subyacente relación determinada.

Esta introducción a las técnicas de regresión es muy corta. Para una descripción más completa, recomendamos al lector consultar a Sokal y Rohlf (1995) y para un enfoque en la biometría, Maddala (1992) para un enfoque en la econometría, o un texto introductorio a la regresión en general.

[1] El término "regression" lo utilizó por primera vez Sir Francis Galton (1822-1911, Inglaterra), quien estudió las alturas de los padres y sus hijos (Maddala, 1992).

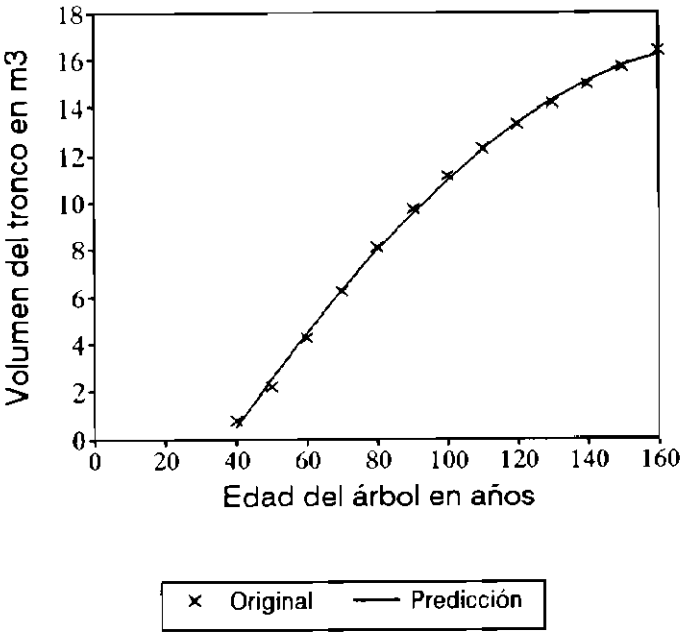


Figura 4.8. Volumen V_p del tronco medido y predicho a la edad p de un árbol promedio de *Pseudotsuga menziesii* del noroeste de Estados Unidos, en un sitio de calidad intermedia. La regresión curvilineal sobre los datos originales resultó en la siguiente ecuación de predicción: $V_p = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)$ para $40 \leq p \leq 160$; $R^2 = 0.9997$.

utilizó el modelo de regresión con cuatro términos en el polinomio: $V_p = a + (b_1)(p) + (b_2)(p^2) + (b_3)(p^3)$, en que por ejemplo b_1 era $(2.5029)(10^{-1})$. El segundo modelo de regresión fue diferente, porque tenía seis términos en el polinomio: $V_p = a + (b_4)(p^4) + (b_5)(p^5) + (b_6)(p^6) + (b_7)(p^7) + (b_8)(p^8)$. Para nuestros propósitos no necesitamos la exactitud tan alta del segundo modelo, dado que los datos originales ya representan en sí valores promedios de volúmenes variables; además, estas ecuaciones de regresión largas se vuelven muy tediosas como para ser utilizadas en los cálculos económicos mostrados en el apartado 5.3.

La figura 4.8 permite hacer una observación fundamental.

Mientras que el aumento del volumen al paso del tiempo varía de acuerdo con la especie involucrada y la calidad del sitio, la forma básica de la curva volumen-edad siempre será sigmoidea (forma de S), ya sea que se trate de un árbol individual o de todo un bosque.

La forma es sigmoidea porque un nuevo árbol (o bosque) comenzará con cero crecimiento y casi cero volumen en el estadio de semilla, pasará por un periodo de crecimiento acelerado, y finalmente se nivelará a casi cero crecimiento y alto volumen en el estadio de crecimiento viejo. Un árbol individual podría crecer como plántula y tener un tiempo prolongado de espera, antes de continuar su crecimiento dentro del dosel; la forma de la curva de crecimiento en ese caso será una curva doble sigmoidea (= dos curvas-S unidas). No nos ocuparemos de este fenómeno, porque el forestal trataría de evitar dichos periodos de espera en especies arbóreas deseadas, al proporcionarles suficiente influjo de luz solar y al reducir la competencia con otros árboles.

La forma sigmoidea de la curva de crecimiento es de importancia crucial en el manejo forestal. Cabe señalar que, hasta cierto punto, la tala de árboles estimula el crecimiento del bosque, porque se coloca al bosque en un estadio más temprano en la curva de crecimiento, donde la tasa de crecimiento es más alta. Al abrir el dosel, la luz solar añadida causa que los árboles en estadios más jóvenes empiecen un crecimiento rápido, mientras que la luz solar sobre los árboles viejos del dosel permite que sobrevivan pero no que crezcan significativamente.

4.4 ENRIQUECIMIENTO DEL BOSQUE NATURAL CON ESPECIES VALIOSAS

Una de las alternativas principales para el manejo del bosque consiste en manipular la abundancia de las especies en el bosque natu-

ral. En última instancia, se eligirá la estrategia que cambia la composición del bosque al considerar aspectos económicos (véase el apartado 5.6); sin embargo, antes se necesita conocer hasta qué grado se puede modificar la abundancia de los árboles en cuestión, y qué efectos resultan sobre la producción.

El *enriquecimiento* consiste en talar árboles de especies menos deseadas y en su lugar plantar y sostener árboles de especies más valiosas. Aún no se han examinado lo suficiente las plantaciones de enriquecimiento; el concepto se menciona en algunos libros sobre técnicas forestales (véase Panayotou y Ashton, 1992; Matthews, 1989; Wyatt-Smith *et al.*, 1963). En Veracruz (México), se ha mostrado que es exitosa para las especies *Brosimum alicastrum* Sw. ("ojoche"; Moraceae) y *Cordia alliodora* ("suchil") (Ramos y del Amo, 1992). En el sureste de México se han cultivado especies frutales en huertos, por ejemplo *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn ("mamey"; Sapotaceae) (Álvarez *et al.*, 1989). El concepto de las plantaciones de enriquecimiento merece más atención, en particular en los trópicos porque combina un aumento del valor del bosque con un manejo de nodrizo, en el cual los grandes árboles resguardan a las plántulas contra el sol excesivo, el viento y la erosión del suelo (véase Ashton *et al.*, 1992; Smith, 1986).

UN INVENTARIO DE ÁRBOLES EN LOS TUXTLAS (VERACRUZ, MÉXICO)

Uno de los autores de este libro (M. Ricker) realizó un inventario forestal en una hectárea del bosque húmedo tropical en la estación de investigación "Los Tuxtlas" en la región de Catemaco en Veracruz, México.[32] Se marcaron cuatro parcelas de un cuarto de hectárea cada una, en una distancia de menos de un kilómetro. Se etiquetó y numeró cada árbol con un diámetro (DAP) de por lo menos 10 centímetros. Ya anteriormente existían resultados de un inventario florístico de la región (Ibarra-Manríquez y Sinaca, 1996a, 1996b, 1995); en consecuencia fue posible la identificación de los nombres científicos mediante la distinción de los nombres comunes. Esto permitió conocer las especies inmediatamente, lo que hubiera sido imposible en un bosque no estudiado taxonómicamente. Todas las especies, sus familias vegetales, sus nombres comunes y sus usos se enlistan por orden alfabético en el cuadro 4.8.

En el inventario de árboles en las cuatro parcelas de bosque que representan una hectárea, se encontraron 76 especies arbóreas (DAP ≥ 10 centímetros). De estas 76 especies, 11 producen frutos comestibles y 43 son de interés por su madera (véase el cuadro 4.8). Además de las especies enlistadas en el cuadro 4.8, una pequeña palma (DAP < 10 centímetros) —*Astrocaryum mexicanum* — era abundante en la hectárea, y de interés comercial por sus inflorescencias comestibles.

Pocas especies se restringen solamente a la región de Los Tuxtlas, aunque se encontraron algunas: *Pouteria rhynchocarpa* probablemente sólo existe en esta región (Pennington, 1990). Se pensó que *Amphitecna tuxtlensis* era endémica en la región, pero recientemente se encontró en Oaxaca (comunicación personal de G. Ibarra-Manríquez, herbario MEXU, Universidad Nacional Autónoma de México, 1993).

En las cuatro parcelas en conjunto (= una hectárea) se encontraron 461 árboles (DAP ≥ 10 centímetros). El cuadro 4.9 contiene el número absoluto de árboles de cada especie en la hec-

[32] La investigación todavía está en proceso y no ha sido publicada.

tárea, así como el número para cada una de las cuatro parcelas.

Las especies más abundantes en la hectárea fueron *Pseudolmedia oxyphyllaria* (77 árboles o 17 por ciento de los 461), *Faramea occidentalis* (26 árboles o 6 por ciento), *Nectandra ambigens* (24 árboles o 5 por ciento) y *Guamia* sp. (22 árboles o 5 por ciento). Por otro lado, 25 de las 76 especies fueron representadas por un solo árbol y 11 de ellas fueron representadas por dos. Este tipo de patrón de abundancia —algunas especies representadas en gran abundancia y la mayoría de las especies representadas solamente por uno a tres árboles en una hectárea— es común en muchos bosques tropicales (véase Terborgh, 1992; Gentry y Terborgh, 1990; Hubbell y Foster, 1990; Boom, 1986; Campbell *et al.*, 1986).

Dentro de la hectárea, las cuatro parcelas difirieron en su composición de especies. Notablemente, el número de árboles de *Pseudolmedia oxyphyllaria* fue alto en todas las parcelas, pero predominó solamente en tres. En la parcela 4, *Faramea occidentalis* mostró la cantidad más alta de árboles; esta especie casi estuvo completamente ausente en las otras tres parcelas. La variación de la composición de especies sobre una distancia corta apoya la idea de que se puede manipular la composición del bosque hasta cierto grado sin impedimento ecológico.

ANÁLISIS DEL ÁREA DE LA COPA

La mayoría de los bosques maduros tienen saturada su área de copa disponible, así que los nuevos árboles sólo pueden crecer si se abre el dosel para permitir más penetración de luz (véase Ashton, 1992; Oliver y Larson, 1990; Martínez-Ramos, 1985). Por lo tanto, resulta de interés analizar las posibilidades para abrir el área que ocupan las copas. Investigamos esto en la parcela 2 (un cuarto de hectárea). En este bosque las copas formaron un dosel a tal grado, que las copas fueron limitadas en su área por las copas vecinas. En general, talar un árbol con un área determinada de copa hará posible que crezca otro árbol en ese claro hasta que obtenga un tamaño de copa similar a la del árbol precedente.

Para calcular aproximadamente el tamaño de la copa, se midió la distancia entre el margen de ésta y el centro del tronco, en las cuatro direcciones cardinales. La persona que mide va en una dirección cardinal utilizando una brújula y una cinta métrica, hasta la distancia del tronco en que se encuentra el margen de la copa. El margen se detecta con exactitud al utilizar un clinómetro, viendo por ello para arriba con un ángulo de 90°. Con el fin de obtener los diámetros de la copa, para cada árbol se agregan las distancias medidas hacia el este y el oeste, así como hacia el norte y el sur. El área de la copa de cada árbol se calcula como una elipse al utilizar la fórmula siguiente:

$$\text{(área de la copa)} = (0.5)(\text{diámetro este-oeste})(0.5)(\text{diámetro norte-sur})(\pi)$$

$$\text{en que } \pi = 3.141593$$

El cuadro 4.10 muestra los datos del área de copa de cada árbol estudiado en la parcela 2. Cada árbol recibió un código que incluye las dos primeras letras del nombre de la especie y en segundo lugar se asigna un número para cada árbol de la misma especie. Las áreas de copa variaron desde 11 metros cuadrados (con 0 metros cuadrados de St2 como una excepción) hasta 426 metros cuadrados, con un promedio de 75 metros cuadrados.

En la parcela 2 hubo un total de 92 árboles (DAP ≥ 10 centímetros) y un área total de copa de 6,901 metros cuadrados. Las copas frecuentemente se sobrepusieron; esto es obvio, al considerar que el área total de copa es más grande que la superficie de la parcela 2 (2,500 metros cuadrados).

CUADRO 4.8. **Especies de árboles (DAP ≥ 10 centímetros) en una hectárea del bosque en Los Tuxtlas, Veracruz, México**

Especie	*Familia Vegetal*	*Nombre común*[1]	*Uso*[2]
Aegiphila costaricensis Mold.	Verbenaceae	"dagamillo"	M
Allophylus campostachys Radlk.	Sapindaceae	"palo de ratón"	—
Ampelocera hottlei (Standley) Standley	Ulmaceae	"guaya de monte"	F, M
Amphitecna tuxtlensis A. Gentry	Bignoniaceae	"jicarilla"	F
Aphanante monoica (Hemsl.) Leroy	Ulmaceae	"falso guachichile"	M
Aspidosperma megalocarpon Muell. Arg.	Apocynaceae	"nazareno"	M
Brosimum alicastrum Sw.	Moraceae	"ojoche"	F,M
Bursera simaruba (L.) Sarg.	Burseraceae	"palo mulato"	M
Calophyllum brasiliense Cambess.	Guttiferae	"palo de ocú"	M[3]
Cecropia obtusifolia Bertol.	Cecropiaceae	"chancarro"	F
Clarisia biflora Ruiz & Pavón subespecie *mexicana* (Liebm.) W. Burger	Moraceae	"lecherillo"	—
Cordia megalantha Blake	Boraginaceae	"suchil"	M[3]
C. stellifera I.M. Johnston	.....	"palo de nopo"	M[3]
Couepia polyandra (H.B.K.) Rose	Chrysobalanaceae	"olozapote"	F,M
Crataeva tapia L.	Capparaceae	"hoja de Pepe"	—
Croton schiedeanus Schldl.	Euphorbiaceae	"cascarilla"	M
Cupania glabra Sw.	Sapindaceae	"tepesi"	M
Cymbopetalum baillonii R.E. Fries	Annonaceae	"huevo de mono"	—
Dendropanax arboreus (L.) Decne. & Planchón	Araliaceae	"olivo"	—
Dialium guianense (Aublet) Sandw.	Leguminosae - Caesalpinioideae	"paque"	F[4],M
Diospyros digyna Jacq.	Ebenaceae	"zapote negro"	F[4]
Dussia mexicana (Standley) Harms	Leguminosae - Papilionoideae	"palo de burra"	M
Eugenia iniribensis P.E. Sánchez	Myrtaceae	"escorbilla"	M
Faramea occidentalis (L.) A. Rich.	Rubiaceae	"cafecillo"	M[3]
Ficus petenensis Lundell	Moraceae	"amate"	M
F. tecolutensis (Liebm.) Miq.	.....	"amate matapalo"	—
F. yoponensis Desv.	.....	"amate"	—
Genipa americana L.	Rubiaceae	"yuale"	F,M
Guamia sp.[5]	Annonaceae	"colorado"	—
Guarea glabra Vahl "raza *glabra*" & "raza *bijuga*" sensu Pennington	Meliaceae	"cagal"	M
G. grandifolia A.DC.	.....	"sabino"	M[3]
Hampea nutricia Fryx	Malvaceae	"tecolixtle"	—
Jacaratia dolichaula (J.D.Smith) Woodson	Caricaceae	"papaya de monte"	—
Licaria velutina van der Werff (antes *Ocotea dendrodaphne* Mez)	Lauraceae	"laurel babasco"	M[3]
Lippia myriocephala Schldl. & Cham.	Verbenaceae	"cola de gato"	—
Lonchocarpus cruentus Lundell	Leguminosae - Papilionoideae	"rosa morada"	M[3]
L. guatemalensis Benth.	.....	"palo de gusano"	M[3]
Lunania mexicana Brandegee	Flacourtiaceae	"mierda de loro"	M[3]
Maytenus schippii Lundell	Celastraceae	—	—
Mortoniodendron guatemalense Standley &Steyerm.	Tiliaceae	"tronador"	—
Nectandra albiflora Lundell ex Cham.	Lauraceae	"laurel San Martín"	M[3]
N. ambigens (Blake) Allen	.....	"laurel chilpatillo"	M[3]
N. lundellii C. K. Allen	.....	"laurel aguacatillo"	M[3]

CUADRO 4.8. (continuación)

Especie	*Familia Vegetal*	*Nombre común*[1]	*Uso*[2]
Neea psychotrioides J. D. Smith	Nyctaginaceae	—	—
Omphalea oleifera Hemsl.	Euphorbiaceae	"corcho"	—
Orthion oblanceolatum Lundell	Violaceae	"naranjillo"	M[3]
Piper amalago L.	Piperaceae	"canutillo"	—
Pithecellobium aff. *hymenaefolium* (Kunth) Benth.	Leguminosae - Mimosoideae	"muchite"	F
Platymiscium pinnatum (Jacq.) Dugand	Leguminosae - Papilionoideae	"chagane"	M[3]
Pleuranthodendron lindenii (Turcz.) Sleumer	Flacourtiaceae	"catarrita"	M
Poulsenia armata (Miq.) Standley	Moraceae	"abasbabi"	F
Pouteria campechiana (H.B.K.) Baehni	Sapotaceae	"zapote niño"	F
P. rhynchocarpa Pennington	.....	"zapotillo blanco"	—
P. sapota (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	.....	"mamey"	F[4],M[3]
Pseudolmedia oxyphyllaria Donn. Sm.	Moraceae	"tomatillo"	F[4],M
Psychotria chiapensis Standley	Rubiaceae	—	—
P. faxlucens Lorence & Dwyer	.....	—	—
P. simiarum Standley	.....	—	—
Pterocarpus rohrii Vahl	Leguminosae - Papilionoideae	"sangregado"	M[3]
Quararibea funebris (Llave) Vischer	Bombacaceae	"canela"	M
Q. yunckeri Standley subespecie *sessiliflora* Miranda ex Alverson	.....	"canelilla"	M
Rheedia edulis (Seemann) Triana & Planchón	Guttiferae	"limoncillo"	F,M[3]
Rinorea guatemalensis (S. Watson) Bartlett	Violaceae	"botoncillo"	—
Sapindus saponaria L.	Sapindaceae	"jaboncillo"	M
Saurauia yasicae Loes.	Actinidiaceae	"palo de melaza"	—
Sideroxylon portoricense Urban subespecie *minutiflorum* (Pittier) Pennington	Sapotaceae	"pionche"	M[3]
Spondias radlkoferi J.D. Smith	Anacardiaceae	"jobo"	—
Stemmadenia donnell-smithii (Rose ex J.D. Smith) Woodson	Apocynaceae	"huevos de burro"	—
Tapirira mexicana Marchand	Anacardiaceae	"nompi"	M
Tetrorchidium rotundatum Standley	Euphorbiaceae	"amate blanco"	M
Trichilia moschata Sw.	Meliaceae	—	M
Trichospermum mexicanum (DC.) Baillon	Tiliaceae	"guapetate"	—
Trophis mexicana (Liebm.) Bureau in DC.	Moraceae	"ramoncillo"	F
Turpinia occidentalis (Sw.) G. Don subespecie *breviflora* Croat	Staphyleaceae	"zarzafrán"	—
Vatairea lundellii (Standley) Killip ex Record	Leguminosae - Papilionoideae	"palo de picho"	M[3]
Zanthoxylum kellermanii P. Wilson	Rutaceae	"pochote"	M

[1] Se refiere al nombre común en Los Tuxtlas; pueden existir varios nombres comunes,incluso en Los Tuxtlas.
[2] F = fruto comestible, M = madera de calidad útil.
[3] Estas maderas surtirían a una fábrica de muebles en Catemaco, si se tala con un permiso (véase el cuadro 5.15).
[4] Estos frutos se incluyen en el análisis costo-beneficio del cuadro 5.14, porque se obtuvieron precios comerciales.
[5] Ésta es una nueva especie, la cual todavía no está publicada.

CUADRO 4.9. Número de árboles por especie (DAP ≥ 10 centímetros) en una hectárea de bosque en Los Tuxtlas, Veracruz, México

		Parcela (1/4 de hectárea)			
Total	*Especie*	*1*	*2*	*3*	*4*
77	*Pseudolmedia oxyphyllaria*	9	26	27	15
26	*Faramea occidentalis*	1	0	1	24
24	*Nectandra ambigens*	6	4	7	7
22	*Guamia* sp.	4	5	4	9
16	*Cymbopetalum baillonii*	1	3	6	6
16	*Dendropanax arboreus*	7	2	6	1
16	*Guarea glabra*	3	4	6	3
13	*Rheedia edulis*	2	0	7	4
12	*Poulsenia armata*	2	4	4	2
11	*Croton schiedeanus*	1	1	6	3
11	*Psychotria simiarum*	4	0	1	6
11	*Spondias radlkoferi*	5	1	3	2
11	*Stemmadenia donnell-smithii*	3	3	2	3
10	*Guarea grandifolia*	3	3	3	1
10	*Quararibea yunckeri*	2	1	2	5
9	*Maytenus schippii*	2	0	7	0
8	*Mortoniodendron guatemalense*	1	3	1	3
8	*Orthion oblanceolatum*	5	3	0	0
8	*Quararibea funebris*	5	2	0	1
7	*Brosimum alicastrum*	2	0	4	1
7	*Pleuranthodendron lindenii*	2	0	1	4
6	*Aegiphila costaricensis*	1	0	1	4
6	*Omphalea oleifera*	0	0	2	4
6	*Trophis mexicana*	3	2	0	1
5	*Allophylus campostachys*	0	3	2	0
5	*Clarisia biflora*	0	2	1	2
5	*Pouteria rhynchocarpa*	1	0	3	1
5	*Psychotria faxlucens*	3	0	0	2
5	*Sideroxylon portoricense*	0	2	3	0
4	*Cecropia obtusifolia*	0	0	0	4
4	*Licaria velutina*	0	1	1	2
4	*Piper amalago*	1	0	1	2
4	*Pterocarpus rohrii*	2	0	2	0
4	*Trichospermum mexicanum*	0	4	0	0
3	*Crataeva tapia*	2	0	0	1
3	*Cupania glabra*	3	0	0	0
3	*Dialium guianense*	0	2	0	1
3	*Lonchocarpus cruentus*	0	2	1	0

CUADRO 4.9. (continuación)

Total	Especie	Parcela (1/4 de hectárea) 1	2	3	4
3	*Trichilia moschata*	0	0	2	1
3	*Vatairea lundellii*	0	1	0	2
2	*Ampelocera hottlei*	1	0	0	1
2	*Aspidosperma megalocarpon*	0	1	0	1
2	*Cordia megalantha*	0	1	1	0
2	*Dussia mexicana*	0	1	1	0
2	*Ficus petenensis*	0	0	0	2
2	*Ficus tecolutensis*	0	0	2	0
2	*Hampea nutricia*	2	0	0	0
2	*Jacaratia dolichaula*	0	1	1	0
2	*Nectandra lundellii*	0	0	2	0
2	*Psychotria chiapensis*	1	0	0	1
2	*Turpinia occidentalis*	0	1	0	1
1	*Amphitecna tuxtlensis*	0	0	1	0
1	*Aphanante monoica*	0	0	0	1
1	*Bursera simaruba*	0	0	0	1
1	*Calophyllum brasiliense*	0	0	1	0
1	*Cordia stellifera*	1	0	0	0
1	*Couepia polyandra*	0	1	0	0
1	*Diospyros digyna*	1	0	0	0
1	*Eugenia iniribensis*	0	0	1	0
1	*Ficus yoponensis*	0	0	1	0
1	*Genipa americana*	0	0	0	1
1	*Lippia myriocephala*	0	0	0	1
1	*Lonchocarpus guatemalensis*	1	0	0	0
1	*Lunania mexicana*	0	0	1	0
1	*Nectandra albiflora*	0	0	0	1
1	*Neea psychotrioides*	0	0	0	1
1	*Pithecellobium hymenaefolium*	0	0	0	1
1	*Platymiscium pinnatum*	0	1	0	0
1	*Pouteria campechiana*	0	0	1	0
1	*Pouteria sapota*	0	0	0	1
1	*Rinorea guatemalensis*	0	0	0	1
1	*Sapindus saponaria*	0	1	0	0
1	*Saurauia yasicae*	0	0	1	0
1	*Tapirira mexicana*	0	0	0	1
1	*Tetrorchidium rotundatum*	1	0	0	0
1	*Zanthoxylum kellermanii*	0	0	1	0
461		94	92	132	143

CUADRO 4.10. **Código y área de la copa para los árboles en la parcela 2** [1]

Especie	*Código*	*Área de la copa*	
		en m²	*en %*
Allophylus campostachys:	Al2	93	1.3
	Al3	19	0.3
	Al1	12	0.2
Aspidosperma megalocarpon:	As	23	0.3
Clarisia biflora:	Cl1	196	2.8
	Cl2	30	0.4
Cordia megalantha:	Co	333	4.8
Couepia polyandra:	Cu	247	3.6
Croton schiedeanus:	Cr	15	0.2
Cymbopetalum baillonii:	Cy2	25	0.4
	Cy3	16	0.2
	Cy1	11	0.2
Dendropanax arboreus:	De2	185	2.7
	De1	83	1.2
Dialium guianense:	Di1	259	3.8
	Di2	159	2.3
Dussia mexicana:	Du	230	3.3
Guamia sp.:	Gu1	34	0.5
	Gu3	34	0.5
	Gu5	30	0.4
	Gu2	18	0.3
	Gu4	11	0.2
Guarea glabra:	Gg3	137	2.0
	Gg2	77	1.1
	Gg4	26	0.4
	Gg1	21	0.3
Guarea grandifolia:	Gf1	141	2.0
	Gf3	49	0.7
	Gf2	14	0.2
Jacaratia dolichaula:	Ja	40	0.6
Lonchocarpus cruentus:	Lo1	239	3.5
	Lo2	208	3.0
Mortoniodendron guatemalense:	Mo3	51	0.7
	Mo1	34	0.5
	Mo2	16	0.2
Nectandra ambigens:	Ne2	426	6.2
	Ne1	344	5.0
	Ne4	26	0.4
	Ne3	10	0.1
Licaria velutina (= Ocotea dendrodaphne):	Oc	13	0.2
Orthion oblanceolatum:	Or1	86	1.2
	Or2	20	0.3
	Or3	15	0.2
Platymiscium pinnatum:	Pl	95	1.4
Poulsenia armata:	Po1	102	1.5
	Po4	94	1.4
	Po3	39	0.6
	Po2	29	0.4
Pseudolmedia oxyphyllaria:	Ps26	128	1.8

CUADRO 4.10. (Continuación)

Especie	*Código*	*Área de la copa*	
		en m²	*en %*
	Ps19	123	1.8
	Ps21	106	1.5
	Ps24	66	1.0
	Ps9	65	0.9
	Ps7	62	0.9
	Ps2	61	0.9
	Ps18	59	0.9
	Ps11	55	0.8
	Ps1	50	0.7
	Ps12	35	0.5
	Ps3	35	0.5
	Ps14	34	0.5
	Ps23	34	0.5
	Ps13	33	0.5
	Ps15	33	0.5
	Ps6	30	0.4
	Ps8	29	0.4
	Ps4	28	0.4
	Ps16	27	0.4
	Ps22	25	0.4
	Ps17	22	0.3
	Ps20	19	0.3
	Ps25	18	0.3
	Ps5	17	0.2
	Ps10	13	0.2
Quararibea funebris:	Qu2	71	1.0
	Qu1	46	0.7
Quararibea yunckeri:	Qy	29	0.4
Sapindus saponaria:	Sa	72	1.0
Sideroxylon portoricense:	Si1	183	2.7
	Si2	50	0.7
Spondias radlkoferi:	Sp	81	1.2
Stemmadenia donnell-smithii:	St3	38	0.5
	St1	32	0.5
	St2	0	0.0
Trichospermum mexicanum:	Tr1	152	2.2
	Tr2	60	0.9
	Tr3	41	0.6
	Tr4	30	0.4
Trophis mexicana:	To1	209	3.0
	To2	25	0.4
Turpinia occidentalis:	Tu	14	0.2
Vatairea lundellii:	Va	144	2.1
TOTAL		6,901	100.0

[1] Los datos están ordenados primero por especie en orden alfabético y subsecuentemente por área de copa.

Se necesita conocer cuántos nuevos árboles pueden crecer después de abrir cierta área de copa. Para este propósito se puede derivar una ecuación de regresión del área de copa esperada, en dependencia del diámetro de un tronco (véase el cuadro 4.7). La figura 4.9 muestra que existe una relación lineal con un ajuste suficiente entre el diámetro (DAP) y el área de copa, cuando se transforman los datos de ambas variables a su logaritmo.

La ecuación es una relación alométrica que no es específica a la especie, aunque representa árboles con una copa de tipo bola en lugar de una copa cónica (característica de muchas gimnospermas). También representa árboles en competencia con otros árboles vecinos.

La especie comercialmente más valiosa en Los Tuxtlas fue *Pouteria sapota* por sus frutos de "mamey" (véase el apartado 5.5). Suponemos que un forestal se interesaría primordialmente en un bosque con árboles con gran copa y diámetro de *P. sapota*, ya que la producción de frutos está correlacionada con el área de copa y el diámetro del árbol (véase Chapman *et al.*, 1992.) De acuerdo con la ecuación de regresión de la figura 4.9, un árbol grande con un diámetro de tronco de 50 centímetros tiene un área de copa esperada de 94 metros cuadrados ($e^{-0.0197 + (1.1667)(Ln[50])}$).

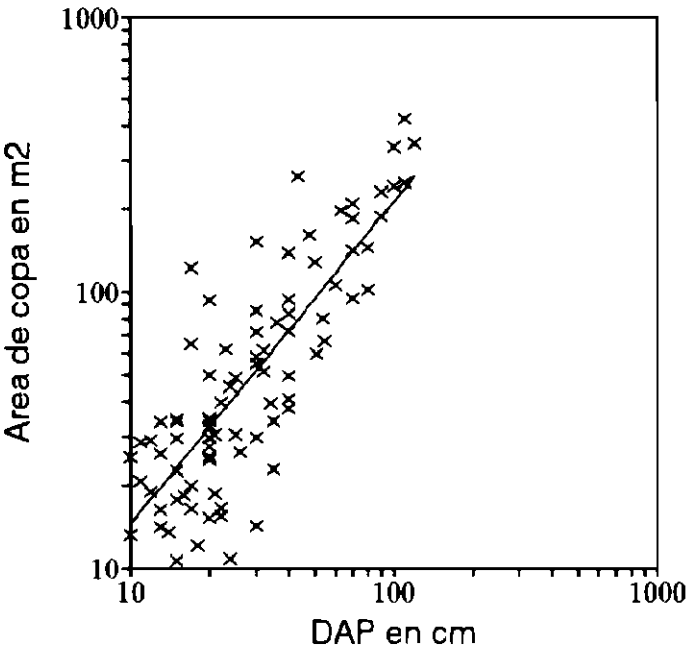


Figura 4.9. Relación entre el área de copa y el diámetro del tronco (DAP) de todos los árboles en la parcela 2. La ecuación de regresión es Ln[COPA] = −0.0197 + (1.1667) (Ln [COPA]); R^2 = 0.68; n = 89; la pendiente es estadísticamente significante.

ESTRATEGIAS PARA GANAR ÁREA DE COPA

Para realizar plantaciones de enriquecimiento es muy importante abrir y adelgazar el dosel del bosque para ganar área de copa, la cual deberían ocupar los nuevos árboles. Por lo tanto, es necesario talar algunos árboles para plantaciones de enriquecimiento. En esta seccion se analizan cuatro estrategias hipotéticas para ganar área de copa, determinando el número de árboles que se pueden sembrar y la diversidad de especies arbóreas que se pueden conservar. Los costos y beneficios de una de las estrategias la analizaremos en el apartado 5.6.

El cuadro 4.10 permite evaluar el efecto de diferentes estrategias de tala de árboles sobre el área total de copa y sobre la diversidad restante de árboles. La figura 4.10, arriba, a la izquierda, muestra los árboles en su posición original desde la perspectiva de un ave. Tres de las estrategias hipotéticas de tala dejan intactos en la parcela 2 los árboles ya existentes de especies con frutos comerciales (*Couepia polyandra, Dialium guianense, Poulsenia armata, Pseudolmedia oxyphyllaria*). Las primeras dos estrategias de tala conservan en el cuarto de hectárea la diversidad original de las especies arbóreas. Se supone que los árboles talados no han dañado durante el proceso a los árboles restantes; esto es así, cuando el número de

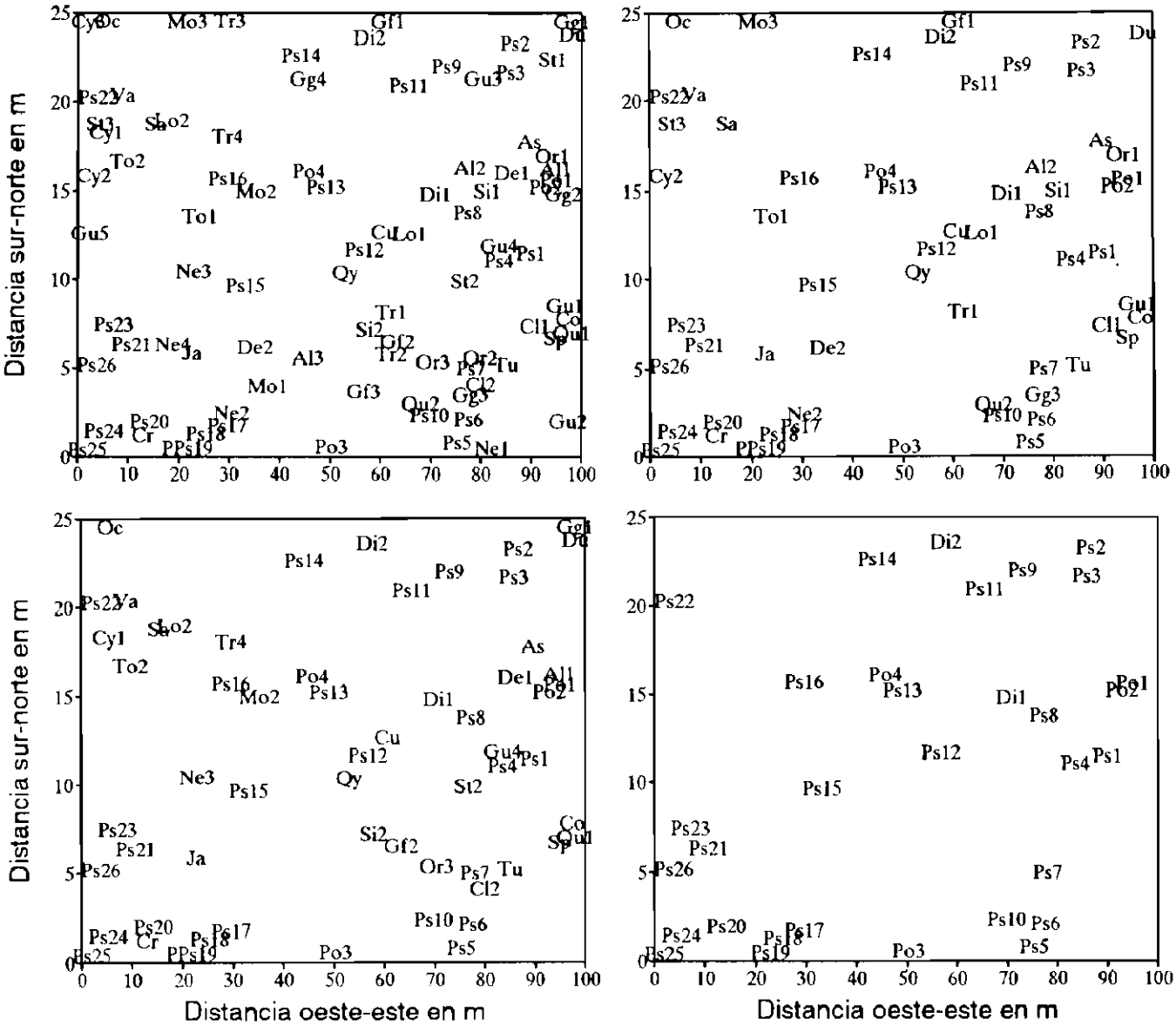


Figura 4.10. La parcela 2 (un cuarto de hectárea) a vista de pájaro. Arriba, a la izquierda en el estado natural; arriba, a la derecha: después de aplicar la estrategia de tala 1; abajo, a la izquierda: después de aplicar la estrategia de tala 2; abajo, a la derecha: después de aplicar la estrategia de tala 3.

árboles talados es suficientemente alto en relación con el número de árboles restantes.

ESTRATEGIA 1: En especies sin frutos comerciales se deja intacto el árbol con la copa más grande, pero los árboles con copas más pequeñas se talan; por ejemplo, en el caso de *Allophylus campostachys*, Al2 se dejaría, mientras que Al3 y Al1 se talarían (véase el cuadro 4.10). La figura 4.10, arriba, a la derecha, muestra el resultado. De los 92 árboles originales, 31 se talan (34 por ciento). El área total de la copa de la parcela 2 se reduce 1,408 metros cuadrados o 20 por ciento.

ESTRATEGIA 2: En especies sin frutos comerciales se deja intacto el árbol con la copa más pequeña, pero los árboles con copas más grandes se talan; por ejemplo, en el caso de *Allophylus campostachys*, A11 se dejaría, mientras que A13 y A12 se talarían. La figura 4.10, abajo a la izquierda, muestra el resultado. Otra vez, 31 árboles se talan. El área total de la copa se reduce 3,093 metros cuadrados o 45 por ciento.

ESTRATEGIA 3: Todos los árboles de especies sin frutos comerciales se talan. De los 92 árboles originales, 59 se talan (64 por ciento). La figura 4.10, abajo, a la derecha, muestra el resultado. El área total de la copa se reduce 4,765 metros cuadrados o 69 por ciento.

ESTRATEGIA 4: Tala completa de todos los árboles.

Los resultados de la aplicación de las cuatro estrategias de tala se resumen en el cuadro 4.11. En la parcela 2, la estrategia de tala 1 abriría 1,408 metros cuadrados del área total de copa. Esto permitiría que crecieran en el nuevo espacio 15 árboles de *Pouteria sapota* (1,408/92). Esta información se utilizará para el análisis económico en el apartado 5.6.

Las estrategias 1 y 2, en las cuales se conserva un árbol para cada especie encontrado naturalmente, todavía no resultarán en "islas forestales" viables e independientes. Un árbol de una especie no se puede considerar una población genéticamente viable. Además, para especies dioicas solamente permanece un árbol macho o hembra, pero no ambos. Por lo tanto, se supone que en otras áreas de bosque alrededor (por ejemplo, de un cuarto o de una hectá-

CUADRO 4.11. **Análisis hipotético de diferentes estrategias de manejo en la parcela 2 de un cuarto de hectárea**

Manejo	*Árboles*	*Área de copa*		*Abierto*		*Nuevos árboles*
		en m²	*en %*	*en m²*	*en %*	
Original	92	6901	100	0	0	0
Estrategia 1	61	5493	80	1408	20	15
Estrategia 2	61	3808	55	3093	45	33
Estrategia 3	33	2136	31	4765	69	51
Estrategia 4	0	0	0	6901	100	73

MANEJO: **Original** se refiere al bosque original cuando no se ha manipulado; **Estrategia 1** deja intacto a todos los árboles de aquellas especies con valor comercial por sus frutos (en la parcela 2 *Couepia polyandra, Dialium guianense, Poulsenia armata,* y *Pseudolmedia oxyphyllaria*) y al árbol con la copa más grande de cada especie; **Estrategia 2** es igual a la 1 excepto que deja intacto al árbol con la copa más pequeña para cada especie sin frutos comerciales y tala todos los más grandes; **Estrategia 3** tala los árboles de todas las especies menos aquellos con valor comercial por sus frutos; **Estrategia 4** representa una tala completa que elimina el bosque original.

ÁRBOLES: se refiere al número de árboles que se dejan intactos.

ÁREA DE COPA: se refiere a la suma de las áreas de copa de todos los árboles en metros cuadrados.

ABIERTO: se refiere al área total de la copa (6,901 metros cuadrados) menos el área total de la copa después del manejo ("ÁREA DE COPA"); es el área de copas que se gana por cortar árboles.

NUEVOS ÁRBOLES: se refiere al número de árboles con el cual el bosque se podría enriquecer después del corte; un árbol con 50 centímetros de diámetro tiene un área de copa esperada de 94 metros cuadrados (véase el texto) —en consecuencia NUEVOS ÁRBOLES = ABIERTO /94.

rea) se emplea la misma estrategia, y resulta para cada especie arbórea una población con numerosos miembros y distribuida sobre varias hectáreas de bosque. El hecho de que muchas especies arbóreas naturalmente muestran este patrón de abundancia apoya la factibilidad de estas estrategias.

El lector puede darse cuenta de que hay muchas opciones de manipular el bosque para aumentar su valor, y que este proceso no tiene que afectar necesariamente a la diversidad de especies arbóreas. Por ejemplo, en las estrategias 1 y 2, un 66 por ciento de los árboles originales permanecen intactos y ninguna de las especies arbóreas existentes anteriormente se pierde (aunque varias resultan en menor abundancia).

4.5 RESUMEN

Manejo forestal sustentable significa que la cantidad de los productos físicos (por ejemplo, madera) y el suministro de servicios (por ejemplo, recreación) aportados por el bosque no declinan a largo plazo. Este objetivo requiere tomar en cuenta restricciones ecológicas.

La luz del sol penetra pobremente por el dosel al sotobosque. Una gran parte de la energía solar que reciben las plantas del sotobosque proviene de haces de luz. Algunas especies arbóreas son adaptadas a condiciones de poca luz, mientras que otras a luz solar intensa. Los claros causados por árboles caídos constituyen un elemento crucial de la dinámica de bosques tropicales porque permiten un gran influjo de luz solar.

Las perturbaciones naturales, como la creación de claros, son un proceso fundamental en todos los bosques. El análisis de perturbaciones naturales proporciona valiosos indicios sobre el impacto que tendrán diferentes actividades humanas en los bosques. Los sistemas de manejo frecuentemente simulan sucesos naturales.

La fertilidad del suelo varía en gran medida en los trópicos. Los taxónomos de suelo distinguen detalladamente los suelos y los identifican. El orden de suelo que más prevalece en Latinoamérica y en África es el oxisol; estos suelos han sido fuertemente intemperizados, tienen baja fertilidad y son fácilmente dañados si no se protegen con vegetación.

En los sitios no fertilizados artificialmente, la entrada de minerales proviene primordialmente de la lluvia. El nitrógeno y el fósforo son los factores limitantes más importantes en la fertilidad del suelo. Algunas especies arbóreas tienen efectos positivos sobre los suelos subyacentes; notablemente muchos árboles de la familia Leguminosae proporcionan nitrógeno.

La compactación del suelo representa un problema principal cuando se cosechan árboles con maquinaria pesada. Debajo de grandes pastizales de ganado, muchos suelos tropicales están pobremente protegidos por la cubierta limitada de pasto, así que ocurre una lixiviación de nutrientes y erosión. Los suelos frágiles en muchas áreas tropicales favorecen un manejo de árboles de distintas edades, en el cual no se realiza una tala completa.

Los árboles compiten por nutrientes y luz solar, y la composición natural de un bosque está en gran medida determinada por la capacidad de una especie para competir bajo ciertas condiciones de clima y suelo. Particularmente en los bosques ricos en especies, el establecimiento de monocultivos está acompañado de altos costos para eliminar a las especies no-deseadas y proteger a las deseadas.

Los árboles son atacados por animales, parásitos vegetales, hongos, bacterias y virus. En contraste con los monocultivos, los cuales tienden a presentar sucesos de plagas "catastróficos", los bosques diversos de especies típicamente muestran un nivel de herbivoría más

uniforme a lo largo del tiempo. Desafortunadamente casi no existen datos cuantitativos sobre las pérdidas de producción a causa de ataques de plagas en los bosques tropicales.

La mayoría de los árboles se entrecruzan con otros árboles conespecíficos, y la autofertilización es menos común. La carencia de entrecruzamiento teóricamente puede causar una depresión genética por consanguinidad, pero no está claro hasta qué grado eso representa un problema en bosques tropicales.

Para la polinización, las especies tropicales de árboles dependen primordialmente de animales y no del viento. Similarmente, en los bosques neotropicales, entre el 50 y el 90 por ciento de todas las especies del dosel, y casi el 100 por ciento de las otras especies de árboles y arbustos son dispersadas por animales.

Un modelo con ecuaciones matemáticas es una herramienta importante para llegar a decisiones racionales acerca de un sistema forestal. Un modelo nunca capturará todos los aspectos de un sistema; sin embargo, aunque no sea perfecto, tiene que ser adecuado para el propósito deseado. El desarrollo de una población arbórea al paso del tiempo se puede expresar utilizando tres parámetros matemáticos: la tasa de sobrevivencia, la tasa de crecimiento y la fecundidad. Con parámetros fijos de entrada, el sistema siempre se aproxima a una estructura estable, en que cada estadio tiene un recambio constante, por lo que parece estática. Un cambio de los parámetros de entrada causará que el sistema se modifique hacia un nueva estructura estable. Mientras más adelante se vea en el futuro, menos predecible será el número de árboles que existan en la población.

En un modelo de *Grias peruviana*, resulta que un enfoque promisorio de manejo sería incrementar la tasa de sobrevivencia de las plántulas. La cosecha de todos los frutos disponibles (con sus semillas) en todos los años conduciría a la extinción de una población (considerando que ésta no se reproduce vegetativamente). El proceso de extinción por sobrecosechar puede durar décadas o aun cientos de años hasta que sea completada. Al intentar prevenir la extinción, se presenta el problema de no darse cuenta fácilmente de la falta de establecimiento de plántulas.

La medición de volúmenes de troncos al paso del tiempo permite los cálculos de una ecuación de crecimiento del volumen. En términos prácticos, los troncos de los árboles tienen una forma de cono truncado que comienza con una base ancha y se afila hacia la punta. La altura de un árbol a partir del suelo se puede medir con un método geométrico.

Para una optimización económica del ciclo de la cosecha, deseamos describir el crecimiento del volumen explícitamente con una ecuación de crecimiento; la herramienta a utilizar es el cálculo de regresión. Mientras que el aumento del volumen al paso del tiempo varía de acuerdo con la especie involucrada y la calidad del sitio, la forma básica de la curva volumen-edad siempre será sigmoidea (forma de S), ya sea que se trate de un árbol individual o de todo un bosque. La forma de la curva de crecimiento explica por qué la tala de árboles estimula el crecimiento del bosque: se coloca al bosque en un estadio más temprano en la curva de crecimiento, donde la tasa de crecimiento es más alta.

Describimos un inventario forestal en una hectárea de bosque húmedo tropical cerca de la estación de investigación "Los Tuxtlas" en Veracruz, México. De 76 especies arbóreas y 1 palma, 12 producen frutos comestibles y 43 son de interés por su madera.

De 461 árboles (DAP ≥ 10 centímetros) en la hectárea, 77 fueron de *Pseudolmedia oxyphyllaria*, 26 de *Faramea occidentalis* y 24 de *Nectandra ambigens*. Por otro lado, 25 de las 76 especies estuvieron representadas por un solo árbol y 11

especies por dos. Una especie fue endémica en la región de Los Tuxtlas (*Pouteria rhynchocarpa*). La especie comercial más valiosa, *Pouteria sapota*, fue representada por un solo árbol.

Sugerimos plantaciones de enriquecimiento como manejo promisorio en los bosques tropicales. El enriquecimiento consiste en talar árboles de especies menos deseadas y en su lugar plantar y sostener árboles de especies más valiosas. Para un bosque de un cuarto de hectárea se examinó una estrategia de manejo hipotético en la cual todos los árboles con frutos comerciales permanecen intactos, mientras que los otros son talados, con excepción del árbol más grande de cada especie. Esto abriría el área total de copa aproximadamente en un 26 por ciento, proporcionando espacio para el establecimiento de alrededor de 15 grandes árboles de *Pouteria sapota*. Un 66 por ciento de los árboles originales permanecerían intactos y no se perdería ninguna de las especies arbóreas existentes anteriormente.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, O.N., y E.K. ALLEN, *The Leguminosae – A Source Book of Characteristics, Uses, and Nodulation*, The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, 1981.

ALVAREZ BUYLLA R., M.E., E. LAZOS CHAVERO, y J.R. GARCÍA-BARRIOS, "Homegardens of a humid tropical region in southeast Mexico: an example of an agroforestry cropping system in a recently established community", *Agroforestry Systems* 8: 133-156, 1989.

ASHTON, P.M.S., "Some measurements of the microclimate within a Sri Lankan tropical rainforest", *Agricultural and Forest Meteorology* 59: 217-235, 1992.

———, y G.P. BERLYN, "Leaf adaptations of some Shorea species to sun and shade", *New Phytologist* 121: 587-596, 1992.

———, C.V.S. GUNATILLEKE, y I.A.U.N. GUNATILLEKE, "A shelterwood method of regeneration for sustained timber production in Mesua-Shorea forests of southwest Sri Lanka", en: W. Erdelen, C. Preu, N. Ishwaran, y C. Santiapillai (eds.), *Ecology and Landscape Management in Sri Lanka: Conflict or Com- promise?*, p. 203-229, Verlag Josef Margraf Scientific, Hamburgo, 1992.

AVERY, T.E., y H.E. BURKHART, *Forest Measurements*, McGraw-Hill, Nueva York, 1983.

BARBOUR, M.G., J.H. BURK, y W.D. PITTS, *Terrestrial Plant Ecology*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Menlo Park, California, 1987.

BASNET, K., G.E. LIKENS, F.N. SCATENA, y A.E. LUGO, "Hurricane Hugo: damage to a tropical rain forest in Puerto Rico", *Journal of Tropical Ecology* 8: 47-56, 1992.

BAWA, K. S., "Breeding systems of tree species of a lowland tropical community", *Evolution* 28: 85-92,1974.

———, y S.L.KRUGMAN, "Reproductive biology and genetics of tropical trees in relation to conservation and management", en: A. Gómez-Pompa, T. C. Whitmore, y M. Hadley (eds.), *Rain Forest Regeneration and Management*, pp. 119-136, UNESCO and the Parthenon Publishing Group, París, 1991.

BEGON, M., J.L. HARPER, y C.R. TOWNSEND, *Ecology*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1986.

BOOM, B.M., "A forest inventory in Amazonian Bolivia", *Biotropica* 18: 287-294, 1986.

BRADY, N.C., *The Nature and Properties of Soils*, MacMillan Publishing Company, Nueva York, 1990.

BROKAW, N.V.L., "Treefalls: Frequency, timing, and consequences", en: E.G. Leigh Jr., A.S. Rand, y D.M. Windsor (eds.), *The Ecology of a Tropical Forest – Seasonal Rhythms and Long-term Changes*, pp. 101-108, Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 1982.

BRUIJNZEEL, I.A., "Nutrient content of bulk precipitation in south-central Java, Indonesia", *Journal of Tropical Ecology* 5: 187-202, 1989.

BURSCHEL, P., y J. HUSS, *Grundriß des Waldbaus*, Verlag Paul Parey, Hamburgo, 1987.

CAMPBELL, D.G., D.C. DALY, G.T. PRANCE, y U.N. MACIEL, "Quantitative ecological inventory of Terra Firme and Várzea tropical forest on

the Rio Xingu, Brazilian Amazon", *Brittonia* 38: 369-393, 1986.

CASTELLO, J.D., D.J. LEOPOLD Y P.J. SMALLIDGE, "Pathogens, patterns and process in forest ecosystems", *BioScience* 45: 16-24, 1995.

CASWELL, H., *Matrix Population Models - Construction, Analysis, and Interpretation*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1989.

CHAPMAN, C.A., L.J. CHAPMAN, R. WANGHAM, K. HUNT, D. GEBO, y L. GARDNER, "Estimators of fruit abundance of tropical trees", *Biotropica* 24: 527-531, 1992.

CHAZDON, R.L., y N. FETCHER, "Light environments of tropical forests", en: E. Medina, H.A. Mooney, y C. Vázquez-Yánes (eds.), *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*, pp. 27-36., Dr.W. Junk Publishers, La Haya, 1984.

———, y R.W. PEARCY, "The importance of sunflecks for forest understory plants", *BioScience* 41: 760-766, 1991.

CLEMENTS, F.E., *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*, Carnegie Institute, Washington, D.C., 1916.

CLUTTER, J.L., J.C. FORTSON, L.V. PIENAAR, G.H. BRISTER, y R.L. BAILEY, *Timber Management: A Quantitative Approach*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1983.

COLEY, P.D., "Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland tropical forest", *Ecological Monographs* 53: 209-233, 1983.

DAVIS, L.S., y K.N. JOHNSON, *Forest Management*, McGraw-Hill, Nueva York, 1987.

DEAN, W., *Brazil and the Struggle for Rubber - A Study in Environmental History*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

DE LA CRUZ, M., y R. DIRZO, "A survey of the standing levels herbivory in seedlings from a Mexican rain forest", *Biotropica* 19: 98-106, 1987.

DEVOE, N.N., "Regeneration from seed under a range of canopy conditions in tropical wet forest, Puerto Rico", en: M.J. Kelty, B.C. Larson, y C.D. Oliver (eds.), *The Ecology and Silviculture of Mixed-Species Forests*, pp. 81-100, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.

DIRZO, R., "Estudios sobre interacciones planta-herbívoro en 'Los Tuxtlas', Veracruz", *Revista de biología tropical* 35 (supl.1): 119-131, 1987.

EGUIARTE, L.E., A. BÚRQUEZ, J. RODRÍGUEZ, M. MARTÍNEZ-RAMOS, J. SARUKHÁN Y D. PIÑERO, "Direct and indirect estimates of neighborhood and effective population size in a tropical palm, *Astrocaryum mexicanum*", *Evolution* 47: 75-87, 1993.

EVANS, J., *Plantation Forestry in the Tropics*, Clarendon Press, Oxford, 1992.

FEARNSIDE, P.M., "The effects of cattle pasture on soil fertility in the Brazilian Amazon: consequences for beef production sustainability", *Tropical Ecology* 21: 125-137, 1980.

———, "Agriculture in Amazonia", en: G.T. Prance, y T. E. Lovejoy (eds.): *Key Environments - Amazonia*, pp. 393-418, Pergamon Press, Oxford, 1985.

FUTUYMA, D.J., *Evolutionary Biology*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1986.

GENTRY, A.H., y J. TERBORGH, "Composition and dynamics of the Cocha Cashu "mature" floodplain forest", en: A.H. Gentry (ed.), *Four Neotropical Rainforests*, pp. 542-564, Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1990.

GIVNISH, T.J., "Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective", *Australian Journal of Plant Physiology* 15: 63-92, 1988.

GOLDAMMER, J.G., "Fire management", en: L. Pancel, *Tropical Forestry Handbook* (volumen 2), pp. 1221-1268, Springer-Verlag, Berlín, 1993.

GUPTA, R.K., *Multipurpose Trees for Agroforestry and Wasteland Utilisation*, International Science Publishers, Nueva York, 1993.

HAINES, B., "Impact of leaf-cutting ants on vegetation development at Barro Colorado Island", en: F.B. Golley y E. Medina (eds.), *Tropical Ecological Systems - Trends in Terrestrial and Aquatic Research*, pp. 99-111, Springer-Verlag, Nueva York, 1975.

HARTSHORN, G.S., "An overview of Neotropical Forest Dynamics", en: A.H. Gentry (ed.), *Four Neotropical Rainforests*, pp. 585-599, Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1990.

HECHT, S.B., y D.A. Posey, "Preliminary results on soil management techniques of the Kayapó Indians", en: D.A. Posey y W. Balée (eds.), *Resource Management in Amazonia: Indigenous and Folk Strategies (Advances in Economic Botany 7)*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1989.

HENDRIX, S.D., "Herbivory and its impact on plant reproduction", en: J.L. Doust y L.L. Doust, *Plant Reproductive Ecology*, pp. 246-263, Oxford University Press, Nueva York, 1988.

HERRERA, R., "Nutrient cycling in Amazonian forests", en: G.T. Prance, y T.E. Lovejoy (eds.): *Key Environments – Amazonia*, pp. 95-105, Pergamon Press, Oxford, 1985.

HILLIER, F.S., y G.J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill Publishing Company, Nueva York, 1990.

HOWE, H.F., "Implications of seed dispersal by animals for tropical reserve management", *Biological Conservation* 30: 261-281, 1984.

———, "Seed dispersal by birds and mammals: implications for seedling demography", en: K.A. Longman y J.J. Jenik, *Tropical Forest and its Environment*, pp. 191-218, Longman, Essex, 1990.

HÖLLDOBLER, B., y E.O. WILSON, *The Ants*, Springer Verlag, Berlín, 1990.

HUBBELL, S.P., y R. B. FOSTER, "Structure, dynamics, and equilibrium status of old-growth forest on Barro Colorado Island", en: A.H. Gentry (ed.), *Four Neotropical Rainforests*, pp. 522-541, Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1990.

IBARRA-MANRÍQUEZ, G., y S. SINACA C., "Lista florística comentada de la Estación de Biología Tropical 'Los Tuxtlas', Veracruz, México", *Revista de Biología Tropical* 43: 75-115, 1995.

———, "Estación de Biología Tropical 'Los Tuxtlas', Veracruz, México: Lista florística comentada (Mimosaceae a Verbenaceae)", *Revista de Biología Tropical* 44:41-60, 1996a.

———, "Lista comentada de plantas de la Estación de Biología Tropical 'Los Tuxtlas', Veracruz, México: (Violaceae-Zingiberaceae)", *Revista de Biología Tropical* 44:427-447, 1996b.

IVORY, M.H., y M.R. SPECHT, "Pest management", en: L. Pancel, *Tropical Forestry Handbook* (volumen 2), pp. 1141-1219, Springer-Verlag, Berlín, 1993.

JACOBS, M., *The Tropical Rainforest*, Springer-Verlag, Berlín, 1988.

JORDAN, C.F., "Soils of the Amazon rainforest", en: G.T. Prance, y T.E. Lovejoy (eds.): *Key Environments -Amazonia*, pp. 83-94, Pergamon Press, Oxford, 1985.

——— (ed.), *An Amazonian Rain Forest – The Structure and Function of a Nutrient Stressed Ecosystem and the Impact of Slash-and-Burn Agriculture*, UNESCO, París, and the Parthenon Publishing Group, Park Ridge, New Jersey, 1989.

KURODA, K., y K. SHIMAJI, "The pinning method for marking xylem growth in hardwood species", *Forest Science* 30: 548-554, 1984.

LARCHER, W., *Ökologie der Pflanzen*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1984.

LEDIG, F. T., "Heterozygosity, heterosis, and fitness in outbreeding plants", en: M.E. Soulé (ed.), *Conservation Biology*, pp. 77-104, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1986.

MABBERLEY, D.J., *The Plant Book – A Portable Dictionary of the Higher Plants*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

MADDALA, G.S., *Introduction to Econometrics*, Macmillan Publishing Company, Nueva York, 1992.

MARTÍNEZ-RAMOS, M., "Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias", en: A. Gómez-Pompa y R.S. del Amo (eds.), *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México* (volumen 2), pp. 191-239 Alhambra, México D.F., 1985.

MATTHEWS, J.D., *Silvicultural Systems*, Clarendon Press, Oxford, 1989.

MCARDLE, R.E., W.H. MEYER, y D. BRUCE, *The yield of Douglas fir in the Pacific Northwest*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Technical Bulletin 201 (rev.), 1961.

MCKEAN RANKIN, J., "Forestry in the Brazilian Amazon", en: G.T. Prance y T.E. Lovejoy (eds.): *Key Environments – Amazonia*, pp. 369-392, Pergamon Press, Oxford, 1985.

MONTAGNINI, F., y F. SANCHO, "Ensayos forestales con especies nativas: impacto sobre la fertili-

dad del suelo en la llanura del Atlántico de Costa Rica", *Biocenosis* 7: 11-16, 1990. [en inglés: MONTAGNINI, F., y F. SANCHO, "Impacts of native trees on tropical soils: A study in the Atlantic lowlands of Costa Rica", *Ambio* 19: 386-390, 1990.]

MOONEY, H.A., C. FIELD, y C. VÁZQUEZ-YÁÑEZ, "1984, Photosynthetic characteristics of wet tropical forest plants", en: E. Medina, H.A. Mooney, y C. Vázquez-Yáñez (eds.), *Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics*, pp. 113-128, Dr. W. Junk Publishers, La Haya, 1984.

MURAWSKI, D.A., B. DAYANANDAN, y K.S. BAWA, "Outcrossing rates of two endemic *Shorea* species from Sri Lankan tropical rain forests", *Biotropica* 26: 23-29, 1994.

NEPSTAD, D., C. UHL, y E.A. SERRAO, "Surmounting barriers to forest regeneration in abandoned, highly degraded pastures: A case study from Paragominas, Para, Brazil", en: A. B. Anderson (ed.), *Alternatives to Deforestation - Steps towards Sustainable Use of the Amazon Rain Forest*, pp. 215-229, Columbia University Press, Nueva York, 1990.

NEWTON, A.C., P. BAKER, S. RAMNARINE, J.F. MESÉN y R.R.B. LEAKEY, "The mahogany shoot boorer: Prospects for control", *Forest Ecology and Management* 57: 301- 328, 1993.

OLIVER, C.D., y B.C. LARSON, *Forest Stand Dynamics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1990.

PANAYOTOU, T., y P.S. ASHTON, *Not by Timber Alone*, Island Press, Washington, D.C., 1992.

PENNINGTON, T.D., *Sapotaceae - Flora Neotropica Monograph 52*, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

PETERS, C.M., "Population ecology and management of forest fruit trees in Peruvian Amazonia", en: A.B. Anderson (ed.), *Alternatives to Deforestation - Steps towards Sustainable Use of the Amazon Rain Forest*, pp. 86-98, Columbia University Press, Nueva York, 1990.

———, y E.J. HAMMOND, "Fruits from the flooded forests of Peruvian Amazonia: Yield estimates for natural populations of three promising species", en: G.T. Prance y M.J. Balick (eds.), *New Directions in the Study of Plants and People: Research Contributions from the Institute of Economic Botany (Advances in Economic Botany 8)*, pp. 159-176, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1990.

POPMA, J., y F. BONGERS, "The effect of canopy gaps on growth and morphology of seedlings of rain forest species", *Oecologia (Berlin)* 75: 625-632, 1988.

RAMOS, J. M., y S. DEL AMO, "Enrichment planting in a tropical secondary forest in Veracruz, Mexico", *Forest Ecology and Management* 54: 289-304, 1992.

ROHLF, F.J., y R.R. SOKAL, *Statistical Tables*, W.H. Freeman and Company, Nueva York, 1995.

SALICK, J., "Ecological basis of Amuesha agriculture, Peruvian upper Amazon", en: D.A. Posey y W. Balée (eds.), *Resource Management in Amazonia: Indigenous and Folk Strategies (Advances in Economic Botany 7)*, pp. 189-212, The New York Botanical Garden, Nueva York, 1989.

SANCHEZ, P.A., *Properties and Management of Soils in the Tropics*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1976.

SCHEMSKE, D.W., y C.C. HORVITZ, "Variation among floral visitors in pollination ability: A precondition for mutualism specialization", *Science* 225: 519-521, 1984.

SERRÃO, E.A., y J.M. TOLEDO, "The search for sustainability in Amazonian pastures", en: A.B. Anderson (ed.), *Alternatives to Deforestation: Steps toward Sustainable Use of the Amazon Rain Forest*, pp. 195-214, Columbia University Press, Nueva York, 1990.

SESSIONS, J., y R. HEINRICH, "Harvesting", en: L. Pancel, *Tropical Forestry Handbook* (volumen 2), pp. 1326-1424, Springer-Verlag, Berlín, 1993.

SHUKLA, J., C. NOBRE, y P. SELLERS, "Amazon deforestation and climate change", *Science* 247: 1322-1325, 1990.

SMITH, D.M., *The Practice of Silviculture*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1986.

SOKAL, R.R., y F.J. ROHLF, *Biometry*, W.H. Freeman and Company, Nueva York, 1995.

SPURR, S.H., y B.V. BARNES, *Ecología Forestal*, A.G.T. Editor, México, D.F. 1980. [En inglés: Spurr, S. H., y B. V. Barnes, *Forest Ecology*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1992.]

STARK, N.M., y C.F. JORDAN, "Nutrient retention by the root mat of an Amazonian rain forest", *Ecology* 59: 434-437, 1978.

SWARTZMAN, G.L., y S.P. KALUZNY, *Ecological Simulation Primer*, Macmillan Publishing Company, Nueva York, 1987.

TANNER, E.V. J., V. KAPOS, y W. FRANCO, "Nitrogen and phosphorus fertilization effects on Venezuelan montane forest trunk growth and litterfall", *Ecology* 73: 78-86, 1992.

TERBORGH, J., *Diversity and the Tropical Rain Forest*, Scientific American Library, Nueva York, 1992.

VERISSIMO, A., P. BARRETO, M. MATTOS, R. TARIFA, y C. UHL, "Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas", *Forest Ecology and Management* 55: 169-199, 1992.

VITOUSEK, P.M., "Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests", *Ecology* 65: 285-298, 1984.

———, y J.S. DENSLOW, "Nitrogen and phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rainforest", *Journal of Ecology* 74: 1167-1178, 1986.

WALTER, H., y S.-W. BRECKLE, *Ökologie der Erde (Band 2): Spezielle Ökologie der Tropischen und Subtropischen Zonen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1984.

WEINER, J., "The influence of competition on plant reproduction", en: J.L. Doust y L.L. Doust, *Plant Reproductive Ecology*, pp. 228-145, Oxford University Press, Nueva York, 1988.

WEISCHET, W., y C.N. CAVIEDES, *The Persisting Ecological Constraints of Tropical Agriculture*, Longman Scientific & Technical, Essex; coedición con John Wiley & Sons, Nueva York, 1993.

WHITMORE, T. C., *Tropical Rain Forests of the Far East*, Clarendon Press, Oxford, 1984.

———, *An Introduction to Tropical Rainforests*, Clarendon Press, Oxford, 1990.

———, "Tropical rain forest dynamics and its implications for management", en: A. Gómez-Pompa, T. C. Whitmore, y M. Hadley (eds.), *Rain Forest Regeneration and Management*, pp. 67-89, UNESCO, París, and the Parthenon Publishing Group, Park Ridge, New Jersey, 1991.

WYATT-SMITH, J., W. P. PANTON, y B. A. MITCHELL, *Manual of Malayan Silviculture for Inland Forest* (Malayan Forest Records No. 23), impreso por Yau Seng Press, Kuala Lumpur, 1963.

ZEIDE, B., "Accuracy of equations describing diameter growth", *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1283-1286, 1989.

CAPÍTULO 5

MANEJO DEL BOSQUE TROPICAL: ASPECTOS ECONÓMICOS

La *economía* es la ciencia que investiga la asignación de recursos limitados. El objetivo de la economía es entender el intercambio entre bienes y valores ofrecidos y demandados en la sociedad, para proporcionar recomendaciones de cómo el sistema puede satisfacer al ser humano de manera más eficiente, sin excesos de demanda ni excesos de oferta de bienes. El precio monetario que una persona está dispuesta a pagar es el indicador clave de la prioridad que esa persona asigna a los bienes o valores dentro de sus restricciones presupuestales. La suma de los precios monetarios pagados por un bien o valor de toda la sociedad, indica la prioridad asignada al bien o valor, de acuerdo a las restricciones presupuestales de la sociedad.

Los economistas identifican preferencias pero no las seleccionan. Basándose en estas preferencias, aconsejan a la sociedad cómo producir y comercializar eficientemente los bienes y valores. Un bien o valor puede ser apreciado aunque no se comercialice en el mercado. Por ejemplo, la biodiversidad posee valor no-comercial. Especialmente en el campo de la economía ambiental se busca cuantificar los valores no-comerciales y encontrar soluciones para integrarlos en el sistema del mercado.

Los economistas tampoco deciden sobre el derecho a la propiedad de la tierra, ni sobre los patrones de uso de la misma; esto es del dominio de legisladores y abogados. Sin embargo, los economistas pueden llegar a conclusiones acerca de las consecuencias causadas por diferentes propiedades y patrones de uso.

En la actualidad, la economía no es una ciencia acerca de la ética, el poder o la cultura; estos campos son estudiados por la filosofía, la ciencia política y la antropología, respectivamente. Más bien, la economía trata la optimización de la oferta, en dependencia de las demandas de la sociedad.

5.1 PRECIOS DE EQUILIBRIO EN UN MODELO DE MERCADO

Los *precios de equilibrio* balancean la oferta y la demanda de un mercado libre,[1] de manera que no exista demanda excesiva de bienes o valores. Un modelo de equilibrio general con ejemplos numéricos para algunos productos forestales puede proporcionar importantes aspectos de cómo funcionan los mercados. Los modelos de precios de equilibrio caen dentro del tema de la *microeconomía,* la cual analiza el comportamiento eco-

[1] El término *mercado* se refiere a todas las transacciones de compra-venta de un bien o valor en cuestión. Los mercados con frecuencia no son completamente libres; sin embargo, el modelo de mercado libre sirve para muchos própositos analíticos.

nómico de los consumidores y productores individuales. Los lectores interesados en investigar los modelos gráficos y algebraicos de la microeconomía pueden consultar textos introductorios como el de Samuelson y Nordhaus (1993; en español), Baumol y Blinder (1991), o el texto avanzado de Varian (1992). Gregory (1987) explica los principios económicos específicamente para el manejo forestal.

La teoría de precios de equilibrio en los mercados fue desarrollada por primera vez por el economista francés Léon Walras (1834-1910). La existencia del equilibrio se comprobó en este siglo, y se han desarrollado algoritmos para calcularlo (véase Scarf, 1969, 1982).

UN MODELO HIPOTÉTICO

El siguiente modelo no deberá verse como un método para la predicción de precios reales; su valor se encuentra en revelar las características básicas y los patrones de reacción de mercados (véase también Ricker, 1997, sobre límites al crecimiento económico). Además, identifica los parámetros críticos de entrada que determinan sin ambigüedad el precio de un bien o valor: los recursos, las preferencias y las posibilidades de producción.

A continuación se presenta una situación hipotética de mercado. En un área de bosque tropical existen dos personas (o tipos de personas[2]) que participan en un mercado donde se comercializan frutos comestibles y madera. Para poder adquirir estos bienes, las dos personas requieren de ingresos. La persona 1 decide trabajar ocho horas por semana y alquilar 2 hectáreas de su terreno, con el fin de obtener ingresos para adquirir frutos y madera. La persona 2 decide trabajar 10 horas y alquilar 1.5 hectáreas de su terreno. La mano de obra y la tierra son *recursos* (= dotaciones) en los que se basa el proceso de producción. Obsérvese que el modelo supone derechos definidos y regulados de la propiedad de los recursos.

Por lo menos una persona en el modelo tiene que poseer tierra para hacer posible la producción de frutos y madera, debido a que es un sistema cerrado. Asimismo, se supone que los únicos productos deseados y existentes en el mercado son los frutos y la madera.[3] Finalmente, suponemos que no se hacen distinciones entre diferentes especies de frutas y de maderas en el mercado; las dos personas únicamente demandan "frutas" o "madera".

Además de los diferentes recursos, las dos personas (o tipos de personas) tienen *preferencias:* la persona 1 quiere gastar el 50 por ciento de su ingreso en frutos y el 50 por ciento en madera; la persona 2 quiere gastar sólo 30 por ciento de su ingreso en frutos y el 70 por ciento en madera.[4]

Finalmente este modelo de un sistema cerrado tiene que considerar el proceso de producción. Ésto se realiza por medio de una tabla de

---

[2] A cada una de las dos personas se les puede considerar como representativas de un grupo más grande; en este caso el modelo representa un mercado mayor, y no simplemente un intercambio entre dos personas.

[3] Otros productos que no sean frutos o madera se podrían adquirir mediante ingresos provenientes de horas adicionales de mano de obra y de uso de tierra adicional no considerados en este modelo.

[4] Si los precios de los frutos bajan, por ejemplo, un 50 por ciento, las personas simplemente compran el doble de frutos; esta suposición no es muy realista, ya que después de comprar cierta cantidad de frutos, no se desea adquirir más, aun y cuando los precios llegarán a cero. Para crear un modelo más realista se tendría que diseñar una función de demanda más compleja. En los mercados reales, los investigadores de mercado miden curvas de demanda para analizar las reacciones de los consumidores ante los cambios de precios. Los especialistas en mercadotecnia y publicidad tratan de influir activamente en las preferencias de los consumidores (véase Kotler, 1994, edición en español). Sin embargo, el propósito de este modelo es demostrar el funcionamiento de los mercados en general, más que predecir un equilibrio de mercado en el mundo real, lo que permite utilizar una función de demanda simple.

CUADRO 5.1. **Mercado hipotético semanal para frutos y madera**

Recursos (por semana):

	Mano de obra *(horas /semana)*	***Tierra*** *(hectáreas)*
Persona 1	8	2.0
Persona 2	10	1.5
En el mercado	$\Sigma = 18$	$\Sigma = 3.5$

Preferencias como un porcentaje fijo del ingreso:

	Para frutos	***Para madera***
Persona 1	50%	50%
Persona 2	30%	70%

Posibilidades de producción (por semana):

	Actividad 1 *(extensivo para frutos y madera)*	***Actividad 2*** *(intensivo para frutos)*	***Actividad 3*** *(intensivo para madera)*
Frutos (frutos)	5	50	0
Madera (m^3)	0.01	0	0.1
Mano de obra (horas)	−1	−7	−5
Tierra (hectáreas)	−1	−1	−1

posibilidades de producción, que resume la entrada de recursos (expresados en números negativos) y la salida de los productos (números positivos) en diferentes actividades de producción. Aquí consideramos tres posibles formas de manejo de bosque. La actividad 1 utiliza un enfoque extractivo del bosque: se recolectan frutos y madera del bosque no manipulado y por lo tanto con baja entrada de mano de obra. Se supone que en cada hectárea de tierra de bosque, al utilizar −1 hora de entrada de mano de obra por semana, la cosecha sustentable semanal promedio consiste en 5 frutos y en 0.01 metros cúbicos de madera. Se supone, que las actividades 2 y 3 son técnicas más intensivas de manejo forestal, que requieren de −7 y − 5 horas de mano de obra por semana respectivamente sobre cada hectárea de tierra de bosque. La actividad 2 maneja el bosque únicamente para la producción de 50 frutos por hectárea y nada de madera. Con la actividad 3 se maneja el bosque sólo para la producción de madera, lo que da como resultado una cosecha promedio semanal de 0.1 metros cúbicos por hectárea. El cuadro 5.1 resume el modelo de mercado.

Dados los recursos, las preferencias y las posibilidades de producción, tal como se presentan en el cuadro 5.1, solamente existe una solución matemática para los precios de mercado, de manera que no haya exceso de demanda, y la producción sea óptima. Los cálculos para encontrar dichos precios en nuestro modelo requieren del uso de un programa computacional[5] (véase Scarf,

[5] El doctor Herbert Scarf (Department of Economics, Yale University) amablemente nos proporcionó un programa no-comercial para realizar los cálculos.

CUADRO 5.2. **Solución para el modelo de mercado semanal**

Precio /fruto	1		
Precio /m³ madera	370.4		
Precio /hora mano de obra	7.1		
Precio /hectárea tierra /semana	1.6		
Producción semanal:	***Actividad 1***	***Actividad 2***	***Actividad 3***
Frutos (frutos)	2	50	0
Madera (m³)	0.04	0	0.21
Mano de obra (horas)	−0.4	−7.0	−10.6
Tierra (hectáreas)	−0.4	−1.0	−2.1
Consumo semanal:	***Frutos***	***Madera (m³)***	
Persona 1	30	0.08	
Persona 2	22	0.14	

1969, 1982); aquí solamente estamos interesados en analizar los resultados que se proporcionan en el cuadro 5.2.

Los precios en el cuadro 5.2 no se refieren a una moneda en especial, como dólares o pesos, pero son precios relativos y están calibrados de manera que un fruto tiene el precio de uno. Todos los otros precios están en "unidades de frutos". De acuerdo a nuestro modelo hipotético, un metro cúbico de madera vale 370.4 unidades de frutos, una hora de mano de obra vale 7.1 unidades de frutos y la renta semanal por hectárea de tierra 1.6 unidades de frutos. También en la realidad, los precios siempre representan valores relativos. Esto es obvio al considerar que, por ejemplo, el gobierno de México pudo eliminar tres ceros a los viejos pesos mexicanos para crear los nuevos pesos; para la gente no cambió nada, porque *todos* los precios y salarios fueron afectadas igualmente por un factor de 1,000.

El cuadro 5.2 muestra la combinación óptima de las actividades de producción en equilibrio. En esta solución óptima, del total de 3.5 hectáreas de tierra existentes en el mercado se utilizan 0.4 hectáreas para la actividad 1 (manejo extensivo), mientras que 1.0 hectárea se utiliza para la actividad 2 (manejo intensivo para frutos) y 2.1 hectáreas se utilizan para la actividad 3 (manejo intensivo para madera). Dado que se pueden producir semanalmente cinco frutos por hectárea bajo la actividad 1, en las 0.4 hectáreas en la solución óptima se producen 2 frutos [(5 frutos /hectárea)(0.4 hectáreas)].

Finalmente, el cuadro 5.2 presenta la solución de equilibrio para el consumo. La persona 1 consume 30 frutos y 0.08 metros cúbicos de madera. La persona 2 consume 22 frutos y 0.14 metros cúbicos de madera. En equilibrio, el consumo satisface exactamente a la demanda (es decir, no hay exceso de demanda). Además, la producción proporciona todos los bienes demandados.

El cuadro 5.3 muestra los cálculos apropiados que comprueban que la solución en el cuadro 5.2 cubre con todas las restricciones y además no hay exceso de demanda. En general, tampoco habrá exceso de oferta; no obstante puede existir un exceso de oferta de los factores de entrada para el proceso de producción, tal como cuando hay una gran oferta de mano de obra y muy poca tierra, lo que resulta en desempleo.

Un mercado libre siempre se dirige hacia su equilibrio, sin importar cuántos tipos de personas, productos y actividades existan. Esto se fundamenta en el siguiente razonamiento:

CUADRO 5.3. **Cálculos para confirmar los resultados del modelo de mercado**

Comparación de producción con consumo semanal

Oferta de frutos (actividad 1 a 3): 2 + 50 + 0	= 52 frutos
Demanda de frutos (persona 1 y 2): 30 + 22	= 52 frutos
Oferta de madera (actividad 1 a 3): 0.04 + 0 + 0.21	= 0.2 m^3
Demanda de madera (persona 1 y 2): 0.08 + 0.14	= 0.2 m^3
Demanda de mano de obra (actividad 1 a 3): 0.4 + 7.0 + 10.6	= 18 horas
Oferta de mano de obra (persona 1 y 2): 8 + 10	= 18 horas
Demanda de tierra (actividad 1 a 3): 0.4 + 1.0 + 2.1	= 3.5 hectáreas
Oferta de tierra (persona 1 y 2): 2 + 1.5	= 3.5 hectáreas

Comparación del consumo relativo semanal con las preferencias:

PERSONA 1:	
Gasto en frutos: (30) ($ 1)	= $ 30 ≙ 50%
Gasto en madera: (0.08)($ 370.4)	= $ 29.6 ≙ 50%
PERSONA 2:	
Gasto en frutos: (22)(1)	= 22 ≙ 30%
Gasto en madera: (0.14)($ 370.4)	= $ 51.9 ≙ 70%

Comparación del gasto con el ingreso semanal:

PERSONA 1:	
Gasto (para frutos y madera): (30)($ 1) + (0.08)($ 370.4)	= $ 60
Ingreso (de mano de obra y tierra): (8)($ 7.1) + (2)($ 1.6)	= $ 60
PERSONA 2:	
Gasto (para frutos y madera): (22)($ 1) + (0.14)($ 370.4)	= $ 73
Ingreso (de mano de obra y tierra): (10)($ 7.1) + (1.5)($ 1.6)	= $ 73

Si hay exceso de demanda, los productores elevarán los precios antes de que se agote el producto; como consecuencia la demanda disminuirá. Por otra parte, si la oferta es excesiva, los productores no serán capaces de vender toda su producción, sino hasta que bajen los precios al nivel de equilibrio.

INTRODUCCIÓN DE LA PREFERENCIA POR TIERRA NO-PRODUCTIVA

El cuadro 5.4 retrata la situación cuando la tierra posee un valor independiente al de producción de frutos o madera. Este caso se da cuando la gente aprecia áreas naturales protegidas para la recreación o cuando quiere usar terrenos para la construcción de viviendas. En el modelo, la persona 1 solamente quiere gastar parte de su ingreso para área protegida, es decir, proteger alguna tierra disponible en el mercado para obtener valores no-comerciales, por ejemplo, apectos estéticos y/o de recreación. Este gasto puede consistir en rentar tierra o en aportar fondos a grupos conservacionistas.[6] En cualquier caso, no se producirán en esta tierra ni frutos ni madera. Bajo esta circunstancia, el modelo del cuadro 5.1 se modifica de

[6] Si una persona aporta voluntariamente su tiempo y trabajo, entonces indirectamente está aportando dinero: permite que el grupo conservacionista ahorre en el pago de una persona contratada para hacer este trabajo.

CUADRO 5.4. **Introducción de diferentes niveles de preferencia de la persona 1 para área protegida, no-productiva**

Caso	*Original*	*Bajo*	*Medio*	*Alto*
Preferencia de la persona 1				
para frutos:	50%	48%	45%	35%
para madera:	50%	48%	45%	35%
para área protegida	0%	4%	10%	30%
Precio /fruto:	1	1	1	1
Precio /m³ madera	370.4	391.8	430.9	530.6
Precio /hora mano de obra[1]	7.1	6.3	4.5	0
Precio /hectárea tierra /semana	1.6	7.8	20.8	53.1
Precio /hectárea área protegida /semana	0	7.7	20.8	53.1
CONSUMO SEMANAL:				
Frutos por persona 1:	30	32	35	37
Frutos por persona 2:	22	22	23	24
m³ madera por persona 1:	0.08	0.08	0.08	0.07
m³ madera por persona 2:	0.14	0.13	0.12	0.11
hectáreas de área protegida por persona 1	0	0.3	0.4	0.6
hectáreas de área protegida por persona 2:	0	0	0	0

[1] Un precio de 0 para mano de obra siginifica que existe exceso de mano de obra; es decir, hay más mano de obra de la que se requiere para la producción. No obstante que se emplee algo de mano de obra para la producción, el programa computacional no distingue entre la mano de obra remunerada y el desempleo restante.

manera tal que la tabla de posibilidades de producción contiene una actividad 4, la cual requiere de una entrada de −1 hectárea de tierra para "producir" +1 hectárea de área protegida.

El cuadro 5.4 muestra varias preferencias de la persona 1, desde gastar 0 por ciento de su ingreso en área protegida (caso original) hasta gastar 30 por ciento (alta preferencia). Se puede ver en el cuadro 5.4, que con los cambios de las preferencias, los precios cambian para los cinco bienes involucrados. Esto es una observación fundamental general (no sólo para valores no-comerciales):

> *En un mercado libre los precios son variables; los precios se ajustan de tal manera que los mercados se mantienen en equilibrio.*[7]

Por lo tanto, es un malentendido pensar en precios "injustos" dentro de un mercado verdaderamente libre, porque no hay una decisión ética de alguien involucrado en determinar el precio de un mercado libre. Por otro lado, en el caso de la distribución de la propiedad sí se puede hablar de situaciones "injustas".

Mientras menos terreno se emplee en la producción de frutos o madera, los precios relativos de estos productos forestales cambiarán (véase el cuadro 5.4). En nuestro ejemplo hipotético, si la preferencia de la persona 1 por el área protegida aumenta de 0 por ciento a 30 por ciento, el precio relativo de 1 metro cúbico de madera aumenta de 370.4 unidades de frutos (el valor unitario) a 530.6 unidades de frutos. Es decir, se dispone de menos terreno para la producción, por lo que

[7] Un principio fundamental de los mercados competitivos radica en que los consumidores están bien informados acerca de los productos competitivos y sus precios al momento de tomar decisiones, de manera que las compañías compiten realmente.

el valor de los productos de la tierra productiva (= no protegida) aumenta. El precio por mano de obra se reduce porque existe una cantidad fija de oferta de mano de obra, y a su vez se disminuye la tierra disponible para la producción (es decir, la mano de obra pierde valor). El precio por rentar tierra se eleva, ya que la tierra productiva se escasea cuando hay más área protegida.

Una situación similar a este modelo de mercado se desarrolló recientemente en la zona noroeste de Estados Unidos. Cuando se protegieron tierras con bosque maderable, tanto los precios de la madera como el desempleo de trabajadores forestales aumentó (= exceso de mano de obra, como en el caso de alta preferencia en el cuadro 5.4). Sin embargo, el paisaje protegido ha resultado en beneficios comerciales, por ejemplo turísticos, un aspecto que nuestro modelo no considera.

En este modelo, los consumidores tienen que aportar algo de su ingreso para conservar parte de la tierra en su estado natural. En la realidad, se espera obtener frecuentemente dicha protección sin pagar por ello. Existen costos de oportunidad (véase el apartado 5.2) relacionados con la protección de la tierra. Éstos pueden incluir ingresos no percibidos por no aprovechar los terrenos, incremento en los precios de productos de terrenos restantes, precios elevados de todos los terrenos y reducción del precio de la mano de obra. Dichos costos son mayores mientras más productiva sea la tierra. La conservación es menos costosa cuando la tierra está disponible en exceso o tiene un valor marginal. Existen dos condiciones principales bajo las cuales la tierra del bosque tropical tiene poco o ningún valor comercial. Primero, la tierra de los bosques con suelo arenoso o generalmente pobre muestra baja productividad. Segundo, incluso la tierra boscosa con suelos más ricos frecuentemente tienen poco o ningún valor comercial, cuando el difícil acceso a los mercados resulta en altos costos de transporte. En las décadas recientes, se ha desarrollado en la mayoría de los países tropicales mayor infraestructura y acceso a tierras con bosque, lo que ha dado como resultado drásticos cambios en el valor de la tierra.

El cuadro 5.4 revela una retroalimentación interesante en el modelo. El propietario con más tierra se beneficia cuando en el mercado se protege cierta tierra; mientras la persona 1 tiene una mayor preferencia por el área protegida, más se beneficia no sólo por obtener área protegida sino también porque habrá un mayor consumo. En la situación original, la persona 1 puede comprar 30 frutos, y madera con un valor equivalente a 29.6 unidades de frutos, lo que en conjunto da un total de 59.6 unidades de frutos. Similarmente, la persona 2 puede comprar un total de 73.9 unidades de frutos, más que la persona 1 (55 por ciento *versus* 45 por ciento). En el caso de la preferencia alta de la persona 1 por el área protegida (pero con las otras condiciones sin cambio), la persona 1 puede comprar 37 frutos, madera con un valor de 37.1 unidades de frutos y pagar por el área protegida un valor de 31.9 unidades de éstos, un total de 106 unidades de frutos. Por otro lado, la persona 2 puede comprar un total de 77.4 unidades de frutos, que ahora es menos que lo de la persona 1 (42 por ciento *versus* 58 por ciento).[8]

Paradójicamente la persona 2, la cual no tiene ningún interés por el área protegida, sufrirá cuan-

[8] El total del valor en unidades de frutos en el mercado aumenta de 133.5 en el caso original, a 183.4 en el caso de alta preferencia. Esta inflación de unidades de frutos ocurre porque no permitimos una disminución del precio de los frutos entre el caso original y el caso de alta preferencia. Con un suministro fijo de tierra y mano de obra, así como con una eficiencia de producción fija, no hay ningún enriquecimiento mágico. En el caso original, se producen 52 frutos y 0.22 metros cúbicos de madera en el mercado; en el caso de alta preferencia, se producen 61 frutos (lo que es más alto) y 0.18 metros cúbicos de madera (lo que es más bajo), al tiempo que se proporcionan 0.11 hectáreas de área protegida.

do la persona 1 tenga una creciente demanda en el mercado por área protegida, y la persona 2 se volverá más pobre. La razón es que una disminución en la tierra disponible para producción causa un incremento en su precio de renta. La persona 1, la cual posee más tierra que la persona 2 (2 hectáreas versus 1.5), se beneficia de este desarrollo de precios, porque el ingreso por alquilar tierra aumenta. La mano de obra, de la cual posee más la persona 2, disminuye en su precio; en consecuencia, la persona 1 se vuelve más rica por la protección de tierra en comparación con la persona 2.

IMPLICACIONES PARA LOS BOTÁNICOS ECONÓMICOS

Los botánicos económicos están interesados en descubrir nuevos productos vegetales, pero a veces suponen de manera equívoca, que ésto por sí solo contribuye necesariamente a un desarrollo económico. El modelo aclara que los principales componentes en una economía —recursos, preferencias y posibilidades de producción— no pueden separarse al analizar el comportamiento de un mercado. El mejoramiento de las posibilidades de producción y en especial de la eficiencia en la producción es el factor principal que conduce a un desarrollo económico.[9]

La introducción exitosa de un nuevo producto requiere de una demanda —es decir, una preferencia— por el producto en sí o por alguna forma procesada del mismo. La demanda no nace automáticamente; se tiene que introducir el producto en el mercado y promoverlo de manera activa. Si un nuevo producto necesita ser procesado, se tienen que establecer instalaciones para ello. Estos temas ya no son del dominio de la botánica económica, sino de la administración empresarial. Los botánicos económicos pueden y deberían colaborar con especialistas en administración de empresas, de tal forma que un grupo identifique recursos vegetales promisorios e investigue su manejo, mientras que el otro trabaje en el desarrollo de productos y mercadotecnia. En términos de nuestro modelo podemos definir el papel del botánico económico de la siguiente manera:

> *Los botánicos económicos identifican recursos vegetales e investigan su manejo: determinan nuevas posibilidades de producción y analizan las existentes. Tratan de optimizar el uso de la tierra.*

5.2 OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA TIERRA

En un mercado libre, los bienes producidos en un terreno se pueden vender y obtener dinero para comprar otros bienes. En esta economía de intercambio, el criterio para el uso óptimo de la tierra no se encontrará si sólo se analizan bienes sin considerar precios. Un mercado libre, sin considerar impuestos o subsidios, informa al productor cuáles productos y servicios comerciales quiere o necesita la sociedad; un precio alto en la compra de madera o cualquier otro bien indica una demanda alta o una oferta baja del mismo. Por lo tanto, la producción de bienes que tienen un alto precio es benéfico no sólo para los productores sino también para la sociedad en su totalidad. Por esta razón, el uso óptimo de la tierra para las personas que participan en un mercado donde se maneja dinero, generalmente será aquel que maximice el valor monetario de la tierra.

El concepto del *valor presente neto,* explicado más adelante, resulta de importancia capital al analizar oportunidades de cualquier tipo de inversión (véase un libro sobre financiamiento corporativo como Ross *et al.*, 1993). Los valores presen-

[9] Se puede definir el *desarrollo económico* como un mejoramiento en el bienestar de toda la sociedad (véase Gillis *et al.*, 1987).

tes netos hacen posible comparar el total de ingresos obtenidos y costos incurridos en diferentes puntos de tiempo de actividades alternativas. En nuestro análisis, estas actividades de inversión pueden ser estrategias alternativas en el uso de la tierra, como por ejemplo el manejo del bosque en comparación con la agricultura. El concepto del valor presente neto nos llevará a dos reglas fundamentales:

> REGLA DE LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA TIERRA:
> *En cualquier terreno, la actividad óptima de manejo es aquella que maximiza el valor presente neto del terreno.*
>
> REGLA DEL VALOR DE LA TIERRA:
> *El precio apropiado de un terreno es igual al valor presente neto del terreno.*

Tal vez algunos lectores podrían malinterpretar el intento de representar todo lo que proporciona un terreno con sólo una cifra monetaria (el valor presente neto). Es crucial entender que la optimización del uso de la tierra significa elegir entre diferentes alternativas y para eso se necesita un criterio. Podríamos decidir maximizar la producción de madera o la de frutos. Sin embargo, en una economía de intercambio (= economía de mercado) siempre se comercializará. Si una persona puede comprar más madera produciendo y vendiendo frutos, en lugar de producir madera para ella misma, entonces es lógico que produzca frutos aun cuando quiera madera. Por lo tanto, maximizar el valor monetario maximiza el poder de compra del propietario de la tierra, y permite adquirir libremente cualquier bien que se quiera.[10] Los valores no-comerciales como la demanda de biodiversidad son más difíciles de cuantificar, pero en principio pueden ser tratados en la optimización igual que los valores comerciales (véase el apartado 5.7).

INVERSIÓN E INGRESO

Las personas ganan dinero para gastarlo o invertirlo. Si invierten su dinero, esperan una utilidad neta de la inversión.[11] Las inversiones se pueden realizar de diferentes formas. Cuando se trata de pequeñas cantidades de dinero en áreas rurales, se podría pensar en proyectos privados de inversión, como comprar algún terreno para cultivarlo y manejarlo. Las grandes inversiones hoy en día se realizan por medio de acciones o bonos[12] en los mercados financieros mundiales. El inversionista

---

[10] Individuos, empresas e incluso países tienen una ventaja si se especializan en lo que mejor producen, y adquieren de otros lo que éstos mejor producen. Este fenómeno se ha denominado *ley de la ventaja comparativa* (véase por ejemplo Baumol y Blinder, 1991). Desde la revolución industrial europea al final del siglo XVIII y principio del XIX, tanto personas y regiones como todos los países se han especializado más y más en ciertos productos. Esta "ley" también es la base filosófica para los tratados de libre comercio, como el que recientemente se estableció entre México, Estados Unidos y Canadá, o dentro de la Unión Europea, así como para una creciente globalización de las economías. Los países con bosques tropicales ciertamente tienen una ventaja competitiva para la producción de frutos comestibles exóticos y maderas finas tropicales.

[11] Los términos económicos no siempre son utilizados de manera consistente. Por lo tanto hay que definirlos en cada libro. La *utilidad neta* (en inglés "net profit") se refiere a todos los ingresos de la inversión menos todos los costos, incluyendo la depreciación de cualquier activo comprado; también se le podría denominar *ingreso neto* (en inglés "net income") o *retorno neto* (en inglés "net return" o "net revenue"; la palabra *utilidad* se debería traducir como "profit" y no como "utility", ya que «utility» se refiere a la satisfacción del consumidor). Algunos libros de administración financiera distinguen utilidad bruta, utilidad neta antes de impuestos y utilidad neta después de impuestos. Una cantidad *neta* es siempre una cantidad de la cual ya están sustraídos los costos y/o disminuciones (como impuestos). Al término *ingreso* (en inglés "income") también se le puede denominar *retorno* o *renta* (en inglés "return" o "revenue").

[12] Una *acción común* de una corporación es un contrato que le proporciona al dueño una parte de la propiedad de la compañía, y le rinde periódicamente una parte de la utilidad neta, denominada *dividendo*. Un *bono* es un contrato de una corporación que promete pagar a su dueño un pago periódico de interés, así como una cantidad fija a la fecha de vencimiento (Baumol y Blinder, 1991).

busca el proyecto de inversión con la más alta utilidad neta posible.

No es un asunto solamente de interés teórico analizar las oportunidades de acciones y bonos en regiones de bosques tropicales. Las economías de la mayoría de los países del mundo se integran crecientemente, nacional e internacionalmente. Se hace posible para más y más personas de áreas rurales comprar acciones y bonos del mercado nacional y aun internacional. Por ejemplo, empresas bancarias de México como Bancomer o Banamex están representadas en ciudades rurales como San Andrés Tuxtla (localizada en el área de bosque tropical de Los Tuxtlas en Veracruz) donde ofrecen muchas de las oportunidades de inversión que hay en la Ciudad de México.

Al comparar proyectos de inversión, el inversionista no se interesa tanto en la utilidad neta absoluta, sino en la tasa de crecimiento de la inversión inicial. Definimos la *tasa de rendimiento*[13] como el crecimiento neto de la inversión. Si una inversión de $1,000[14] resulta en una utilidad neta de $60 cada año, entonces la tasa de rendimiento continuo x se puede calcular aplicando la función de e; esta es una función importante en el tema de este capítulo y por lo tanto está explicada en el cuadro 5.5.

$$
\begin{aligned}
(\$1000)\,(e^{(x)(1\text{año})}) &= (\$1000 + \$60)\\
e^{x} &= 1060/1000\\
x &= \mathrm{Ln}[1060/1000]\\
x &= 0.058\\
x &= 5.8 \text{ por ciento}
\end{aligned}
$$

Quizá algunos lectores estén sorprendidos de que un ingreso de $60 después de un año de invertir $1,000 representa una tasa de rendimiento de 5.8 por ciento en lugar de 6 por ciento. La razón es que calculamos la tasa de rendimiento continua en lugar de la tasa discreta. La diferencia entre tasas continuas y discretas, la cual es importante conceptualmente, se explica en el cuadro 5.6.

La tasa de rendimiento de una inversión no debe confundirse con la tasa de inflación, aunque los dos fenómenos se pueden modelar utilizando funciones de crecimiento similares. *Inflación* es una situación en la cual los precios de la mayoría de los bienes y servicios se incrementan a través del tiempo (Abel y Bernanke, 1992). Existen diferentes causas de inflación,[15] las cuales tienen que ver con cambios en la demanda agregada y la oferta agregada del dinero en la economía. Lo que resulta problemática es la inflación impredecible, porque hace difícil si no imposible la inversión racional.

La tasa de inflación no representa una tasa de rendimiento, ya que la cantidad aumentada de dinero recibida en el futuro viene acompañada del mismo incremento que en los precios de los productos, por lo que no hay un ingreso real. Por ejemplo, si la tasa de inflación continua anual es 10 por ciento y la tasa de rendimiento real continua anual es 5 por ciento, entonces $1,000 aumentarán durante 8 años nominalmente a $3,320 [($1,000)($e^{(0.10+0.05)(8)}$)], pero el valor real se calcula como $1,492 [($1,000) ($e^{(0.05)(8)}$)], y

[13] La tasa de rendimiento se llama también *tasa de retorno* (en inglés "rate of return"). Podríamos llamarla *utilidad neta relativa*, pero preferimos emplear el término "tasa" ya que se refiere a una tasa de crecimiento.

[14] Aquí utilizamos $ para denominar moneda sin importar si se trata de dólares (= US$), pesos o cualquier otra divisa: podríamos denominar a $ como "unidades de dinero". La moneda no importa, porque no nos interesa el valor absoluto de algún bien real, solamente el valor relativo y su cambio relativo.

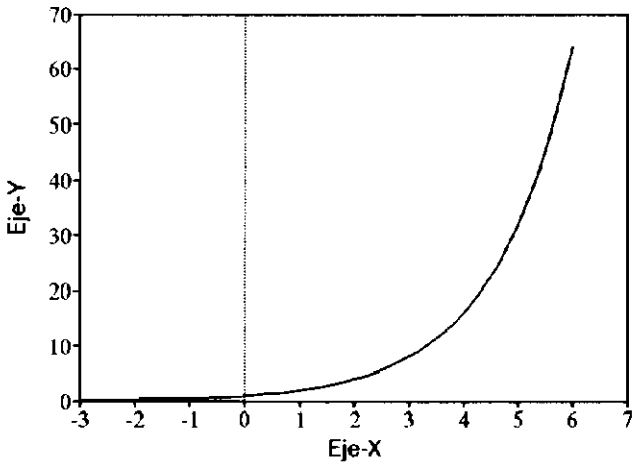
[15] Una causa principal de la inflación es la impresión e introducción de dinero en el mercado. Este dinero extra no representa un mayor valor; consecuentemente, para una cantidad constante de bienes repentinamente existe una cantidad monetaria superior, y los precios aumentan. El dinero extra es introducido normalmente por el gobierno, asociado con el banco central del país, por varias razones, como para "pagar" deudas gubernamentales (véase libros sobre macroeconomía, por ejemplo Abel y Bernanke, 1992).

CUADRO 5.5. **Funciones exponenciales y la función de *e***

En economía, con frecuencia nos interesa analizar los patrones de crecimiento (esto puede ser crecimiento negativo); el crecimiento se modela utilizando funciones de la forma $Y = a^x$, a las cuales se denomina *funciones exponenciales* o *funciones de crecimiento*. Por ejemplo, si $a = 2$:

$2^{-2} = 0.25$
$2^{-1} = 0.5$
$2^0 = 1$
$2^1 = 2$
$2^2 = 4$ y así sucesivamente

La gráfica 1 muestra la función de −3 a +6.



Gráfica 1

Cualquier función exponencial se puede convertir:

$\mathbf{Y = a^x = e^{(X)(Ln[a])}}$ en que e = número de Euler (2.718281828)
Ln = logaritmo natural

Para nuestro ejemplo Ln[2] = 0.693:

$2.718^{(-2)(0.693)} = 0.25$
$2.718^{(-1)(0.693)} = 0.5$ y así sucesivamente.

Existen dos características por las cuales las funciones de *e* son tan importantes para nuestros propósitos:

1) **La función de *e* modela un cambio proporcional continuo con una tasa de crecimiento relativa constante:** por ejemplo, considera una tasa de interés de 4 por ciento, entonces tenemos la siguiente función para el crecimiento monetario (aquí de $1):

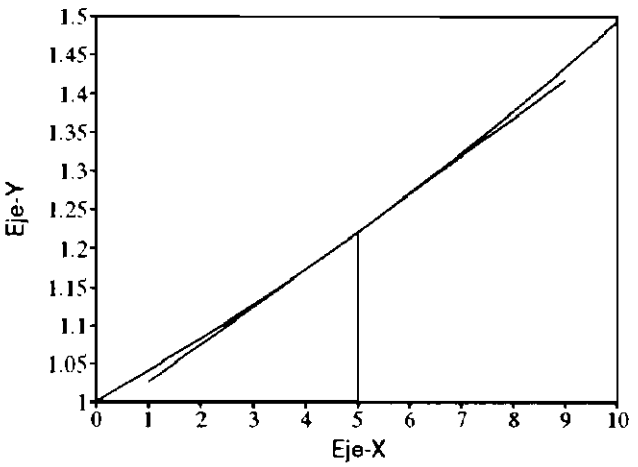
$Y = (\$1)\,(e^{(0.04)(X)})$.

La pendiente de esa función es la derivada dY /dX de la función (véase el cuadro 5.8):

$dY/dX = (0.04)(e^{(0.04)(X)})$

La pendiente representa el crecimiento monetario absoluto en un punto en el tiempo X. La tasa de crecimiento relativa es el crecimiento monetario absoluto, dividido por la cantidad de dinero que existe en ese punto en el tiempo:

$(dY/dX)/Y = (0.04)(e^{(0.04)(X)})/(e^{(0.04)(X)})$
$= 0.04$



Gráfica 2

En consecuencia, cualquiera que sea el valor de X, el valor de Y aumentará en un tasa de 4 por ciento. La gráfica 2 muestra, que con X = 5 la tangente tiene una pendiente dY /dX de 0.0489 /1 = 0.0489. El crecimiento relativo (dY /dX) /Y entonces es 0.0489 /1.22 = 0.04 o 4 por ciento. La función de *e* hace posible modelar un cambio continuo dada una tasa de cambio constante (aquí 4 por ciento).

2) **La función de *e* es acompañada por la función del logaritmo natural "Ln"**: La función del logaritmo natural se puede calcular fácilmente en muchas calculadoras de bolsillo, y permite realizar conversiones. Las siguientes ecuaciones son las mismas:

$\mathbf{Y = e^x}$
$\mathbf{Ln[Y] = Ln[e^x]}$
$\mathbf{Ln[Y] = X}$

CUADRO 5.6. Tasas continuas y tasas discretas

A lo largo de este capítulo utilizamos tasas de crecimiento continuas (por ejemplo para la tasa de descuento, de interés, de inflación). Aunque numéricamente no hay una gran diferencia con respecto al resultado entre una tasa discreta y una continua, es conceptualmente importante que el lector entienda la diferencia.

Si alguien deposita $1,000 en el banco, y recibe una tasa de interés *discreta* anual de 4 por ciento, después de un año se tendrán $,1,040 [1,000 + (0.04)($1,000)]. Por otra parte, si recibe una tasa de interés *continua* anual de 4 por ciento, después de un año se tendrá $1,040.81 [($1,000)($e^{(0.04)(1)}$); una introducción a la función de *e* se proporciona en el cuadro 5.5]. ¿Qué son estos $0.81 adicionales? Representan interés sobre interés. En el caso de la tasa continua no se recibirán discretamente intereses a fin de año, sino constantemente, y así los $1,000 aumentan continuamente, dando interés no sólo una vez por año sino también sobre el interés del interés recibido previamente durante el año. Por ejemplo, después de una 1/365 parte del año (= 1 día), los $1,000 habrían ya aumentado a $1,000.11 [($1,000)($e^{(0.04)(1/365)}$)]. En cualquier punto en el tiempo durante el año, el dinero se incrementa en 4 por ciento anual, y no solamente como una cantidad en conjunto a fin de año.

Una tasa discreta se puede simular por medio de una tasa continua ajustada:

$$r_{continua} = Ln[1 + r_{discreta}]$$

en que

Ln = logaritmo natural

r = tasa de interés, descuento, o cualquier otra tasa de crecimiento

$r_{discreta} > -1$

También se puede convertir una tasa continua en una tasa discreta:

$$r_{discreta} = e^{r_continua} - 1$$

Por ejemplo, una tasa de interés discreta de 4 por ciento se puede sustituir mediante la siguiente tasa de interés continua:

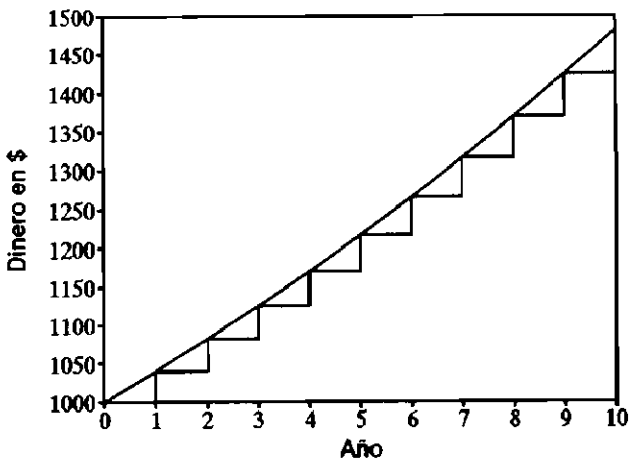
$$r = Ln[1 + 0.04] = 0.03922$$

Si regresamos a nuestro ejemplo de recibir una tasa de interés discreta anual de 4 por ciento, entonces después de un año se tendrán ($1,000)($e^{(0.03922)(1)}$) = $1040, como se calculó con una tasa de interés discreta anual. La gráfica 1 muestra, cómo la función de crecimiento continuo pasa por las esquinas de la función de crecimiento discreto una vez por año, y por lo tanto sirve para simular la función de crecimiento discreto en estos puntos (y solamente en estos puntos).

Todas las fórmulas de descuento resumidas en el cuadro 5.11 tienen tasas de descuento continuas; sin embargo, al utilizar la fórmula $r = Ln[1 + r_{discreta}]$, las fórmulas en el cuadro 5.11se pueden usar también para las tasas de descuento discretas.

En otros libros de texto, el lector observará con frecuencia fórmulas explícitas de descuento para tasas discretas. Éstas no son matemáticamente diferentes de nuestras fórmulas cuando están ajustadas para tasas discretas; por ejemplo, podemos derivar la fórmula 1 del cuadro 5.11 para una tasa de descuento discreta:

$$\begin{aligned} VP &= (A)(e^{(-r_continua)(T)}) \\ &= (A)(e^{(-Ln[1+r_discreta])(T)}) \\ &= (A)(1 + r_{discreta})^{-T} \\ &= A/(1 + r_{discreta})^{T} \end{aligned}$$



Gráfica 1

Esta fórmula se encuentra en varios textos como el de Ross *et al.* (1993) sin una afirmación explícita que trata únicamente el caso de una tasa discreta. Aunque los bancos generalmente dan tasas de interés discretas, es matemáticamente más facil trabajar con tasas continuas; en particular podemos aplicar las técnicas de diferenciación y de integración (véase el cuadro 5.8).

refleja un aumento real de valor.[16] En la realidad los contratos se basan en tasas nominales, porque los pagos se hacen siempre en valores nominales. Sin embargo, para los propósitos de este libro utilizamos exclusivamente valores reales. Para calcular valores presentes netos (véase más adelante), la tasa de descuento tiene que reflejar una tasa de rendimiento real, porque en los modelos de descuento todos los pagos futuros se expresan en dinero presente no-inflado.

La figura 5.1 muestra las tasas de rendimiento reales discretas de las acciones comunes y de los bonos del gobierno a mediano plazo entre 1926 y 1991 en Estados Unidos. Obsérvense las grandes fluctuaciones que resultan en altas ganancias para un año y altas pérdidas para otro. El cuadro 5.7 muestra los promedios de las tasas de rendimiento nominales discretas de las acciones comunes, los bonos del gobierno a mediano plazo, así como los promedios de las tasas de rendimiento nominales que ofrecen otras inversiones.

Estas tasas de rendimiento representadas en el cuadro 5.7 no son exclusivas de Estados Unidos; también se aplican en otros países. Por ejemplo, en México la tasa de rendimiento real anual promedio entre 1985 y 1988 para Certificados de la Tesorería con vencimiento a un mes, era de 13.1 por ciento. En Colombia, era de 9.8 por ciento para certificados de depósito a término entre 1981 y 1988 (CEPAL, 1989).

Los inversionistas en Estados Unidos, aprovechando todos los mecanismos de inversión enlistados en el cuadro 5.7 obtuvieron una tasa de rendimiento real continua anual promedio de

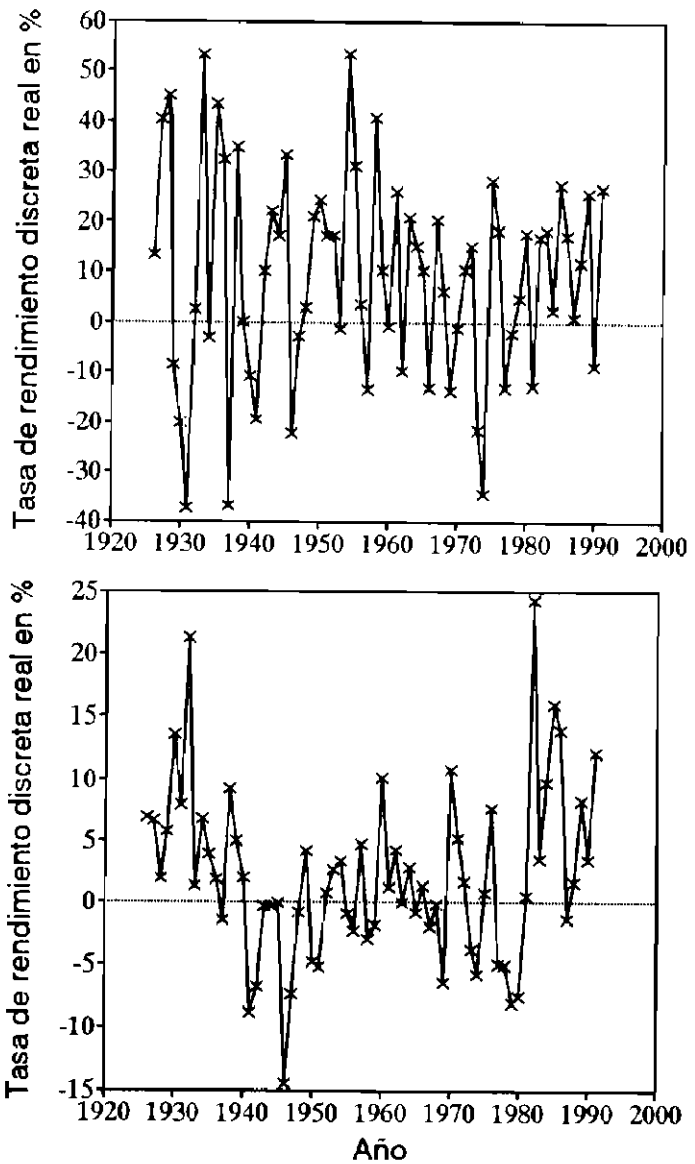


Figura 5.1. Tasas de rendimiento reales discretas anuales de las acciones comunes (arriba) y de los bonos del gobierno a mediano plazo (abajo) entre 1926 y 1991 en Estados Unidos.

[16] *Tasas reales* son tasas ajustadas a la inflación. *Tasas nominales* son tasas no-ajustadas a la inflación. Utilizando una tasa de rendimiento real continua anual de 5 *por ciento* resulta en un *valor real* de la cantidad *A* en el tiempo *T* de $(A)(e^{(0.05)(T)})$. Utilizando una tasa de rendimiento nominal de 15 por ciento resulta en un *valor nominal* de $(A)(e^{(0.15)(T)})$. Para encontrar matemáticamente la tasa real, se considera la manera en que el valor nominal crece sobre el valor inflado: valor real = $(A)(e^{(0.15)(T)})/[(A)(e^{(0.10)(T)})] = (A)(e^{(0.15-0.10)(T)}) = (A)(e^{(0.05)(T)})$; entonces la tasa de rendimiento real es 5 por ciento. En general para tasas continuas: *tasa real = tasa nominal - tasa de inflación.* Por ejemplo, si una manzana costara $1.00 ahora, entonces costará $1.105 $[(\$1)(e^{(0.10)(1)})]$ en un año por la inflación. En este año, $1,000 invertidos aumentarán a un valor nominal de $1,161.83 $[(\$1{,}000)(e^{(0.15)(1)})]$, pero a un valor real de $1,051.27 $[(\$1{,}000)(e^{(0.05)(1)})]$. Mientras el inversionista puede comprar 1,000 manzanas ahora, en un año podrá obtener 1,051 [1,161.83 /1.105], un aumento (continuo anual) de 5 por ciento.

CUADRO 5.7. **Tasas de rendimiento promedio de varias oportunidades de inversión en Estados Unidos 1926-1991**[1]

Tipo de inversión	*Tasa de rendimiento nominal discreta anual promedio (%)*
Acciones comunes	12.43
Acciones de pequeñas compañías	17.49
Bonos de corporaciones a largo plazo	5.73
Bonos del gobierno a largo plazo	5.12
Bonos del gobierno a mediano plazo	5.28
Certificados de la Tesorería de Estados Unidos	3.75
PROMEDIO DE LAS SEIS OPORTUNIDADES	**8.30**
TASA DE INFLACIÓN PROMEDIO ANUAL DISCRETA	**3.25**

Deseamos encontrar la tasa de rendimiento real continua anual promedio de las seis oportunidades de inversión (ésta será nuestra tasa de descuento empírica). Se puede sustraer solamente la tasa de inflación continua de la tasa de rendimiento nominal continua. La tasa de rendimiento nominal continua anual promedio fue de 7.97 por ciento [Ln[1 + 0.083] (véase el cuadro 5.6) y la tasa de inflación continua anual promedio fue de 3.20 por ciento [Ln[1 + 0.0325]].

TASA DE RENDIMIENTO REAL CONTINUA ANUAL PROMEDIO:
7.97 por ciento - 3.20 por ciento = *4.77 por ciento o 5 por ciento redondeada*

[1] Según Ross *et al.* (1993); los datos originales son de R. G. Ibbotson y R. A. Sinquefield, *Stocks, Bonds, and Inflation, 1992 Yearbook*, Ibbotson Associates, Chicago.

4.77 por ciento, o redondeada a 5 por ciento, entre 1929 y 1991. Esto es un valor importante porque al desconocer las situaciones de inversión específicas locales, tenemos que considerar a un inversionista promedio en una situación de inversión promedio.

> *Suponemos para el análisis posterior que cualquier inversionista puede ganar una tasa de rendimiento real anual promedio a largo plazo de 5 por ciento, considerando todas las oportunidades de inversión.*

CONCEPTO DE DESCUENTO

Un inversionista generalmente tiene varias oportunidades de invertir en proyectos. Por ejemplo, el propietario de un terreno podría optar por la ganadería, la agricultura, o el manejo forestal. Después de comparar, seleccionará el proyecto de inversión con la tasa de rendimiento real más alta. La utilidad neta no aprovechada de la segunda mejor alternativa de inversión se denomina *costo de oportunidad*. Este término no sólo se aplica a inversiones, sino también en un sentido más amplio a cualquier actividad.

El concepto del costo de oportunidad es de importancia fundamental para el pensamiento económico, porque el costo de oportunidad representa el trueque[17] de una actividad. Solamente deseamos continuar con una actividad cuando es mejor que la segunda mejor alternativa que tenemos; cuando el costo de oportunidad se vuelve

[17] Aquí usamos la palabra "trueque" como traducción del término en inglés *trade-off;* se refiere a un intercambio entre diferentes acciones posibles bajo restricciones (presupuestales). Por ejemplo, si uno tiene US$1,000, hay un *trade-off* entre comprar una computadora y hacer una viaje al extranjero. El concepto de *trade-off* es sumamente importante en economía, porque ésta, como ciencia, investiga las acciones alternativas del ser humano bajo recursos limitados.

demasiado alto entonces cambiamos de actividad (este será nuestro criterio en el apartado 5.3 para decidir cuándo cosechar árboles maderables). El costo de oportunidad proporciona el valor mínimo comparativo que debe tener una actividad para que valga la pena realizarla. Si hay una oportunidad de inversión A con una tasa de rendimiento real de 10 por ciento, un inversionista no escogerá la inversión B con 8 por ciento, porque el costo de oportunidad sería una tasa de rendimiento real perdida de 10 por ciento. El inversionista escogerá la inversión A con 10 por ciento, así que el costo de oportunidad será la tasa de rendimiento real perdida de 8 por ciento de la inversión B. Si la tasa de rendimiento real de la inversión A cae por debajo de 8 por ciento, entonces el costo de oportunidad por continuar con ella se vuelve demasiado alto, y el inversionista cambiará.

En la botánica económica de bosques tropicales nos enfrentamos al problema de comparar altas utilidades netas por cosechar madera después de décadas, contra bajas utilidades netas recibidas anualmente por la ganadería o la agricultura. Esta comparación solamente se puede llevar a cabo después de considerar el valor del tiempo; para un inversionista, los ingresos recibidos más tarde tienen menos valor que los recibidos más temprano. Para solucionar este tipo de problema, los economistas analizan qué cantidad de dinero adicional tendría que recibir el inversionista para que no le afectara recibir ingresos más tarde (o pagar costos más temprano), o alternativamente cuánto dinero estaría dispuesto a sacrificar el inversionista por recibir ingresos más temprano (o pagar costos más tarde). Dado este monto de dinero, el tiempo ya no importa en el análisis costo-beneficio. Por ejemplo, si un inversionista puede obtener una tasa de rendimiento real anual de 5 por ciento, entonces el tiempo tiene un valor equivalente a un aumento anual de 5 por ciento sobre el dinero invertido; para esperar un año, antes de invertir, el inversionista querrá un pago del costo de oportunidad de la inversión perdida, es decir, un aumento de 5 por ciento del dinero no-invertido.

> *El tiempo no afecta a un inversionista, siempre y cuando se le pague el costo de oportunidad por esperar.* Descontar *es el proceso de disminuir el valor de una cantidad determinada de ingreso o costo en función del tiempo, de manera que a un inversionista en el presente no le afecte el tiempo en que reciba el ingreso o tenga que pagar el costo. Al valor que resulta después de descontar la cantidad determinada de ingreso o costo se le llama* valor presente *del ingreso o costo. Como* tasa de descuento *se tiene que emplear la tasa de rendimiento real promedio más alta posible, para el periodo de tiempo considerado en proyectos de inversión del mundo real en los cuales el inversionista podría participar.*

La tasa de descuento tiene que derivarse de los proyectos con la tasa de rendimiento real promedio más altas posible, porque el costo de oportunidad por esperar, y por lo tanto el valor del tiempo, es el valor perdido de estos proyectos. Si por ejemplo un inversionista puede obtener una tasa de rendimiento real anual promedio de 15 por ciento a través de un periodo de 10 años, el tiempo tiene un valor equivalente a un aumento anual de 15 por ciento sobre el dinero invertido a lo largo de ese tiempo.

La tasa de descuento debe representar un número empírico. Por lo tanto, la tasa de descuento debería derivarse de proyectos reales, para los cuales ya se conocen tasas de rendimiento históricas. Típicamente los modelos de descuento se aplican en periodos largos. La tasa de descuento debe reflejar un valor promedio de las tasas de rendimiento reales esperadas a lo largo del periodo en cuestión y no una fluctuación de corto plazo.

En el cuadro 5.7 analizamos tasas de rendimiento promedio, y señalamos que para nuestro análisis general supondremos que cualquier

inversionista a largo plazo tendrá la posibilidad de obtener una tasa de rendimiento real anual de 5 por ciento, considerando todas las oportunidades de inversión. Sin embargo, en una situación específica, la tasa de rendimiento real promedio esperada del mejor proyecto de inversión podría ser diferente de 5 por ciento; si esta tasa esperada es por ejemplo 8 por ciento, entonces una tasa de descuento de 8 por ciento es apropiada.[18]

Los descuentos han sido criticados, en general por un malentendido del concepto. Por ejemplo, el valor presente de un árbol sembrado ahora, pero cosechado en 100 años, siempre parece muy bajo, por ser un periodo largo. Sin embargo, este bajo valor representa la perspectiva en el presente de un inversionista que tiene que esperar mucho tiempo, pero no el valor del árbol para un inversionista que analiza el costo-beneficio en 100 años. Es importante que se interprete el descontar como el esfuerzo de tomar en cuenta el trueque de una inversión (en valores comerciales o no-comerciales) con la segunda mejor decisión de inversión del mundo real, cuando los horizontes de tiempo son diferentes.

CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE

Esta sección presenta las fórmulas de descuento (es decir, los modelos), las cuales se emplean más frecuentemente. Estas fórmulas son la herramienta para calcular el valor presente neto de un árbol, un terreno o una fábrica. Se pueden combinar de muchas maneras para desarrollar modelos más complicados para la botánica económica; un ejemplo es la fórmula de Faustmann del siguiente apartado.

El modelo de descuento más simple consiste en un ingreso, un costo o una utilidad neta A en el tiempo T.[19] En ese caso, el valor presente se deriva al disminuir el valor A proporcional y continuamente con el tiempo. Para modelar el cambio proporcional introducimos la función de e como la herramienta ideal (cuadro 5.5):

(1) $VP = (A)(e^{(-r)(T)})$

en que A = cantidad de ingreso, costo o utilidad neta (es decir, dinero);
r = tasa de descuento continua anual[20]; $r \geq 0$;
T = punto en el tiempo (en años[20]).

La figura 5.2 grafica un caso de la fórmula 1:

$VP = (\$1{,}000)(e^{(-0.05)(T)})$

El valor presente de $1,000 se puede leer en el eje-Y para cualquier tiempo T en el futuro a lo largo del eje-X.

El valor presente disminuye continua y monótonamente con el tiempo hasta llegar al infinito donde el valor presente será cero. Por ejemplo, una cantidad de $1,000 recibida en un año tiene actualmente un valor de $(\$1{,}000)(e^{(-0.05)(1)}) = \$951.23$. Recibir $951.23 ahora o $1,000 en un año no causa ninguna diferencia para el inversionista, porque invertir $951.23 ahora con una tasa de rendimiento real continua anual de 5 por ciento resulta en $1,000 después de un año $[(\$951.23)(e^{(0.05)(1)})$. Recibir los $1,000 en 40 años resulta en un valor presente de $135.34 $[(\$1{,}000)(e^{(-0.05)(40)})]$, el cual es mucho menor.

[18] En nuestro análisis consideramos periodos largos de cientos de años o aun hasta el infinito. En este caso, los economistas generalmente usan la estimación de 5 por ciento para la tasa de rendimiento real anual promedio. Sin embargo, para periodos más cortos y estimaciones específicas de una región se podrían analizar ofertas de inversión de un banco regional, el cual financia proyectos de inversión en la región.

[19] La cantidad de dinero A en el futuro está expresado como dinero presente no inflado. Por esta razón, la tasa de descuento debe reflejar una tasa de rendimiento real (es decir, no-inflada).

[20] Aunque normalmente se usan años, también podrían ser meses o décadas; la tasa de descuento r y el punto en el tiempo T deben ser expresados en la misma unidad de tiempo.

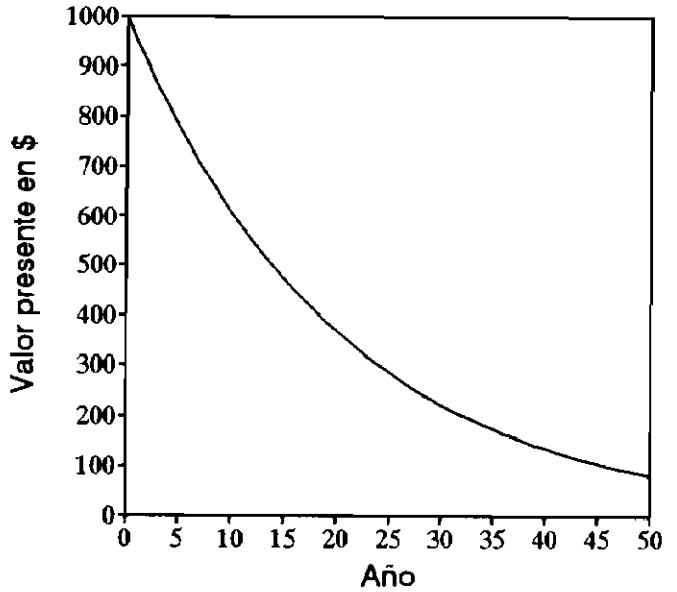


Figura 5.2. Gráfica de la función de descuento VP = ($1,000)($e^{(-0.05)(T)}$). La gráfica permite leer para cualquier año *T* el valor presente de $1,000 a una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento. A un inversionista le será indiferente recibir $606.53 ahora o $1,000 en 10 años, porque $606.53 invertidos con una tasa de rendimiento real continua anual de 5 por ciento aumentará a $1,000 en 10 años.

Una tasa de descuento más alta que el 5 por ciento causará que la curva en la figura 5.2 decline de modo más empinado. Un cambio en la tasa de descuento afectará la decisión sobre proyectos que tengan ingresos y/o costos en diferentes puntos del tiempo.

> *Si la tasa de descuento aumenta, entonces los valores presentes de ingresos y costos en el futuro disminuyen, y como resultado se da mayor prioridad a los ingresos que se generan más pronto (cuando tienen un valor presente alto) y a costos que se generan más tarde (cuando tienen un valor presente bajo).*

Una tasa de descuento más baja que el 5 por ciento causará que la curva en la figura 5.2 decline más gradualmente y tenga efectos contrarios. Siempre se debe considerar una variación en la tasa de descuento para decisiones de inversión; sin embargo, no es tan importante variar las tasas de descuento en el análisis sobre principios generales.

Frecuentemente se tratan situaciones con una larga secuencia de costos y/o ingresos (posiblemente hasta el infinito). En lugar de calcular cada valor presente individualmente de la forma en que se mostró en la figura 5.2 podemos aprovechar una importante técnica. Es posible añadir ingresos o costos recibidos continuamente durante un periodo, o discretamente en intervalos de tiempo, al utilizar fórmulas de integración que sumen el área bajo una curva.

Es preciso entender por qué intentamos cuantificar el área bajo la curva en la figura 5.2: por ejemplo, el área entre 0 y 1 bajo la curva representa el valor presente de los $1,000 recibidos continuamente durante todo el primer año [VP = $975.41 con fórmula 3], y no como un total al final del mismo [VP = $951.23 con fórmula 1]. Para entender ésto, primero supongamos que los $1,000 se reciben en dos partes de $500, los primeros $500 recibidos a la mitad del año y los segundos al final del año. Según la figura 5.2 podríamos calcular de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} VP &= [0.5][(\$1{,}000)(e^{(-0.05\,/\text{año})(0.5\text{ años})})] + \\ &\quad [0.5][(\$1{,}000)(e^{(-0.05\,/\text{año})(1\text{ año})})] \\ &= 487.65 + 475.61 \\ &= 963.26 \end{aligned}$$

Formulamos el problema de tal manera que calculamos un área: el primer número en paréntesis [0.5] representa la proporción de los $1,000 como el ancho sobre el eje-X, mientras que el segundo [($1,000)($e^{(-0.05)(0.5)}$)] representa el valor presente de los $1,000 como la altura sobre el eje-Y a 0.5 años. Dado que necesitamos multiplicar la proporción con el valor presente de los $1,000, tenemos que multiplicar el ancho por la altura; es decir, calcular el área.

Podríamos hacer más detallado este proceso calculando valores presentes para cada décimo de año y así sucesivamente, hasta llegar a calcular exactamente el área bajo la curva. Esto es lo que hace el procedimiento de integración. Es difícil imaginarse este flujo continuo de dinero, pero es fácil tratarlo matemáticamente con la fórmula de *e* (luego con la fórmula 5 simulamos un flujo discreto por un flujo continuo; entonces el método siempre es útil). Para el lector que no está familiarizado con la técnica de integración, ésta se explica en el cuadro 5.8.

La fórmula general para calcular el *valor presente de un flujo continuo de dinero entre dos puntos en el tiempo T1 y T2* es la siguiente:

(2) $\mathbf{VP = \int_{T1}^{T2} [(A_t)(e^{(-r)(t)})]\, dt}$

en que VP = valor presente;

$\int_{T1}^{T2} [f]\, dt$ = la integral tomada de la función *f* sobre el tiempo *t*, entre los puntos en el tiempo T1 y T2;

A = cantidad de ingreso, costo o utilidad neta (es decir, dinero); A_t puede ser constante o una función del tiempo *t*;

r = tasa de descuento continua;

t = tiempo.

Referirse a la unidad de tiempo no significa necesariamente años; sin embargo, en este análisis utilizamos exclusivamente años como unidad.

La técnica de integración aplicada en la fórmula 2 es conveniente, porque A_t en la fórmula (4) puede ser cualquier función del tiempo, de manera que se pueden calcular valores presentes de ingresos (o costos) fluctuantes o cambiantes al paso del tiempo. No obstante, en la mayoría de los análisis económicos se emplean modelos de descuento más simples.

Vamos a presentar cuatro fórmulas derivadas de la fórmula 2, las cuales comprenden los modelos de descuento más importantes. Aunque la derivación matemática no es esencial para nuestro análisis, la proporcionamos en el cuadro 5.9. Los modelos de descuento de las fórmulas 3 y 4 son aplicables a situaciones en la agricultura y producción de frutos, donde las cosechas se reparten en el transcurso de meses; entonces, en el modelo se supone que los ingresos y costos recibidos se distribuyen continuamente a lo largo del año. Las fórmulas 5 y 6 se aplican al manejo de árboles maderables, donde los ingresos y costos ocurren discretamente después de periodos largos de años o décadas.

La fórmula 3 modela *un flujo continuo de una cantidad de dinero A entre dos puntos de tiempo T1 y T2*. El valor presente de todo el flujo es:

(3) $\mathbf{VP = [A/r][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]}$

Si (T2 = ∞) y (*r* > 0), entonces $VP = [A/r][e^{(-r)(T1)}]$ [21]

Obsérvese que se expresa A de manera discreta (por ejemplo, $1,000 por año) pero de acuerdo con la fórmula fluye continuamente (es decir, en porciones infinitamente pequeñas) durante todo el año.

Con la fórmula 3 se puede calcular el área sombreada bajo la gráfica en la figura 5.2 entre 0 y 1, es decir, el valor presente de dinero distribuido continuamente durante el primer año:

$$\begin{aligned} VP &= [\$1{,}000/0.05][e^{(-0.05)(0)} - e^{(-0.05)(1)}] \\ &= [\$20{,}000][1 - 0.9512294] \\ &= \$975.41 \end{aligned}$$

¿Cómo se debe interpretar este número? El modelo supone que se recibe el ingreso (o costo) continuamente durante un año. Teóricamente, un flujo continuo de ingresos significa que $1,000 de ingreso anual se distribuyen entre todos los días del año, lo que resulta en $1,000/365 = $2.74 por día. Asimismo, se recibe cada hora, cada minuto

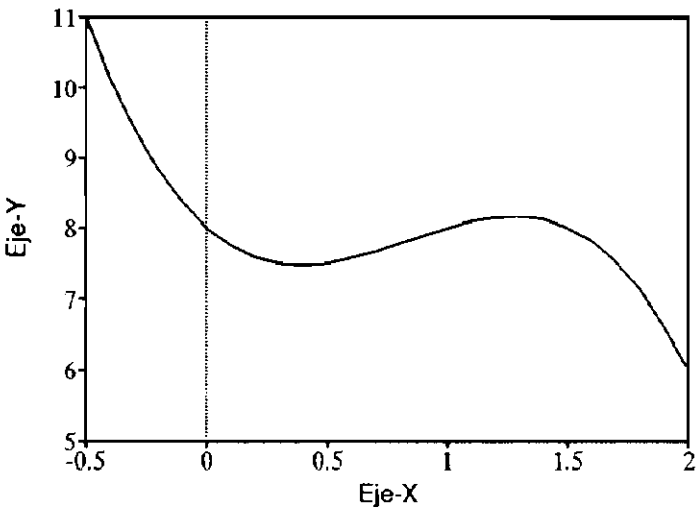
[21] El signo "∞" significa "infinito". En la siguiente secuencia se puede ver que $\mathbf{X^{(-\infty)} = 0}$: $2^{(-0)} = 1/(2^0) = 1$; $2^{(-5)} = 1/(2^5) = 0.03125$; $2^{(-10)} = 1/(2^{10}) = 0.0009766$ ...

CUADRO 5.8. **Diferenciación e integración**

La diferenciación y la integración son técnicas matemáticas sofisticadas para analizar y hacer uso de funciones; tienen un amplia gama de aplicaciones en muchos campos. Considérese la siguiente función:

$Y = 8 - (3)(X) + (5)(X^2) - (2)(X^3)$

Podemos hacer una gráfica de la función para un rango de valores de *X*. Al seguir la función de *Y* en la gráfica 1 cuando *X* se mueve de −0.5 a +2.0, muestra que *Y* disminuye "rápidamente", después "más lentamente", sube "lentamente" y luego cae "rápidamente". Hay muchos casos en que estamos particularmente interesados en analizar esta variación en los cambios, es decir analizar la pendiente de la función en lugar de función misma (la pendiente de una función en el punto *X* es igual a la pendiente de la tangente en ese punto). Se puede ver que existen valores máximos y mínimos para el valor de *Y*, por ejemplo en la gráfica 1 para X = 0.39. Para saber la pendiente de la función en X = 1, se puede dibujar la tangente en este punto (véase la gráfica 1) y medir la pendiente: dY /dX = (9 − 8) /(2 − 1) = 1. La pendiente dY /dX de la función es 1 donde *X* es 1. Ahora queremos obtener este resultado sin hacer una gráfica, por lo que se toma la derivada de la función:



Gráfica 1

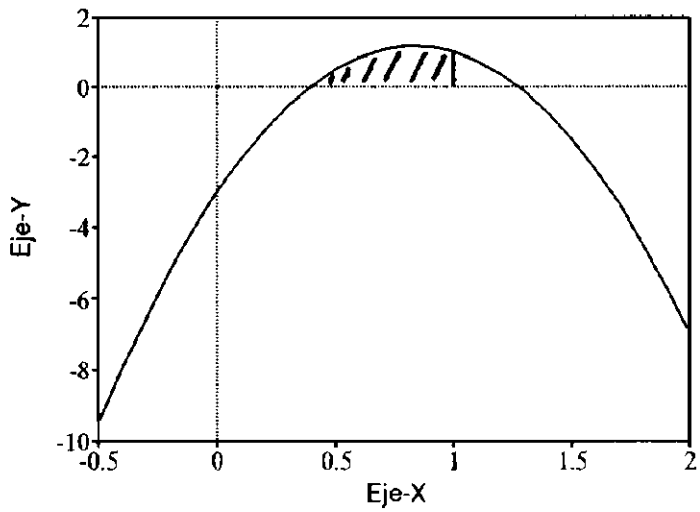
$dY/dX = -3 + (5)(2)(x) - (2)(3)(x^2) = -3 + (10)(X) - (6)(X^2)$ de acuerdo a la regla que se presenta abajo

"d" simboliza una diferencia y dY /dX se reliere al cambio de *Y* cuando un cambio en *X* tiene lugar. Para *X* = 1:

$$dY/dX = -3 + (10)(1) - (6)(1)^2$$
$$= 1$$

La función derivada en la gráfica 2 describe exactamente cómo cambia la pendiente dY /dX de la función original en la gráfica 1. En la gráfica 2, *Y* primero es negativa y aumenta hasta que llega a cero (en la gráfica 1, *Y* está en un mínimo local), después se vuelve positiva (en la gráfica 1, *Y* está aumentando), alcanza su máximo (en la gráfica 1, la función original cambia de una curva izquierda a una curva derecha), disminuye nuevamente hasta que alcanza otra vez cero (*Y* está en un máximo local) y sigue disminuyendo (en la gráfica 1, la pendiente de la función se hace cada vez más empinada). Con el fin de calcular las X para los mínimos y máximos, igualamos dY /dX a cero:

$$-3 + (10)(X) - (6)(X^2) = 0$$
$$X_{1,2} = [-10 \pm [10^2 - (4)(-6)(-3)]^{1/2}] / [(2)(-6)]$$
$$X_1 = 0.39$$
$$X_2 = 1.27$$



Gráfica 2

CUADRO 5.8. (continuación)

Ahora podemos calcular los valores de *Y* para los mínimos y máximos en la función original:

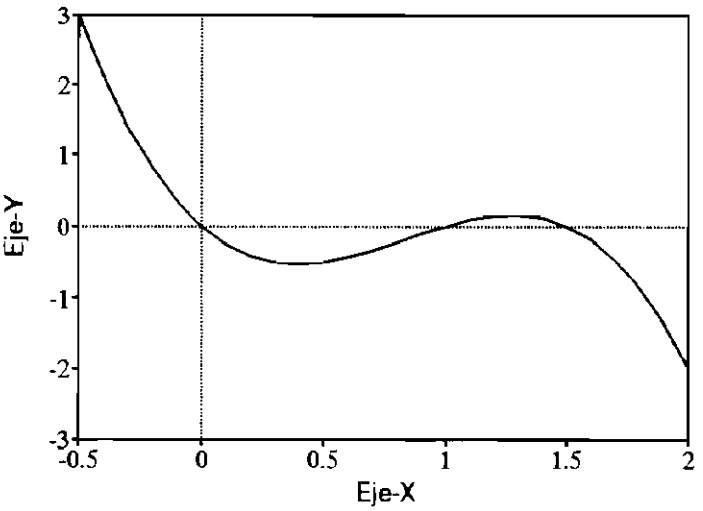
$Y_1 = 8 + (3)(0.39) + (5)(0.39^2) + (2)(0.39^3) = 7.47$
$Y_2 = 8 + (3)(1.27) + (5)(1.27^2) + (2)(1.27^3) = 8.16$

La integración es el proceso opuesto a la diferenciación y representa una suma sofisticada. Para la función trazada en la gráfica 2, queremos derivar una función que nos regrese a la de la gráfica 1. Con la función de la pendiente (gráfica 2), sabemos cómo cambia el valor de la función en relación a su valor anterior. Integramos la función que se representa en la gráfica 2 (utilizando las reglas de integración mostradas posteriormente):

$$dY/dX = -3 + (10)(X) - (6)(X^2)$$

$$\begin{aligned}\int_{X1}^{X2} [dY/dX]\, dX &= \int_{X1}^{X2} [-3 + (10)(X) - (6)(X^2)]dX \\ &= [(-3)(X) + (10)(X^2)/2 - (6)(X^3)/3]\Big|_{x1}^{x2} \\ &= [(-3)(X) + (5)(X^2) - (2)(X^3)]\Big|_{x1}^{x2}\end{aligned}$$

La gráfica 3 muestra la función integrada $Y = (-3)(X) + (5)(X^2) - (2)(X^3)$. La función es la misma que la original, excepto que le falta el +8. El 8 coloca la función original en su altura vertical (en X = 0, Y = 8). La función de la pendiente $dY/dX = -3 + (10)(X) - (6)(X^2)$ no puede proporcionar esa información, y se requiere de un punto de referencia absoluto para determinar la posición de la función integrada; sin ese punto la función va a pasar por X = 0, Y = 0.



Gráfica 3

Técnicamente, la función integrada proporciona el área entre el eje-X y la pendiente, al pasar de X1 a X2. En muchas aplicaciones la función no se considera como una función de una pendiente (aunque se podría interpretar de esa forma), y sólo utilizamos la técnica de integración como un procedimiento conveniente de adición, el cual continuamente suma los valores de una función. Calculamos el área bajo la curva en la gráfica 2 entre 0.39 y 1:

$$\begin{aligned}&[(-3)(X) + (5)(X^2) - (2)(X^3)]\Big|_{0.39}^{1} \\ = \;& [(-3)(1) + (5)(1^2) - (2)(1^3)] \\ & - [(-3)(0.39) + (5)(0.39^2) - (2)(0.39^3)] \\ = \;& 0 - (-0.53) \\ = \;& 0.53\end{aligned}$$

En la gráfica 2, el área entre X = 0.39 y 1 es 0.53 (sombreada). El área entre 0 y 0.39 es -0.53 (el área por debajo de la eje-X se considera negativo), así que entre 0 y 1 los dos áreas se cancelan, y en la gráfica 3, la cual representa la función integrada, el valor para *Y* en X = 1 es cero.

El lector no se deberá preocupar por la notación: $\int_{x1}^{x2} [f(X)]\, dX$ significa que se calcula la integral de la función f(X) para *X* entre X1 y X2. Se utiliza $\int$ para denotar la integral de la función en general, pero frecuentemente se quiere calcular el valor ("área") entre dos puntos X1 y X2. Una vez que se ha derivado la función integrada, se usa la notación $\Big|_{x1}^{x2}$ para expresar que se quiere calcular el valor ("área") entre los dos puntos X1 y X2.

CUADRO 5.8. (continuación)

En seguida se enlistan reglas de diferenciación e integración de dos tipos de funciones que emplearemos posteriormente.

$Y = (c)(X^a)$	dY/dX	$= (c)(a)(X^{(a-1)})$
	$\int_{x1}^{x2} [Y(X)]\, dX$	$= [(c)(X^{(a+1)})/(a+1)]\Big\|_{x1}^{x2}$ $= [(c)(X2^{(a+1)})/(a+1)] - [(c)(X1^{(a+1)})/(a+1)]$
$Y = e^{(b)(X)}$	dY/dX	$= (e^{(b)(X)})(b)$
	$\int_{x1}^{x2} [Y(X)]\, dX$	$= [(e^{(b)(X)})/b]_{x2}$ $= [(e^{(b)(X2)})/b]_{x1} - [(e^{(b)(X1)})/b]$

En el caso de polinomios, se tiene que tomar la diferencial o la integral para cada sumando. Existen extensas listas de reglas de diferenciación e integración que se encuentran en libros de texto de cálculo (por ejemplo, Lang, 1986) o en formularios matemáticos; además, el programa de computadora *Mathematica* toma diferenciales e integrales con variables generales, así como con números específicos. Chiang (1984; también existe en español) presenta la técnica en su tratado matemático para economistas.

y así sucesivamente. Un ingreso recibido un día después ya se descuenta; entonces los $1,000 recibidos continuamente durante todo el año tienen un valor presente de $975.42. Esto es más alto que el valor presente de $951.23 para $1,000 recibidos en total al fin del año, porque se espera menos tiempo para recibir el dinero.

Si el *tiempo considerado en un flujo continuo va desde el presente hasta el infinito,* la fórmula 3 simplifica a la fórmula 4:

$$(4)\quad VP = A/r$$

Por ejemplo, si el ingreso es $1,000 durante el curso de un año y la tasa de descuento continua anual es de 5 por ciento, entonces el valor presente de este flujo de ingresos hasta el infinito es $1,000 /0.05 = $20,000. Podría sorprender que al recibir $1,000 anualmente hasta el infinito tiene un valor presente de $20,000 en lugar de un valor infinitamente alto. La figura 5.2 lo explica: aunque las utilidades netas fluyen infinitamente, con el tiempo su valor se vuelve más y más pequeño; la matemática es capaz de sumar un número infinito de cantidades, las cuales disminuyen monótonamente, hasta resultar en un valor finito.

En el manejo del bosque para la producción de madera, se reditúan típicamente ingresos a lo largo de varias décadas en lugar de continuamente, y entonces el flujo de dinero es discreto. Para un caso en que el *flujo de dinero ocurre discretamente en periodos iguales* entre los puntos de tiempo T1 y T2, la fórmula es:

$$(5)\quad VP = [A/(1-e^{(-r)(p)})][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]$$

en que p = periodo intermitente entre ingresos, costos o utilidades netas A

usualmente $T2 = T1 + (p)(k)$; k = número de eventos

Si $(T2 = \infty)$ y $(r > 0)$, entonces

$$VP = [A/(1-e^{(-r)(p)})][e^{(-r)(T1)}]$$

Por ejemplo, si la cosecha de madera del bosque tiene un ingreso de $1,000 para cada cosecha en

CUADRO 5.9. **Derivaciones de las fórmulas de descuento 3 a 6**

$$
\begin{aligned}
VP &= \int_{T1}^{T2} [(A)(e^{(-r)(t)})]\, dt && \textbf{fórmula 2}\\
&= [(A)(e^{(-r)(t)})\,/(-r)] \Big|_{T1}^{T2}\\
&= [(A)(e^{(-r)(T2)})\,/(-r)] - [(A)(e^{(-r)(T1)})\,/(-r)]\\
&= [-(A\,/r)(e^{(-r)(T2)})] - [-(A\,/r)(e^{(-r)(T1)})]\\
&= -(A\,/r)(e^{(-r)(T2)}) + (A\,/r)(e^{(-r)(T1)})\\
&= (A\,/r)(e^{(-r)(T1)}) - (A\,/r)(e^{(-r)(T2)})\\
&= \mathbf{[A\,/r][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]} && \textbf{fórmula 3}
\end{aligned}
$$

Si (T1 = 0) y (T2 = ∞) entonces:

$$VP = (A\,/r)(e^{(-r)(0)} - e^{(-r)(\infty)})$$

cuando $(r > 0) \Rightarrow e^{(-r)(\infty)} = 0$

$$
\begin{aligned}
VP &= (A\,/r)(1 - 0)\\
&= \mathbf{A\,/r} && \textbf{fórmula 4}
\end{aligned}
$$

Queremos convertir una cantidad discreta *A* recibida al principio del periodo *p* a una cantidad equivalente *B* recibida como un flujo continuo durante el periodo *p*:

$$
\begin{aligned}
(B\,/r)(e^{(-r)(0)} - e^{(-r)(p)}) &= A\\
(B\,/r)(1 - e^{(-r)(p)}) &= A\\
B &= (A)(r)\,/(1 - e^{(-r)(p)})
\end{aligned}
$$

Al incluir esto en la ecuación original del valor presente (hay que distinguir entre el periodo *p* y el tiempo *t*):

$$
\begin{aligned}
VP &= \int_{T1}^{T2} [(B)(e^{(-r)(t)})]\, dt\\
&= \int_{T1}^{T2} [[(A)(r)\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(t)})]\, dt\\
&= [[(A)(r)\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(t)})\,/(-r)] \Big|_{T1}^{T2}\\
&= [[-A\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(t)})] \Big|_{T1}^{T2}\\
&= [-A\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(T2)}) -\\
&\quad\ [-A\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(T1)})\\
&= [A\,/(1 - e^{(-r)(p)})](e^{(-r)(T1)}) -\\
&\quad\ [A\,/(1 - e^{(-r)(p)}](e^{(-r)(T2)})\\
&= \mathbf{[A\,/(1 - e^{(-r)(p)})][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]} && \textbf{fórmula 5}
\end{aligned}
$$

Si (T1 = 0) y (T2 = ∞) entonces:

$$VP = [A\,/(1 - e^{(-r)(p)})]\,[e^{(-r)(0)} - e^{(-r)(\infty)}]$$

cuando $(r > 0) \Rightarrow e^{(-r)(\infty)} = 0$

$$
\begin{aligned}
VP &= [A\,/(1 - e^{(-r)(p)})]\,[1 - 0]\\
&= \mathbf{A\,/(1 - e^{(-r)(p)})} && \textbf{fórmula 6}
\end{aligned}
$$

CUADRO 5.10. Ejemplos que aplican la fórmula 5

En nuestra secuencia sobre fórmulas de descuento, la fórmula 5 representa una situación donde habría ingresos, costos, o utilidades netas periódicamente entre dos puntos de tiempo T1 y T2:

$$VP = [A/(1 - e^{(-r)(p)})][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]$$

con usualmente $T2 = T1 + (p)(k)$; en que k = número de eventos

La dificultad particular en esta fórmula es usar el T2 correcto.

EJEMPLO 1:

Los ingresos se presentan entre los años 11 y 13, cuando se recibe la cantidad completa de $1,000 al principio de cada año. Para el año 1 se tendría que usar T = 0, porque el ingreso viene inmediatamente (sin esperar ningún tiempo); de la misma forma, para el año 11 se tiene que usar T1 = 10, porque al principio del año 11 sólo han transcurrido 10 años:

principio del año 11 (han transcurrido 10 años)

$$VP = (\$1{,}000)(e^{(-0.05)(10)}) = \$606.53$$

principio del año 12 (han transcurrido 11 años)

$$VP = (\$1{,}000)(e^{(-0.05)(11)}) = \$576.95$$

principio del año 13 (han transcurrido 12 años)

$$VP = (\$1{,}000)(e^{(-0.05)(12)}) = \$548.81$$

La suma de estos tres pagos es de $606.53 + $576.95 + $548.81 = $1732.29. Este valor se puede obtener directamente al utilizar la fórmula 5 con T1 = 10 y T2 = 10 + (1)(3) = 13:

$$\begin{aligned} VP &= [\$1{,}000/(1 - e^{(-0.05)(1)})][e^{(-0.05)(10)} - e^{(-0.05)(13)}] \\ &= [\$20{,}504.17][0.6065307 - 0.5220458] \\ &= \$1{,}732.29 \end{aligned}$$

Para evitar errores de redondeo se deben utilizar números con un dígito más que los que se quieren en el resultado final. Aquí hay que utilizar 0.6065307 con siete dígitos para tener el resultado de 1732.29 con seis dígitos sin errores de redondeo.

EJEMPLO 2:

La fórmula 5 se puede aplicar con intervalos más largos, por ejemplo: $p = 4$ años para 2 eventos, empezando al principio del año 21 (han pasado 20 años). En ese caso, T1 = 20 y T2 = 20 + (4)(2) = 28:

$$\begin{aligned} VP &= [\$1{,}000/(1 - e^{(-0.05)(4)})][e^{(-0.05)(20)} - e^{(-0.05)(28)}] \\ &= [\$5{,}516.66][0.367879 - 0.246597] \\ &= \$669.07 \end{aligned}$$

Esto es igual que $(\$1{,}000)(e^{(-0.05)(20)}) + (\$1{,}000)(e^{(-0.05)(24)}) = 367.88 + 301.19 = \$669.07$. Aunque esta suma es fácil de calcular para sólo dos ingresos, para un número más elevado de eventos k, la fórmula 5 es más simple y más directa.

un ciclo de cosecha de 30 años, empezando en 30 años, entonces el valor presente de este flujo es:

$$\begin{aligned} VP &= [\$1{,}000/(1 - e^{(-0.05)(30)})][e^{(-0.05)(30)}] \\ &= \$287 \end{aligned}$$

En el cuadro 5.10 se proporcionan dos ejemplos más sofisticados para aplicar la fórmula 5.

Si el tiempo de consideración para el flujo discreto se *extiende desde el presente hacia el infinito,* entonces la fórmula 5 se simplifica a la fórmula 6:

$$\textbf{(6)}\quad VP = A/(1 - e^{(-r)(p)})$$

Si la cosecha de madera en el ejemplo anterior para la fórmula 5 no empieza en 30 años sino

ahora, entonces se aplica la fórmula 6:

$$VP = \$1000 / (1 - e^{(-0.05)(30)})$$
$$= \$1287$$

Con \$1005 (\$1287 - \$282), la cosecha inicial contribuye en gran medida al valor presente del bosque (78 %).

Finalmente, el *valor presente neto* (= VPN; también denominado *valor neto actual*) de un terreno, un árbol o una fábrica es la suma de todos sus ingresos ~~anticipados~~ futuros descontado cada uno al presente, menos la suma de todos los costos ~~anticipados~~ futuros descontado cada uno al presente:

$$(7)\ VPN = VP_{\text{Ingreso 1 al tiempo 1'}} + VP_{\text{Ingreso 2 al tiempo 2'}} + \ldots - VP_{\text{Costo A al tiempo A'}} - VP_{\text{Costo B al tiempo B'}} - \ldots$$

Si los ingresos y costos ocurren simultáneamente, el valor presente neto es la suma de todas las utilidades netas descontada cada una al presente:

$$(8)\ VPN = VPN_{\text{Utilidad neta 1 al tiempo 1'}} + VPN_{\text{Utilidad neta 2 al tiempo 2'}} + \ldots$$

El cálculo del valor presente neto se debe basar en todos los ingresos y todos los costos. Desde el punto de vista de la sociedad, se tienen que considerar—y posiblemente incluir—los valores no-comerciales (véase el apartado 5.7).

El cuadro 5.11 proporciona un resumen de todas las fórmulas. También incluye la fórmula de Faustmann del apartado 5.3 y dos fórmulas [9 y 10] que se derivarán más adelante en el análisis sobre sustentabilidad (apartado 5.4). Con estas fórmulas tenemos en nuestras manos una herramienta poderosa para llevar a cabo el análisis costo-beneficio en la botánica económica.

REGLA DE LA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA TIERRA Y REGLA DEL VALOR DE LA TIERRA

Al principio de este capítulo enfatizamos dos importantes reglas: la regla de la optimización del uso de la tierra dice que en cualquier terreno la actividad óptima de manejo es aquella que maximiza el valor presente neto de la tierra. La regla del valor de la tierra dice que el precio apropiado de un terreno es igual al valor presente neto del terreno. Ahora nos encontramos en la posición de comprender estas reglas.

¿Por qué es óptimo maximizar el valor presente neto de un terreno? El cálculo del valor presente neto toma en cuenta el tiempo; por lo tanto ya no nos preocupa el tiempo específico en que ocurre un ingreso, un costo o una utilidad neta: todos los ingresos y costos se han transformado como si sucedieran en este momento. La actividad con el valor presente neto más alto brinda el valor más alto de un terreno. Explícitamente afirmamos que podría ser necesario incluir valores no-comerciales, como la conservación de biodiversidad o valores culturales. Esto puede ser un aspecto importante y no considerarlo podría resultar en un "falso" valor presente neto, inclinado a valores comerciales (véase el apartado 5.7).

Un error conceptual es comparar valores presentes netos de regiones distantes no-comparables, como los bosques del sur de México con los del norte de Estados Unidos. Por ejemplo, la información de que un bosque tiene utilidades netas anuales de US\$50 (VPN = US\$1,000 con fórmula 4) por la extracción de frutos no conduce a ninguna conclusión si no se sabe cuáles son los valores presentes netos de las estrategias alternativas de manejo del mismo terreno. La extracción de frutos de este bosque podría ser óptimo económicamente si la agricultura y otras alternativas tuvieran valores presentes netos menores a US\$1,000.

Es sólo significativo comparar valores presentes netos de diferentes actividades en la

CUADRO 5.11. **Resumen de las fórmulas de descuento (tasa de descuento continua)**

Valor presente de una cantidad:	(1)	$VP = (A)(e^{(-r)(T)})$
Valor presente de flujos de cantidad:		
Fórmula general:	(2)	$VP = \int_{T1}^{T2} [(A_t)(e^{(-r)(t)})]\, dt$
Fórmulas derivadas:[1]		
Flujo continuo de *A* entre T1 y T2:	(3)	$VP = [A/r][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]$
Flujo continuo de *A* entre el presente y el infinito:	(4)	$VP = A/r$
Flujo discreto de *A* entre T1 y T2:	(5)	$VP = [A/(1 - e^{(-r)(p)})][e^{(-r)(T1)} - e^{(-r)(T2)}]$ con, usualmente, T2 = T1 + (p)(k) para cumplir *k* eventos
Flujo discreto de *A* entre el presente y el infinito	(6)	$VP = A/(1 - e^{(-r)(p)})$
Valor presente neto:	(7)	$VPN = VP_{\text{Ingreso 1 al tiempo 1'}} + VP_{\text{Ingreso 2 al tiempo 2'}} + \ldots - VP_{\text{Costo A al tiempo A'}} - VP_{\text{Costo B al tiempo B'}} - \ldots$
	(8)	$VPN = VPN_{\text{Utilidad neta 1 al tiempo 1'}} + VPN_{\text{Utilidad neta 2 al tiempo 2'}} + \ldots$
Casos especiales:		
Fórmula según Faustmann:		$VPN = [(V_p)(n)(P\text{-}C)(e^{(-r)(p)}) - K]/(1 - e^{(-r)(p)})$
Flujo continuo que comienza con A_0 pero declina al paso del tiempo entre T1 and T2:	(9)	$VP = [(A_0)/(d + r)][e^{-(d+r)(T1)} - e^{-(d+r)(T2)}]$
Flujo continuo que comienza con A_0 pero declina al paso del tiempo desde el presente hasta el infinito:	(10)	$VP = A_0/(d + r)$

[1] Las derivaciones de las fórmulas 3 a 6 se encuentran en el cuadro 5.9, y las de las fórmulas 9 y 10 en el cuadro 5.13.

A	Cantidad de ingreso, costo o utilidad neta (es decir, dinero).
A_t	*A* como función del tiempo *t*.
A_0	A al tiempo 0, posteriormente cambiando continuamente.
d	Tasa de cambio continua de ingreso, costo o utilidad neta.
e	Número de Euler: 2.718281828.
$\int_{T1}^{T2}[f]\, dt$:	Integral de una función *f*, tomada sobre el tiempo *t*, entre los puntos en el tiempo T1 y T2.
k	Número de eventos.
K	Costos inmediatos para sembrar y manejo inicial, más el valor presente de cualquier costo de manejo futuro.
n	Número de árboles cosechados.
p	Periodo intermitente entre repetidos ingresos, costos o utilidades netas *A*; en la fórmula de Faustmann el ciclo de cosecha de madera.
P-C	Precio menos costo = utilidad neta; en la fórmula de Faustmann por unidad del volumen de madera.
r	Tasa de descuento continua; r > 0; una tasa discreta se puede simular por una continua: $r_{continua} = Ln[1 + r_{discreta}]$ (véase el cuadro 5.6).
t	Tiempo.
T	Punto en el tiempo.
T1	Punto en el tiempo en el cual comienza un flujo de *A* (presente = principio del año 1: T1 = 0).
T2	Punto en el tiempo, en el cual termina un flujo de *A* (por ejemplo, fin del año 10 = principio del año 11: T2 = 10).
V_p	El volumen de un árbol promedio al fin del periodo *p*.
VP	Valor presente.
VPN	Valor presente neto.

misma región, es decir, bajo las mismas condiciones ecológicas y económicas.

¿Por qué el precio apropiado de un terreno es igual al valor presente neto del terreno? Supongamos que un terreno tiene una utilidad neta de $1,000 por año. Obviamente, el terreno vale estos $1,000 cada año. Para encontrar el valor total, tenemos que sumar todas las utilidades netas desde el presente hasta el infinito. Sin embargo, tenemos que tomar en cuenta el retraso en el tiempo de cada utilidad neta y descontarla. Con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento, $1,000 ahora tienen un valor presente de $1000, $1,000 en un año tienen un valor presente de $951 [($1,000)($e^{(-0.05)(1)}$); fórmula 1], y así en adelante. Al aplicar la fórmula 6 para utilidades netas discretas, el valor presente neto es de $20,504 [$1,000 /(1 − $e^{(-0.05)(1)}$)]. Este último debería ser el precio de compra para el terreno. Obsérvese que según la fórmula el comprador y el vendedor tienen que estar de acuerdo sobre la utilidad neta anual y la tasa de descuento.

En caso de utilidades anuales continuas, la fórmula 4 ayuda a estimar rápidamente la relación entre la utilidad neta anual y el precio de la tierra. Supongamos que alguien desea comprar un terreno que reditúa una utilidad neta de $1,500 en el curso de un año. El precio del terreno debería igualar su valor presente neto; al utilizar la fórmula 4 para un cálculo rápido se muestra que este precio debería ser $30,000 (VPN = $1,500 /0.05), si la tasa de descuento continua anual es 5 por ciento. Por otro lado, si un terreno tiene un precio de $10,000, implica que la utilidad neta anual continua de este terreno es aproximadamente ($10,000)(0.05) = $500 por año. Si alguien compra un terreno para la recreación privada sin obtener utilidades, se puede concluir que para esa persona la recreación tiene un valor de $500 por año.

Se deben considerar algunos aspectos importantes antes de tomar decisiones de manejo basadas en valores presentes netos. Alguien que ahora paga costos y espera recibir ingresos en el futuro, debe tener la posibilidad de un crédito, cuya tasa de interés real esté por debajo de la tasa de rendimiento real de la inversión. Los campesinos con bajos recursos encuentran frecuentemente obstáculos para obtener un crédito bancario. En este caso serían benéficos algunos programas gubernamentales de crédito y cooperativas de producción. Además, existe el riesgo de tomar prestado de los "ingresos futuros", porque éstos podrían no presentarse como se esperaba, especialmente si los derechos de propiedad no son seguros. Tomar dinero prestado para ingresos anticipados después de años o décadas, requiere de cuidadosos presupuestos de gastos y planeación a largo plazo. Es el reto de economistas y planificadores de desarrollo considerar y buscar soluciones para estos problemas.

5.3 OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE COSECHA DE LA MADERA

Existen dos enfoques del manejo forestal sustentable, el de la producción máxima sostenible y el del manejo según Faustmann. Los forestales con un enfoque biológico desean maximizar el flujo de la madera proveniente del bosque, y a la vez mantener constante la biomasa promedio del bosque a través del tiempo. Esta forma de manejo se denomina *manejo de producción máxima sostenible*. Paradójicamente, el manejo de producción máxima sostenible no es económicamente óptimo para la producción de madera; maximizar las utilidades netas provenientes de la madera del bosque no se traduce en una maximización del flujo de madera del bosque. El *manejo según Faustmann* es económicamente óptimo. Se llama así en honor al silvicultor alemán Martin Faustmann, quien es citado generalmente como su introductor en el siglo XIX (véase Faustmann, 1849; Samuelson, 1976). Al igual que el manejo de producción máxima sostenible, el manejo según Faustmann mantie-

ne constante el promedio de la biomasa del bosque, aunque al utilizar un ciclo de cosecha más corto conduce a una biomasa del bosque más baja y a un flujo promedio menor de madera.[22] En este apartado se comparan las dos formas de manejo

Queremos señalar que en este apartado solamente examinamos la optimización de la producción de madera; por el momento no tomamos en cuenta consideraciones sobre la biodiversidad y suponemos que el bosque no tiene ningún otro valor que el que se deriva de la madera. En la realidad, frecuentemente esto no es verdadero, y en dichos casos se tiene que modificar el modelo de Faustmann. No obstante, el forestal deseará comparar las utilidades netas por producir solamente madera con las de otras alternativas de manejo, como por ejemplo la producción de frutos, la agricultura, o incluso la recreación.

EL CICLO DE LA COSECHA SEGÚN FAUSTMANN

Deseamos encontrar una ecuación para la producción maderera que cubra costos e ingresos. Si comenzamos con un bosque cosechado, en el que no existe ingreso alguno de una cosecha inicial (analizamos una cosecha inicial más adelante), la utilidad neta en *p* años, será la siguiente:

$$A = (V_p)(n)(P-C)$$

en que A = utilidad neta;
V_p = unidades de volumen de madera de un árbol promedio después del periodo p (= edad en la cosecha);
n = número de árboles cosechados;
P = precio por unidad del volumen de madera;
C = costos por cosechar, transportar al sitio donde se obtiene el precio P y comercializar (por ejemplo buscar comprador) una unidad de volumen de madera.

La utilidad neta de la primera cosecha se dará en el futuro. Dado que deseamos conocer el valor presente, hay que descontar la utilidad neta:

$$VPN_A = (V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)})$$

en que VPN_A = valor presente neto de la utilidad neta *A* al principio del ciclo (periodo) *p*;
r = tasa de descuento continua anual;
p = edad del árbol al final del ciclo (periodo) de la cosecha de madera en años.

El modelo supone algunos costos inmediatos para la siembra y el manejo de la regeneración (posibles costos de manejo futuro se tienen que añadir como valor presente). Con los costos de manejo, el valor presente neto de la utilidad neta del primer ciclo de cosecha se convierte en:

$$VPN_A = (V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K$$

en donde K = costos immediatos para siembra y manejo inicial, más el valor presente de cualquier costo de manejo futuro.

Si este ciclo de cosecha se repite no solamente una vez pero cada *p* años (a la edad *p* de los árboles), entonces se puede calcular el valor presente neto de todas las utilidades netas desde el presente hasta el infinito. Al aplicar la fórmula 6 (cuadro 5.11), el valor presente neto será:

$$VPN = VPN_A/(1 - e^{(-r)(p)})$$

Obsérvese que la fórmula 6 requiere de que la primera utilidad neta ocurra ahora, pero se supone aquí que la primera cosecha se da cuando se ha cumplido un ciclo *p*. Por lo tanto, se tiene que usar el valor presente VPN_A de la cosecha después de un ciclo de cosecha para *A* en la fórmula 6.

Esto conduce a la siguiente ***fórmula de Faustmann*** para encontrar el ciclo de cosecha óptimo:

[22] Una suposición implícita en la fórmula según Faustmann es que se pueden realizar cosechas repetidas bajo el ciclo óptimo de cosecha calculada, sin problemas de una declinación de fertilidad del suelo o compactación del suelo. Problemas de este tipo podrían ocurrir con árboles que crecen muy rápidamente.

$$VPN = [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K] / (1 - e^{(-r)(p)})$$

en que VPN = valor presente neto de un bosque proveniente del manejo infinito para producir madera;

V_p = unidades de volumen de un árbol promedio al fin del ciclo (periodo) de cosecha *p*;

n = número de árboles cosechados;

P = precio por unidad de madera;

C = costos por unidad de madera por cosechar, transportar al sitio de venta (es decir, donde se obtiene el precio *P*), y comercializar (por ejemplo, buscar comprador);

r = tasa de descuento continua anual;

p = el ciclo de cosecha, es decir, la edad de los árboles al fin del ciclo (periodo) de la cosecha de madera; la primera cosecha se da después de p años;

K = costos de manejo: costos inmediatos para siembra y manejo inicial más el valor presente de cualquier costo de manejo futuro.

El ciclo de cosecha óptimo para la producción de madera se obtiene al maximizar el valor presente neto para el ciclo de cosecha, fijando todos los demás parámetros.

Aplicaremos esta fórmula a un ejemplo. La información ecológica clave es la relación de cómo un bosque específico en un lugar específico aumenta su volumen al paso del tiempo. En el apartado 4.3 se introdujo la típica curva de crecimiento sigmoidea del volumen de un tronco de árbol. Dado que existen pocos datos de especies tropicales, utilizamos la especie *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco ("Douglas fir"; Pinaceae) del noroeste de Estados Unidos para derivar una ecuación de crecimiento (véase el apartado 4.3); recuerde que la ecuación de crecimiento es específica del sitio y en nuestro caso se refiere a un árbol individual:

$$V_p = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)$$

$$40 \leq p \leq 160$$

en que V_p = el volumen esperado de madera del tronco de un árbol promedio en metros cúbicos;

p = edad del árbol en años.

Supongamos que la utilidad neta (P–C) por metro cúbico es de US$100, existe regeneración natural y entonces K = US$0, y después de cada ciclo de cosecha se pueden cosechar 50 árboles por hectárea; como tasa de descuento continua anual suponemos como antes $r = 0.05$. Deseamos maximizar el valor presente neto de la siguiente ecuación para la edad de cosecha *p* (= ciclo de cosecha):

$$VPN = [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)](US\$100)(50 \text{ árboles})\,(e^{(-0.05)(p)}) / (1 - e^{(-0.05)(p)})$$

La manera más sencilla para maximizar la ecuación es haciendo una gráfica del valor presente neto sobre *p* y leyendo el valor presente neto máximo (es conveniente emplear un programa de gráficas como *Mathematica*) o solamente calcular valores presentes netos para un número de ciclos de cosechas, como $p = 40, 45, 50 \ldots 160$ (es conveniente emplear un programa de hoja de cálculo) y buscar el valor *p* con el valor presente neto más alto. Dado que habrá sólo una solución al problema, rápidamente se detectará en qué dirección hay que modificar el número de tanteos. La figura 5.3 muestra la gráfica. La curva para este ejemplo alcanza su máximo para p = 56 años; es decir, el ciclo de cosecha óptimo es de 56 años.[23]

[23] Este ciclo de Faustmann de 56 años es relativamente largo, debido a la curva de crecimiento, que en el caso de *Pseudotsuga menziesii* es muy larga en tiempo (son árboles que llegan a ser muy grandes).

Observe las variables que tienen influencia sobre el ciclo de cosecha óptimo y las que influyen únicamente en el valor presente neto sin importar el ciclo de cosecha: el precio *P* y el costo *C* así como el número de árboles cosechados *n* son independientes del tiempo. Si no hay costos de manejo (K = US$0), al tomar (P−C) = US$50 en lugar de US$100, se reduce el valor presente neto a la mitad, pero el ciclo de cosecha óptimo no cambia.[24] Solamente cuando (P−C) cambia continuamente con el tiempo, influirá en el ciclo de cosecha óptimo (véase más adelante). El análisis de la ecuación conduce a la siguiente conclusión:

> *Las variables clave que determinan el ciclo de cosecha óptimo son la ecuación de crecimiento del volumen y la tasa de descuento, siempre y cuando (P−C) sea constante al paso del tiempo.*

En el ejemplo, si la tasa de descuento es 0.06 en lugar de 0.05, el ciclo óptimo de cosecha será 53.1 años en lugar de 55.6 años (VPN = US$680 en lugar de US$1,200). Si la tasa de descuento es 0.04 en lugar de 0.05, el ciclo óptimo de cosecha será 59.0 años en lugar de 55.6 años (VNP = US$2,230 en lugar de US$1,200). Obsérvese el fuerte efecto de la tasa de descuento sobre el valor presente neto. En los modelos siempre es importante hacer este *análisis de sensibilidad*, es decir, examinar el efecto en la variable dependiente al cambiar marginalmente una de las variables independientes.

Se puede leer el valor presente neto en la edad de cosecha óptima de la gráfica (figura 5.3) o calcularlo:

$$\begin{aligned} VPN = {} & [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(56) - (4.3724)(10^{-4})(56^2) \\ & - (9.5280)(10^{-7})(56^3)](US\$100)(50 \text{ árboles}) \\ & (e^{(-0.05)(56)})/(1 - e^{(-0.05)(56)}) \\ = {} & US\$1{,}200. \end{aligned}$$

En un ciclo de cosecha repetida de 56 años, el valor presente neto alcanza su valor máximo posible de US$1,200 para los 50 árboles por hectárea. Obsérvese que este valor presente neto de US$1,200 sería el valor de una hectárea de bosque *después* de una cosecha presente, en que la regeneración se realiza naturalmente y así sin costos de manejo. La cosecha por árbol después de cada 56 años sería:

$$\begin{aligned} V_{56} = {} & -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(56) - (4.3724)(10^{-4})(56^2) \\ & - (9.5280)(10^{-7})(56^3) \\ = {} & 3.7 \text{ metros cúbicos.} \end{aligned}$$

El volumen de madera de un árbol promedio a la edad de 56 años es 3.7 metros cúbicos. Considerando 50 árboles por hectárea, la cosecha de toda la hectárea es (3.7 m^3)(50 árboles por hectárea) = 185 m^3 por hectárea cada 56 años. El flujo promedio de madera sería entonces de (185 m^3 por hectárea) /(56 años) = 3.3 m^3 por hectárea por año.

PRODUCCIÓN MÁXIMA SOSTENIBLE

El manejo de producción máxima sostenible proporciona la máxima cosecha posible mientras se sostiene una biomasa promedio constante en el bosque. Por lo tanto, los forestales frecuentemente lo han favorecido para la producción de madera. Sin embargo, en esta sección vamos a explicar la paradoja de que maximizar el flujo de madera

[24] Si la variable *K* (costos de manejo) no es cero, se complican los efectos al cambiar las variables. Esto se puede ver, si se reorganiza la fórmula de Faustmann: $VPN = [(VP)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) / 1e^{(-r)(p)})] - [K / 1-e^{(-r)(p)}]$. Ahora, duplicar por ejemplo el número *n* de árboles va a resultar en un valor presente neto duplicado más la cantidad $[K / 1-e^{(-r)(p)}]$. El ciclo óptimo de cosecha será influido levemente por la proporción entre $[(V_p)(n)(P-C)]$ y *K*. En el ejemplo, si *K* = US$100, el ciclo óptimo de cosecha será 55.7 años en lugar de 55.6 años (VPN = US$1,090 en lugar de US$1,200). Si *K* = US$800, el ciclo óptimo de cosecha será 56.4 años en lugar de 55.6 años (VPN = US$350 en lugar de US$1,200).

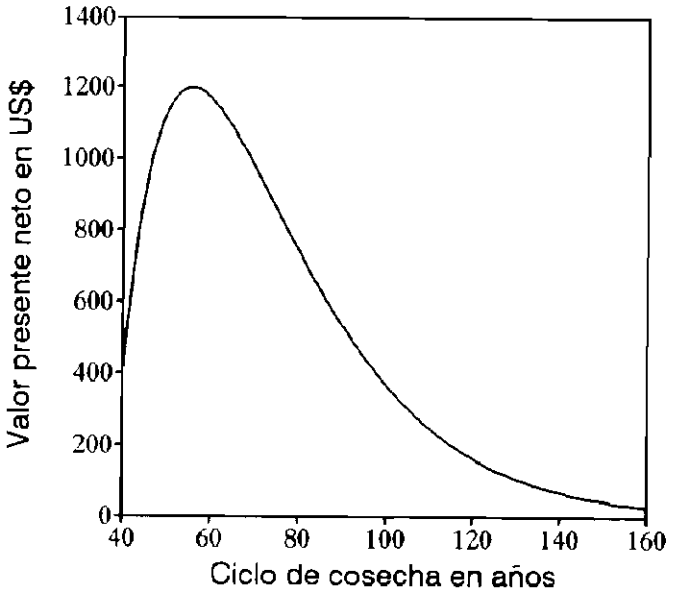


Figura 5.3. Gráfica del valor presente neto en función del ciclo de cosecha: VPN = $[-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)]$ (US$100)(50 árboles)$(e^{(-0.05)(p)})/(1 - e^{(-0.05)(p)})$ de p = 40 a 160 años; VPN = valor presente neto; *p* = edad de los árboles al fin del ciclo de la cosecha de *Pseudotsuga menziesii* (en el noroeste de Estados Unidos).

usualmente no es económicamente óptimo para la producción de madera.

La *fórmula para calcular el ciclo de cosecha para la producción máxima sostenible* es:

$$dV_p/dp = V_p/p$$

en que dV_p/dp = Crecimiento marginal[25] de madera de un árbol después del periodo *p*;

V_p/p = Crecimiento promedio de madera de un árbol, promediado sobre todo el período *p*.

Para obtener la producción máxima sostenible, el bosque se cosecha en el momento en que el crecimiento del volumen marginal es igual al crecimiento del volumen promedio sobre todo el ciclo de cosecha.

Explicaremos la fórmula de producción máxima sostenible con la ayuda de la figura 5.4. La figura 5.4 muestra otra vez la curva de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* que se presentó por primera vez en la figura 4.8. El crecimiento promedio se puede representar por medio de una línea recta que comienza en el origen. Numéricamente, el crecimiento promedio es la pendiente (V_p/p) de esa línea recta. Mientras más inclinada sea la pendiente de la línea recta, más alta será la tasa de crecimiento promedio; el objetivo de la producción máxima sostenible es lograr tener la pendiente más inclinada posible, maximizando así el flujo promedio. La línea 1 obviamente no es la línea lo más inclinada posible. La línea 2 está tan inclinada que ya no toca la curva, y por lo tanto representa manejo forestal no sustentable: la cosecha de madera es demasiado intensa; si se le cosecha de un bosque existente, este flujo promedio de cosecha no se puede mantener. La línea más inclinada posible al partir del origen es la línea 3, la cual es exactamente tangencial a la curva de crecimiento. La pendiente de una tangente en la curva de crecimiento a la edad p es la tasa de crecimiento (dV_p/dp) a esa edad, también denominada crecimiento marginal a la edad *p*. En consecuencia, la condición para el manejo de producción máxima sostenible es que se coseche, cuando el crecimiento promedio se vuelve igual al crecimiento marginal (obsérvese que solamente hay un punto así).

[25] En economía, el concepto de un cambio *marginal* es importante (véase Baumol y Blinder, 1991): imagínese un árbol en crecimiento que tiene a la edad de 10 años 1.0 metros cúbicos, con 15 años 1.5 metros cúbicos, y con 20 años 1.8 metros cúbicos; el crecimiento marginal es 0.5 metros cúbicos con 10-15 años y 0.3 metros cúbicos con 15-20 años, mientras que el valor del crecimiento promedio entre 10 y 20 años es 0.4 metros cúbicos cada 5 años. Considerando una función de *Y* sobre *X*, el cambio marginal es el cambio de *Y* con respecto al cambio de *X* en una unidad, es decir, se refiere a la derivada de la función (véase el cuadro 5.8).

Para aplicar la fórmula de producción máxima sostenible, tenemos que calcular primero la derivada dV_p/dp de la ecuación de crecimiento (véase el cuadro 5.8):

$$V_p = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)$$

$$dV_p/dp = (2.5029)(10^{-1}) - (4.3724)(10^{-4})(2)(p) - (9.5280)(10^{-7})(3)(p^2)$$

Ahora la fórmula $dV_p/dp = V_p/p$ se puede utilizar para calcular el ciclo de cosecha para la producción máxima sostenible:

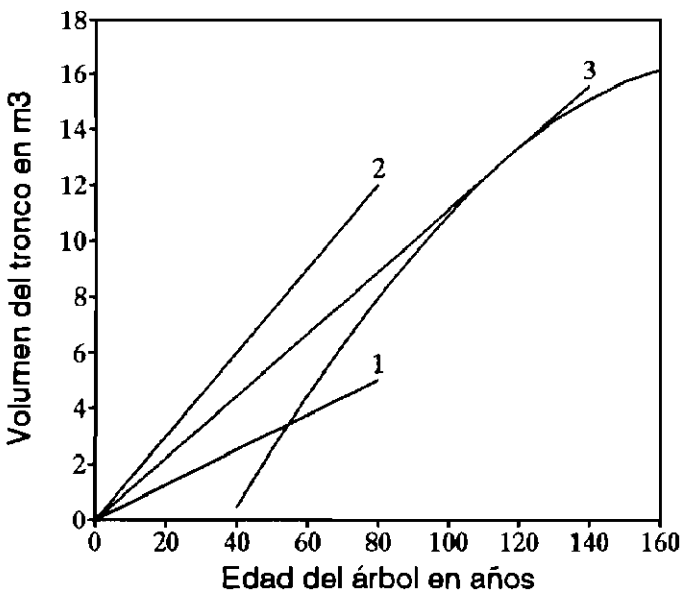


Figura 5.4. Gráfica de la ecuación del crecimiento de volumen $V_p = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)$ entre un ciclo de cosecha *p* de 40 a 160 años de *Pseudotsuga menziesii*. Las pendientes de las líneas rectas representan las tasas promedio de crecimiento, mientras que la tangente hacia cualquier punto de la curva representa la tasa marginal de crecimiento a la edad *p*. El ciclo de cosecha para la producción máxima sostenible se da cuando la tasa de crecimiento promedio es igual a la tasa de crecimiento marginal, en este caso con un ciclo de 116 años.

$$(2.5029)(10^{-1}) - (4.3724)(10^{-4})(2)(p) - (9.5280)(10^{-7})(3)(p^2)$$
$$= -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)]/p - (4.3724)(10^{-4})(p) - (9.5280)(10^{-7})(2)(p^2) = -8.7787/p$$
$$0 = 8.7787 - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(2)(p^3)$$

Esto es una ecuación cúbica, que es tediosa de resolver algebraicamente, pero es fácilmente posible con un programa computacional como *Mathematica*. Si no se tiene un programa, se encuentra la solución gráficamente, al observaren cuál *p* la ecuación se vuelve 0 (o calcular por tanteo y error; sabemos que la solución tiene que estar entre *p* = 40 y 160). La solución es *p* = 116 años. La cosecha de un árbol después de cada 116 es:

$$V_{116} = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(116) - (4.3724)(10^{-4})(116^2) - (9.5280)(10^{-7})(116^3) = 12.9\ m^3$$

El volumen de madera de un árbol promedio a la edad de cosecha de 116 años es 12.9 m^3. Considerando 50 árboles por hectárea, la cosecha de toda la hectárea es (12.9 m^3)(50 árboles por hectárea) = 645 m^3 por hectárea cada 116 años. El flujo promedio de madera es entonces (645 m^3 por hectárea)/(116 años) = 5.6 m^3 por hectárea por año. Esto es el flujo promedio de madera más alto que se puede mantener infinitamente, es decir, la producción máxima sostenible.

La diferencia en el flujo promedio de madera entre el manejo según Faustmann (3.3 m^3 por hectárea anualmente) y el manejo de producción máxima sostenible (5.6 m^3 por hectárea anualmente) es considerable. Sin embargo, este flujo de madera más alto con el ciclo de cosecha de producción máxima sostenible es engañoso, porque no maximiza el valor presente neto de la tierra. Si utilizamos la fórmula de Faustmann con un ciclo de cosecha de 116 años da como resultado:

$$VPN = [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(116) - (4.3724)(10^{-4})(116^2) - (9.5280)(10^{-7})(116^3)](US\$100)(50\ \text{árboles})(e^{(-0.05)(116)})/(1 - e^{(-0.05)(116)}) = US\$200$$

Este valor presente neto de US$200 por hectárea obtenido del manejo de producción máxima sostenible es seis veces menor que el valor presente neto de US$1,200 obtenido del manejo según Faustmann; paradójicamente, maximizar el flujo de madera cosechada de la tierra no es económicamente óptimo (aunque hay una situación de un cambio continuo de (P–C) en que sí lo es; véase más adelante). Para comprender ésto, se tiene que interpretar la fórmula de Faustmann.

INTERPRETACIÓN DE LA FÓRMULA DE FAUSTMANN

Si empezamos con un bosque recientemente cosechado (es decir, no hay una cosecha inicial), la fórmula de Faustmann nos proporciona el valor presente neto para cualquier ciclo de cosecha *p*:

$$VPN = [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K] / (1 - e^{(-r)(p)})$$

Algebraicamente el procedimiento para encontrar el ciclo óptimo de cosecha *p* es tomar la derivada d(VPN) /dp, e igualarla a cero. Esto conduce a una ecuación que no se puede resolver algebraicamente, y por lo tanto la optimizamos mediante el uso de gráficas o por tanteo y error. No obstante, el procedimiento de cálculo lleva a una ecuación que revela las condiciones para el ciclo óptimo de cosecha:

$$\begin{aligned} d(VPN)/dp = {} & [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K][r][-e^{(-r)(p)}] \\ & /(1 - e^{(-r)(p)})^2 + \\ & [(dV_p/dp)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - (V_p)(n)(P-C) \\ & (r)(e^{(-r)(p)})] \\ & /(1 - e^{(-r)(p)}) \end{aligned}$$

$$d(VPN)/dp = 0$$

$$\begin{aligned} 0 = {} & [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K][r][-e^{(-r)(p)}] / (1 - e^{(-r)(p)})^2 + \\ & [(dV_p/dp)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - (V_p)(n)(P-C)(r)(e^{(-r)(p)})] \\ & /(1 - e^{(-r)(p)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 = {} & [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K][r][-e^{(-r)(p)}] / (1 - e^{(-r)(p)}) + \\ & [(dV_p/dp)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - (V_p)(n)(P-C)(r)(e^{(-r)(p)})] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 = {} & [VPN][r][-e^{(-r)(p)}] + \\ & [(dV_p/dp)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - (V_p)(n)(P-C)(r)(e^{(-r)(p)})] \end{aligned}$$

$$0 = -[VPN][r] + [(dV_p/dp)(n)(P-C) - (V_p)(n)(P-C)(r)]$$

$$\mathbf{(dV_p/dp)(n)(P-C) = (V_p)(n)(P-C)(r) + (VPN)(r)}$$

Esta ecuación es una condición necesaria para maximizar el valor presente neto de la producción de madera, la cual se cumple por el ciclo de cosecha según Faustmann. La fórmula se puede interpretar de la siguiente manera:

> *El tiempo óptimo para la cosecha de la madera es cuando el beneficio por esperar un año más [$(dV_p/dp)(n)(P-C)$] iguala la pérdida de utilidad neta sobre el dinero de la madera vendida [$(V_p)(n)(P-C)(r)$] más la pérdida de utilidad neta sobre el dinero obtenido por vender la tierra cosechada (o la pérdida por no alquilarla) [$(r)(VPN)$].*

Deseamos conocer la tasa de crecimiento de nuestros árboles en la edad óptima de cosecha *p*. Se puede reordenar la ecuación para encontrar la tasa de crecimiento relativa $(dV_p/dp)/V_p$:

$$dV_p/dp = (r)(V_p) + (r)(VPN)/[(P-C)(n)]$$

$$(dV_p/dp)/V_p = r + (r)(VPN)/[(P-C)(n)(V_p)]$$

Textualmente, ésto significa que en la edad óptima de cosecha la tasa relativa de crecimiento del bosque es igual a la tasa de descuento *r* más el término difícil de interpretar [(r)(NPV) /[(P-C)(n)(V_p)].[26] Esto necesariamente conduce a la siguiente conclusión:

> *La edad óptima de cosecha surge en un momento en que la tasa de crecimiento de madera es todavía más alta que la tasa*

[26] La tasa de crecimiento relativa óptima es todavía más alta que la tasa de descuento porque el terreno cosechado poseerá valor para la producción de madera en el futuro. En lugar de esperar que el crecimiento relativo del volumen de los árboles disminuya hasta el punto en que sea igual a la tasa de descuento, es óptimo cosechar un poco más temprano para tener ya un bosque joven

de descuento (considerando que (P-C) permanece constante).

La tasa relativa de crecimiento de un árbol en la edad *p* es $(dV_p/dp)/Vp$. La figura 5.5 muestra la tasa relativa de crecimiento como función de la edad del árbol de *Pseudotsuga menziesii* entre 40 y 160 años. Se puede ver que la tasa disminuye continuamente, primero rápidamente y después cada vez más lentamente. Dada la tasa de descuento de 0.05 (línea recta en la figura 5.5), la edad óptima para cosechar el árbol se encuentra a una tasa relativa de crecimiento todavía por encima de 0.05. En la primera sección de este apartado encontramos que la edad óptima de cosecha es de 56 años. A esta edad, la tasa de crecimiento relativa de un árbol promedio es la siguiente:

$$\begin{aligned}(dV_{56}/dp)/V_{56} = {} & [(2.5029)(10^{-1}) - (4.3724)(10^{-4})(2)(56) \\ & -(9.5280)(10^{-7})(3)(56^2)] \\ & /[-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(56) \\ & (4.3724)(10^{-4})(56^2) - (9.5280)(10^{-7})(56^3)] \\ = {} & 0.052 \\ = {} & 5.2 \text{ por ciento}\end{aligned}$$

La tasa relativa de crecimiento en la edad óptima de los árboles para la cosecha es 0.2 por ciento más alta que la tasa de descuento del 5 por ciento. Calculamos la tasa relativa de crecimiento en la edad de cosecha de producción máxima sostenible (116 años):

$$\begin{aligned}(dV_{116}/dp)/V_{116} = {} & [(2.5029)(10^{-1}) - (4.3724)(10^{-4})(2)(116) \\ & - (9.5280)(10^{-7})(3)(116^2)] \\ & /[-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(116) \\ & (4.3724)(10^{-4})(116^2) \\ & - (9.5280)(10^{-7})(116^3)] \\ = {} & 0.009 \\ = {} & 0.9 \text{ por ciento}\end{aligned}$$

La tasa relativa de crecimiento de los árboles en la edad de cosecha de producción máxima sostenible es 0.9 por ciento, es decir, 4.1por ciento más baja que la tasa de descuento de 5 por ciento.

La razón por la que no es económicamente óptimo maximizar el flujo promedio de la madera, es porque el costo de oportunidad para lograr este flujo es demasiado alto: el alto flujo promedio se obtiene con un bosque que crece más lentamente que otras inversiones en la economía. Entre la edad de 56 y 116 años, un árbol de *Pseudotsuga menziesii* crece desde 3.7 m^3 hasta 12.9 m^3, lo que es un aumento considerable de madera; el crecimiento absoluto promedio de madera de un árbol de 56 años ha sido solamente 0.07 m^3 por año, mientras que el de un árbol de 116 años ha sido 0.11 m^3 por año. No obstante, el crecimiento relativo marginal es un tema diferente que el crecimiento absoluto promedio. Después de 56 años, el crecimiento del árbol por año está por debajo de 5.2 por ciento; el aumento del valor del bosque está por debajo del aumento de su valor monetario invertido en un proyecto alternativo.

---

que crezca a una tasa mucho más alta. Únicamente en el caso de optimizar una sola cosecha, la tasa de crecimiento relativa óptima en el momento de cosecha será exactamente la misma que la tasa de descuento:

$$\begin{aligned}VPN &= (V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K \\ d(VPN)/dp &= (dV_p/dp)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) + (V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)})(-r) \\ d(VPN)/dp &= [(dV_p/dp)(n)(P-C) - (V_p)(n)(P-C)(r)](e^{(-r)(p)}) \\ d(VPN)/dp &= 0 \\ 0 &= [(dV_p/dp)(n)(P-C) - (V_p)(n)(P-C)(r)](e^{(-r)(p)}) \\ (dV_p/dp)/V_p &= r\end{aligned}$$

Vale la pena cosechar los árboles y hacer lugar para los árboles más jóvenes, los cuales crecen nuevamente a una tasa relativa más alta.

COSECHA INICIAL Y ESTRATEGIAS DE COSECHA

Hasta ahora, solamente hemos considerado optimizar un bosque que tiene que crecer todavía, para cosecharlo completamente cuando los árboles alcancen una edad determinada. En la realidad, frecuentemente el forestal hereda un bosque maduro, y entonces empieza con una cosecha inicial. Esta cosecha inicial por sí sola tiene un valor considerable, porque ocurre en el presente y por lo tanto no se descuenta. Se tiene que añadir el valor de una cosecha inicial al valor presente neto de las cosechas futuras:

$$\begin{aligned} VPN &= A_{inicial} + VPN_{Futuro} \\ &= (V_0)(n)(P-C) + [(V_p)(n)(P-C)(e^{(-r)(p)}) - K] \\ &\quad /(1 - e^{(-r)(p)}) \end{aligned}$$

El segundo término para VPN_{Futuro} es la fórmula de Faustmann. La utilidad neta inicial $(V_0)(n)(P-C)$ es independiente del ciclo de cosecha *p*, y consecuentemente no influye en él:

> *Mientras que el valor presente neto aumenta cuando hay un cosecha inical, el ciclo óptimo de cosecha sigue siendo el mismo.*

El forestal puede deducir la edad óptima de cosecha sin preocuparse por la cosecha inicial, pero sí tendrá que ocuparse de la estrategia de tala. Si un bosque tiene 300 hectáreas y el ciclo óptimo de cosecha es de 50 años, se podría dividir el bosque en 50 parcelas de 6 hectáreas cada una (300 hectáreas /50 años = 6 hectáreas). Cada año los árboles maderables en una de estas parcelas se podrían cosechar; después de 50 años finalmente se habrían cosechado todas las 300 hectáreas, y se podría empezar nuevamente con la primera parcela (en la que los árboles ya tienen de nuevo 50 años). Este ciclo podría repetirse indefinidamente. Comparado con una tala completa, esta estrategia de cosecha es relativamente moderada en su impacto sobre el bosque y proporciona ingresos anualmente. Con una utilidad neta por hectárea de $1,000 para cada cosecha, y la tasa de descuento continua anual del 5 por ciento, aplicamos la fórmula 6 del apartado 5.2:[27]

$$\begin{aligned} VPN_1 &= (6 \text{ hectáreas})(\$1000) /(1 - e^{(-0.05)(1)}) \\ &= \$123{,}025 \end{aligned}$$

En lugar de cortar solamente seis hectáreas cada año, el forestal podría cosechar las 300 hectáreas completas de una vez, y nuevamente cada 50 años:

$$\begin{aligned} VPN_2 &= (300 \text{ hectáreas})(\$1000) /(1 - e^{(-0.05)(50)}) \\ &= \$326{,}828 \end{aligned}$$

La segunda estrategia, en que se realiza una tala completa inmediata, tiene un valor presente neto 2.7 veces más alto que el de la primera (326,828 /123,025). Si el único interés consiste en maximizar las utilidades netas de la madera, entonces es preferible cosechar los árboles maderables de las 300 hectáreas inmediatamente, e invertir el dinero en otros proyectos de la economía. Recuérdese que un bosque maduro tiene una tasa de rendimiento real de cero, si (P-C) es constante, y por lo tanto existe un fuerte incentivo financiero para activar el valor monetario como capital de inversión. Obsérvese que aun cuando sólo es posible la primera cosecha, ya que posteriormente la productividad del bosque se reduce por pobre regeneración o erosión, la utilidad neta es de $300,000, más alta que el valor presente neto de la estrategia de cosecha retrasada (véase el apartado 5.4 para un análisis sobre sustentabilidad). Sin embargo, existen dos argumentos econó-

[27] En este modelo se empieza con un bosque en que la cosecha inicial tiene el mismo volumen que todas las cosechas futuras.

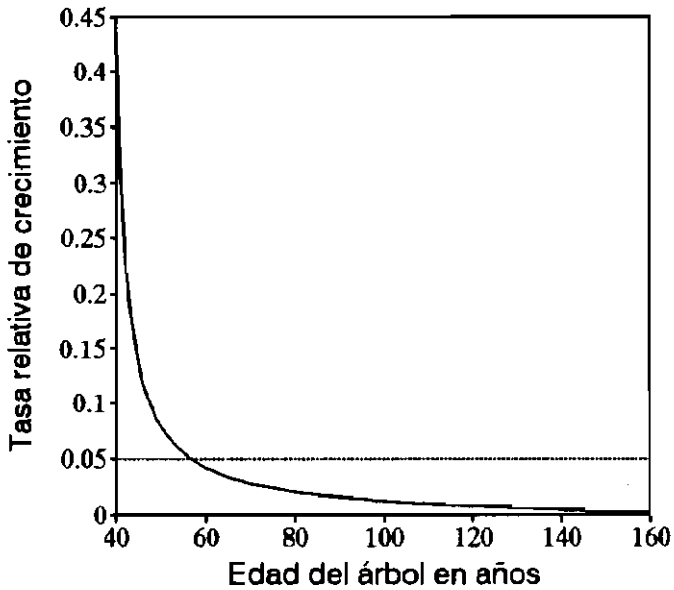


Figura 5.5. Tasa relativa de crecimiento (dV_p/dp) / V_p de un árbol promedio de *Pseudotsuga menziesii* en función de su edad *p* entre 40 y 160 años. La línea recta representa la tasa de descuento de 5 por ciento. $(dV_p/dp)/V_p = [(2.5029)(10^{-1}) - (4.3724)(10^{-4})(2)(p) - (9.5280)(10^{-7})(3)(p^2)] / [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)]$.

micos en contra de la tala inmediata de las 300 hectáreas:

1) En un área rural, el mercado puede ser pequeño y una oferta alta repentina de madera podría causar una disminución en los precios; tiene que existir una demanda para la cantidad de madera ofrecida. En los años en que no hay cosecha debe existir oferta maderera de otro bosque; si éste no es el caso se podría esperar un incremento de los precios, lo que proporcionaría un incentivo para no vender toda la madera inmediatamente.
2) Pueden existir valores no-comerciales en el bosque intacto que se perderían por una tala completa. Estos valores podrían ser el control de erosión, la preservación de animales, la conservación de biodiversidad, o el valor recreacional del bosque (véase el apartado 5.7).

CAMBIO CONTINUO DE LA UTILIDAD NETA REAL POR UNIDAD DE MADERA (P-C)

En un mundo cambiante, las utilidades netas reales por unidad de madera (P-C) no permanecen constantes (véase los apartados 5.1 y 5.4). Por ejemplo, durante la década de los ochenta, los precios reales en Connecticut (Estados Unidos) para especies de *Quercus* L. ("roble"; Fagaceae) aumentaron con una tasa anual promedio de 7.3 por ciento, mientras que el valor de otras *maderas duras* (angiospermas) aumentó en un 2.0 por ciento. En comparación, el valor de *maderas blandas* (gimnospermas, por ejemplo *Pinus* L.) cayó a una tasa anual promedio de 2.4 por ciento durante este periodo (Holmes *et al.*, 1990)

La utilidad neta real por unidad de madera (P-C) puede subir o bajar debido a cambios en la oferta de madera, cambios en la demanda, o cambios en los costos de manejo, cosecha, transporte, o comercialización. El forestal necesita ser flexible en sus esquemas de manejo. Através de los años existirán nuevas predicciones referentes a los cambios de precios proporcionados por estudios de mercado, y podría ser conveniente para el forestal recalcular el ciclo óptimo de cosecha, tomando en consideración los cambios en los precios.

Si se proyecta que la utilidad neta real por unidad de madera (P-C) cambia continuamente hasta el infinito —por ejemplo como resultado de una disminución infinita de bosque— entonces se tiene que utilizar la siguiente *fórmula según Faustmann modificada* para encontrar el ciclo óptimo de cosecha:

$$VPN = [(V_p)(n)(P-C)(e^{-(r-x)(p)}) - K]/(1-e^{-(r-x)(p)})$$

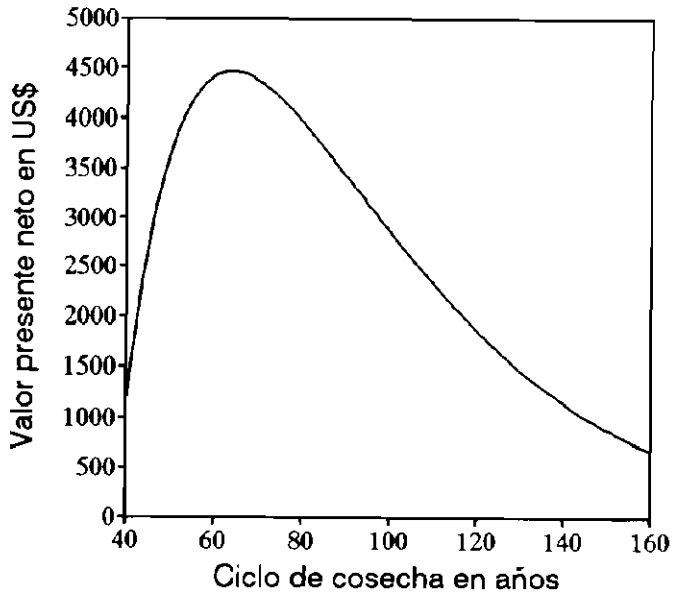


Figura 5.6. Gráfica del valor presente neto en función del ciclo de cosecha cuando (P–C) cambia continuamente VPN = $[-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)]$ (US$100)(50 árboles)$(e^{-(0.05-0.02)(p)})/(1 - e^{-(0.05-0.02)(p)})$ de $p = 40$ a 160 años. El ciclo óptimo de cosecha de *Pseudotsuga menziesii* se retrasa ocho años cuando la utilidad neta real por unidad de madera (P–C) aumenta continuamente 2 por ciento hasta el infinito.

en que x = tasa de cambio continua anual de la utilidad neta por unidad de madera (P–C): positiva si aumenta el valor, negativa si disminuye el valor, cero para ningún cambio.

Por ejemplo, si en la actualidad una utilidad neta real por unidad de madera de US$100 por metro cúbico es proyectado a 20 años con un valor real de US$150, la tasa continua anual del aumento del valor será:

$$\begin{aligned} \text{US\$150} &= (\text{US\$100})(e^{(x)(20)}) \\ 1.5 &= e^{(x)(20)} \\ \text{Ln}[1.5] &= (20)(x) \\ x &= \text{Ln}[1.5]/20 \\ x &= 0.02 \\ x &= 2 \text{ por ciento} \end{aligned}$$

Consideramos este aumento del valor continuo anual de 2 por ciento hasta el infinito en nuestro ejemplo de *Pseudotsuga menziesii:*

$$\begin{aligned} \text{VPN} = {} & [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) \\ & - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)] \\ & (\text{US\$100})(50 \text{ árboles})(e^{-(0.05-0.02)(p)}) \\ & /(1 - e^{-(0.05-0.02)(p)}) \end{aligned}$$

La figura 5.6 muestra que en el caso de un aumento infinito de 2 por ciento de la utilidad neta real por unidad de madera (P-C), el ciclo óptimo de cosecha se da a los 64 años, en lugar de a los 56. Cuando la utilidad neta real por unidad de madera aumenta continuamente, vale la pena retrasar el ciclo de cosecha original de Faustmann a una edad en que los árboles tengan un crecimiento más lento. El retraso se justifica porque el crecimiento más lento del volumen se compensa con el aumento de la utilidad neta por unidad.

Ahora es considerablemente más alto el valor presente neto, porque el valor del recurso maderero aumentará en el futuro:

$$\begin{aligned} \text{VPN} = {} & [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(64) \\ & - (4.3724)(10^{-4})(64^2) - \\ & (9.5280)(10^{-7})(64^3)](\text{US\$100})(50 \text{ árboles}) \\ & (e^{-(0.05-0.02)(64)})/(1 - e^{-(0.05-0.02)(64)}) \\ = {} & \text{US\$4,470} \end{aligned}$$

Comparado con el valor presente neto sin aumento de la utilidad neta por unidad (US$1,200), es 4,470 /1,200 = 3.7 veces más alto.

Cabe señalar que una tasa de descuento r de 5 por ciento y un aumento de la utilidad neta por unidad de 2 por ciento hasta el infinito resulta en la misma fórmula que cuando se tiene una tasa de descuento de 3 % y ningún aumento de la utilidad neta por unidad (x = 0). Recuerde que el tiempo óptimo para cosechar es cuando la tasa relativa de crecimiento de los árboles se ha disminuido al punto que se acerca a la tasa de descuento (véase la sección anterior sobre la interpretación de la fórmula de Faustmann). Sin embargo, no importa

si los árboles crecen físicamente o si aumentan su valor por unidad. Si los árboles crecen físicamente a una tasa de 3 por ciento y su valor por unidad de madera aumenta a una tasa de 2 por ciento, desde el punto de vista comercial es igual a un crecimiento físico de 5 por ciento y ningún aumento del valor por unidad de madera. Una tasa de descuento de 5 por ciento y un aumento del valor por unidad de madera de 2 por ciento se puede tratar como una tasa de descuento de 3 por ciento sin aumento del valor por unidad, porque el crecimiento relativo físico más bajo entre los años 56 y 64 en nuestro ejemplo se compensa por el aumento del valor por unidad de 2 por ciento.

Existe una situación especial de cambio de la utilidad neta por unidad de madera: si el aumento del valor es igual a la tasa de descuento, entonces el valor presente neto del bosque se va al infinito.[28] Bajo estas circunstancias, el ciclo de cosecha no se puede calcular en la manera usual, porque la fórmula de Faustmann se "colapsa". No obstante, la utilidad neta *A* de los árboles después de un ciclo de cosecha determinado, todavía se puede calcular de la siguiente manera:

$$A = (V_p)(n)(P-C) - K$$

La única variable que todavía es dependiente de la edad de los árboles es el volumen V_p. Por lo tanto se vuelve óptimo maximizar el flujo de volumen del bosque, es decir, realizar el manejo de producción máxima sostenible que ya analizamos. En nuestro ejemplo, el ciclo óptimo de cosecha será el ciclo de cosecha del manejo de producción máxima sostenible, que es de 116 años.

Si la utilidad neta por unidad de madera (P-C) decrementa, entonces el crecimiento físico relativo en el momento de la cosecha tiene que ser más alto para compensar el decremento del valor, así que el ciclo óptimo de cosecha se vuelve más corto. Por ejemplo, si r = 0.05 y x = −0.02, entonces (r−x) = 0.05−(−0.02) = 0.07; es decir, esta es la misma situación que se da si se tiene una tasa de descuento de 7 por ciento y ningún decremento del valor por unidad. Obsérvese que se puede recortar el ciclo de cosecha solamente dentro de ciertos límites, porque en algún punto los troncos podrían ser tan pequeños que el precio por unidad de madera se reduciría.

Esto nos lleva a un principio para un cambio continuo de las utilidades netas por unidad de madera (P−C). Consideramos *cambios continuos infinitos:*

> *Si la utilidad neta real por unidad de madera (P−C) aumenta con una tasa por debajo de la tasa de descuento, es económicamente óptimo para la producción de madera retrasar el ciclo de cosecha original según Faustmann. Si la utilidad neta real por unidad de madera aumenta con una tasa igual o por encima*[29] *de la tasa de descuento, entonces el manejo de producción*

[28] En este caso el cambio de la utilidad neta por unidad *x* y la tasa de descuento *r* se cancelan (r − x = 0), y ya no hay un costo de oportunidad por mantener el bosque sin crecimiento físico. Sin un costo de oportunidad , las cosechas futuras ya no se descuentan y sus utilidades netas se suman al infinito:

$$\begin{aligned} VPN &= [(V_p)(n)(PC)(e^{-(r-x)(p)}) - K] / (1 - e^{-(r-x)(p)}) \\ &= [(V_p)(n)(P-C)(e^{-(0)(p)}) - K] / (1 - e^{-(0)(p)}) \\ &= [(V_p)(n)(P-C)(1) - K] / (1 - 1) \\ &= [(V_p)(n)(P-C) - K] / 0 \\ &= \infty \end{aligned}$$

[29] Si la utilidad neta por unidad (P−C) aumenta con una tasa por encima de la tasa de descuento (r−x), en consecuencia el término $(1 - e^{-(r-x)(p)})$ se vuelve negativo, y entonces la fórmula modificada de Faustmann dará como resultado valores presentes netos negativos. Mientras más largo sea el ciclo de cosecha, más alto será el valor presente neto negativo. Esencialmente, esto significa que el forestal debería comprar madera en lugar de venderla, dado que al no poseer madera pierde dinero; el valor de la madera

máxima sostenible es económicamente óptimo. Si la utilidad neta real por unidad de madera disminuye, entonces es económicamente óptimo reducir el ciclo de cosecha original según Faustmann.

5.4 ASPECTOS DE SUSTENTABILIDAD

La gente que se preocupa por la deforestación en los trópicos critica el uso no sustentable de los bosques tropicales. Para analizar el problema, hay que aclarar qué se entiende por deforestación y, una vez definida, cuánta deforestación realmente ocurre. Después deseamos presentar un análisis más conceptual acerca de la sustentabilidad. ¿El uso sustentable es siempre el mejor objetivo, o existen situaciones donde la sociedad prefiere un uso no sustentable? En esta discusión, cualquier argumento a favor o en contra por mantener extensas áreas de bosque debe basarse en profundos análisis ecológicos y económicos.

EVIDENCIA EMPÍRICA DE DEFORESTACIÓN

El término "deforestación" está pobremente definido. Puede significar la tala parcial o completo de un bosque debido a su madera. Si como consecuencia de esto último el suelo se erosiona o se daña de alguna manera, puede llegar a retrasar el reestablecimiento y quizás llevar a la formación de un bosque con menor volumen de madera. Deforestación también se puede referir a la conversión de bosques naturales de alta diversidad de especies en bosques con pocas especies, en bosques sin valor comercial ("degradación"), o en plantaciones artificiales de unas cuantas especies. Finalmente, deforestación puede significar la extracción total de la madera y las raíces para el establecimiento de agricultura, pastizales para ganadería o establecimiento de carreteras y edificios. Aquí definimos *deforestación* como la conversión completa de tierra con bosque en tierra sin bosque.

El cuadro 5.12 muestra datos sobre el cambio del área boscosa, es decir deforestación en nuestro sentido, en varios países del mundo entre 1978 y 1988. La deforestación ha sido predominante al considerar al mundo entero (780,670 kilómetros cuadrados o 0.6 por ciento del área terrestre del mundo se deforestó entre 1978 y 1988). En Sudamérica y en particular en Brasil se ha deforestado un área especialmente extensa. Pero no todos los países han perdido área de bosque, y algunos incluso han llegado a aumentarla.

CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN

Se ha argumentado que la deforestación es necesaria para lograr el desarrollo económico y que es un resultado de la exportación maderera. La extensa área de bosque en algunos países altamente industrializados como Japón (66.4 por ciento) o Suecia (67.7 por ciento) contradice la idea de que el desarrollo económico necesariamente va ligado a una deforestación a gran escala. Además, la exportación de madera ha sido a veces, pero no siempre, la causa de la deforestación.[30] Por ejemplo, entre 1987 y 1989, Brasil y México fueron importadores netos de madera en rollo a pesar de sus inmensos recursos forestales, mientras que Colombia tuvo un balance nulo. En comparación con Estados Unidos, las exportaciones de madera en rollo de cualquier país tropical fueron menores en un factor de 15 o más (World Resources Institute, 1992).

Una gran parte de la deforestación que tiene lugar en los trópicos está correlacionada con procesos generales que alejan economías locales

---

aumenta más rápidamente que una inversión en cualquier otro proyecto. Mientras que esto es una peculiaridad de la fórmula de Faustmann, en términos de manejo práctico el manejo de producción máxima sostenible que maximiza el flujo de la madera sigue siendo óptimo.

[30] Sin duda, varios países —especialmente en el sureste de Asia— han disminuido su área de bosque por la exportación de madera, sin asegurar el reestablecimiento del bosque. Ejemplos notables son Indonesia y Malasia (World Resources Institute, 1992).

CUADRO 5.12. **Cambio del área de bosque 1978-88**[1]

Cambio del área de bosque en regiones del mundo:	
Mundo	−750,670 km²
Sudamérica	−431,890 km²
Asia	−301,580 km²
África	−256,290 km²
Ex URSS	+157,960 km²
Europa	+ 17,070 km²
Países con la más alta disminución de área de bosque:	
Brasil	−243,560 km²
China	−105,820 km²
Indonesia	− 62,220 km²
México	− 59,370 km²
Paraguay	− 57,340 km²
Vietnam	− 37,840 km²
Zaire	− 33,890 km²
Estados Unidos	− 32,730 km²
Ecuador	− 30,570 km²
Colombia	− 30,200 km²
Nigeria	− 30,090 km²
Sudán	− 30,030 km²
Venezuela	− 28,940 km²
Tailandia	− 26,570 km²
Costa de Marfil	− 25,020 km²
Perú	− 24,990 km²
Malasia	− 23,900 km²
Filipinas	− 21,090 km²
Madagascar	− 15,080 km²
Países con área de bosque constante:	
Belice	
Gabón	
Países con el incremento más alto de área de bosque:	
Canadá	+195,160 km²
Ex URSS	+157,960 km²
Pakistán	+ 6860 km²
Argelia	+ 4880 km²

[1] Datos del World Resources Institute (1992).

independientes de su subsistencia a la participación en mercados regionales, nacionales y últimamente globales. Mientras que cierta conversión de bosques se puede justificar desde el punto de vista económico, se ha presentado una deforestación excesiva, así como un ineficiente uso de la tierra, por las siguientes razones:

- rápido crecimiento de la población sin una planificación a largo plazo;
- mayor acceso a áreas boscosas, principalmente por la construcción de carreteras, sin prevenir las consecuencias negativas;
- grandes afluencias de gente, frecuentemente "refugiados económicos", inexpertos en el manejo de bosques o la práctica agrícola en suelos pobres;
- prejuicios culturales que favorecen aquellos usos de la tierra que son pobremente adaptados a bosques tropicales;
- derechos poco confiables de la propiedad de la tierra;
- proyectos de desarrollo pobremente planeados, frecuentemente demasiado ambiciosos, con el único fin de generar ingresos de exportación, sin tomar en cuenta la situación local económica, ecológica y cultural; y
- subsidios gubernamentales y otros incentivos que favorecen la deforestación.

Para un análisis en algunos de estos aspectos, véase Repetto (1990), y Gillis y Repetto (1988).

La integración de economías localizadas en economías de mercado más grandes se debe principalmente a la creación de nuevos accesos a gente

y áreas retiradas —por ejemplo, por nuevas carreteras, lanchas con motores y/o aeropuertos. El nuevo acceso hacia y desde áreas anteriormente retiradas causa cambios económicos fundamentales a nivel local. En comunidades que viven en subsistencia, el contacto con nuevos productos de otras partes del mundo causa demanda de ciertos bienes como televisores, motores para lanchas, motosierras, y coches. Por otra parte, se pueden vender productos locales no solamente a nivel local, sino también a mercados regionales, nacionales y últimamente hasta internacionales. Esto ocasionará un incremento de producción de bienes regionales como valiosos frutos y maderas para poder intercambiarlos por los nuevos productos. El ingreso monetario se vuelve importante, y finalmente hay una reducción en la diversidad de bienes producidos localmente, porque la gente se especializa en la producción de los bienes con mayor valor monetario.

Si los pueblos locales e indígenas protestan en contra de los proyectos de desarrollo, usualmente no es porque se opongan al desarrollo económico, sino porque el proyecto en cuestión intenta beneficiar a un sector específico y diferente al suyo, y pone en desventaja a la población local. Por ejemplo, en la región colombiana del Chocó, la Organización Indígena Regional Embera Waunana ha protestado contra planes de industrialización, incluso el desarrollo de carreteras, proyectos de minería, y plantas de hidroelectricidad, mientras no se asegure la propiedad de su tierra. En la situación actual, la Organización Indígena Regional Embera Waunana favorece a hospitales, escuelas y proyectos de agroforestería para su comunidad (comunicación personal, 1992).

La deforestación no llega necesariamente a la destruccción completa del bosque y con frecuencia es reversible, por lo menos en el sentido de poder reestablecer área cubierta con bosque. Por ejemplo, el área del bosque templado en el estado de Connecticut (Estados Unidos) ha cambiado dramáticamente al paso del tiempo. Cuando los primeros colonizadores vinieron de Europa en el siglo XVI, alrededor de 90 por ciento de la tierra en Connecticut estaba cubierta con bosque. Los colonizadores empezaron con agricultura de subsistencia, lo que dio lugar a una alta deforestación que alcanzó su punto máximo entre 1820 y 1880, cuando solamente alrededor de 27 por ciento del área de Connecticut quedó cubierta con bosque (Barrett, 1980). En aquellos años, los colonizadores empezaron a convertir las llanuras de pastizales de las planicies del oeste en campos agrícolas de alta productividad, mientras que el este se industrializó. Como consecuencia, los campesinos se mudaron al oeste o se dedicaron a trabajar en fábricas. Así, la agricultura se acabó casi completamente en Connecticut. Los bosques secundarios "reconquistaron" la tierra; solamente las paredes de piedra que una vez marcaron los límites de los campos permanecieron, y todavía se pueden ver en los bosques del estado (véase Raup, 1966). Por lo tanto, la mayoría de los bosques de Connecticut son relativamente jóvenes (100 años o menos), y en su mayoría contienen árboles de la misma edad.

USO SUSTENTABLE *VERSUS* NO-SUSTENTABLE EN UN MERCADO LIBRE

El manejo forestal se considera sustentable si la biomasa promedio del bosque es constante a lo largo del tiempo. Definimos al *uso sustentable* de la siguiente manera:

> *El uso sustentable consiste en el mantenimiento a largo plazo del equilibrio de un sistema (como un bosque) en términos de un atributo (como la biomasa o la biodiversidad). Durante el uso no sustentable el punto de equilibrio cambia, por ejemplo de bosque a pastizal.*

Obsérvese que el equilibrio en el uso sustentable no tiene que ser estático; por ejemplo los árboles continuamente crecen y caen (o son talados).

Frecuentemente se expresan dos argumentos contra el uso no-sustentable de recursos naturales:

1) Los críticos sostienen que la incertidumbre existente sobre las posibles consecuencias del uso no-sustentable del recurso prohíbe realizar esa actividad (por ejemplo, incertidumbre sobre las consecuencias de la deforestación sobre el abastecimiento del agua).
2) Los críticos afirman que el uso no sustentable es imposible hasta el infinito; es decir, los recursos limitados no se pueden utilizar por siempre.

Ningún argumento es válido como aseveración general. El primero de ellos necesita ser evaluado caso por caso: se puede justificar cuando existe alta incertidumbre ("riesgo") para personas individuales o la sociedad completa. Sin embargo, un análisis de costo-beneficio del uso sustentable contra el uso no-sustentable es necesario para aclarar cómo se comparan los dos usos económicamente, y qué tan alto es el costo por aversión al riesgo.

Para el segundo argumento, considere un modelo de deforestación para un bosque de 1,000 hectáreas con la siguiente función de conversión del bosque:

$$B = 100 \text{ hectáreas} + (900 \text{ hectáreas})(e^{(-c)(T)})$$

en que B = área del bosque (en hectáreas);
C = tasa continua anual de conversión del bosque: positivo para un decremento del área, negativo para un incremento, cero para ningún cambio;
T = punto en el tiempo (en años).

La figura 5.7 muestra dos funciones entre los años 0 y 500, una para $c = 0.006$ (0.6 por ciento de conversión por año) y otra para $c = 0.010$ (1 por ciento de conversión por año). En ambos casos, el área del bosque converge hacia 100 hectáreas cuando llega al infinito, a pesar de que las dos funciones de conversión siguen diferentes trayectorias a través del tiempo. La conversión del área con bosque ocurre hacia el infinito; sin embargo, puede ocurrir hacia el infinito solamente, porque las funciones convergen asintóticamente. ¿Qué hace que la función converja en el mundo real? Es el cambio del precio asociado con un cambio de la oferta; mientras más pequeña se vuelva el área del bosque, más valiosa será. Mientras más alto sea el precio, más pequeña será la demanda para el área restante del bosque:

> *En un mercado libre, el uso no-sustentable de recursos comerciales*[31] *conduce necesariamente a un cambio en el precio de los recursos involucrados, lo que provoca un ajuste en la demanda de la sociedad.*

Únicamente un mercado libre permitirá que los precios se adapten a un equilibrio entre demanda y oferta (véase el apartado 5.1). Fijar los precios impedirá el mecanismo de ajuste automático; si un gobierno fija los precios de recursos obtenidos de manera no-sustentable, y no aumenta los precios a pesar de que las existencias disminuyen entonces conducirá a una escasez repentina "catastrófica" del recurso.

Al utilizar otro modelo de deforestación, representado por la fórmula $B = (1{,}000 \text{ hectáreas})(e^{(-c)(T)})$, nuestro bosque desaparecería en el infinito; los cambios de precios causarían que el área de bosque se acercara asintóticamente a cero en el infinito y no permitirían que una parte del bosque quedara intacta para siempre. Sin embargo, en nuestro modelo de deforestación B = (100 hectá-

[31] La situación es más difícil en el caso de valores no-comerciales como la conservación de la biodiversidad, porque el mercado comercial no lo considera como valor; este problema se analiza en el apartado 5.7.

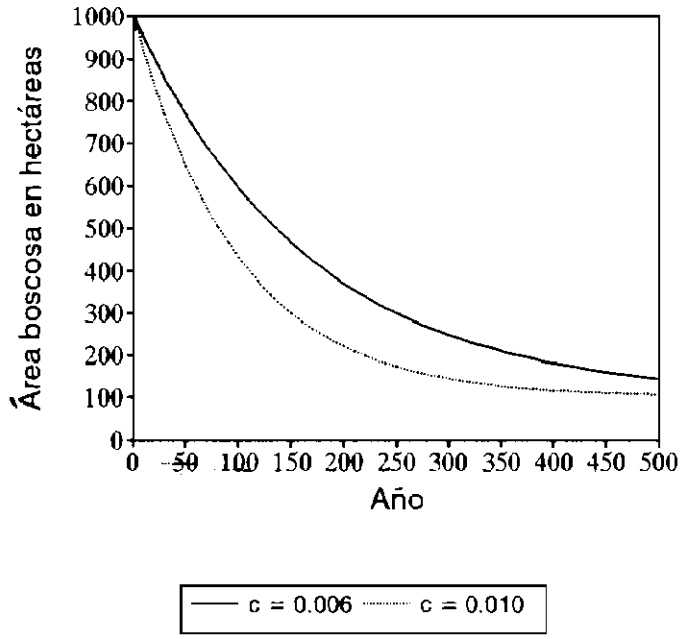


Figura 5.7. Dos funciones de deforestación. Cada año una cierta proporción del bosque restante se reduce. El punto clave del modelo y de las gráficas es pensar sobre la deforestación como un fenómeno no lineal. La función de conversión es B = 100 hectáreas + (900 hectáreas) ($e^{(-c)(T)}$), lo que representa un bosque de 1,000 hectáreas al principio. Con c = 0.006, en los primeros 10 años se convierten 52 hectáreas, en los segundos 10 años 49 hectáreas, y así adelante; con c = 0.010, en los primeros 10 años se convierten 85 hectáreas, en los segundos 10 años 77 hectáreas, y así adelante.

reas) + (900 hectáreas) ($e^{(-c)(T)}$), 100 hectáreas permanecen intactas a pesar de la deforestación. ¿Por qué la función converge hacia un área de 100 hectáreas y no hacia 0 hectáreas en el mundo real? Las 100 hectáreas tienen que ser ocupadas o protegidas de manera que no sean accesibles para el uso no sustentable.

> *Mientras que el mercado libre se ajusta a los cambios de oferta, no habrá ningún mecanismo inherente que prevenga al recurso de escasearse completamente hasta llegar al infinito; únicamente se sostendrán las áreas de bosque si hay valores asociados con su mantenimiento.*

CAMBIO DEL USO NO SUSTENTABLE AL USO SUSTENTABLE

La regla de la optimación del uso de la tierra, que nos enseña a maximizar el valor presente neto, no necesariamente llega a un uso sustentable. En algunas áreas sí puede ser económicamente óptimo talar el bosque, vender la madera (o aun quemarla si los costos de transporte son demasiado altos), y establecer por ejemplo pastizal para ganado. Esto representa un cambio en el equilibrio ecológico del sistema, pero a gran escala también el valor y los precios del ganado disminuirán y a la vez los precios de la madera aumentarán, proporcionando cada vez menos incentivos para convertir un bosque en pastizal.

Un pastizal sobre suelo pobre puede disminuir en su productividad al paso del tiempo; el ingreso disminuye de un año al otro (alternativamente el costo de fertilizantes podría aumentar de un año al otro). Suponemos que en un pastizal de ganado la disminución de la utilidad neta sucede a una tasa continua anual *d*:

$$A_T = (A_0)(e^{(-d)(T)})$$

Queremos calcular el valor presente neto bajo esa circunstancia. Dado que esto último lleva a una situación de descuento que todavía no hemos considerado, tenemos que derivar una fórmula especial a partir de la fórmula 2 en el apartado 5.2. Esto hacemos en el cuadro 5.13. Si el ingreso, el costo, o la utilidad neta en la actualidad A_0 *disminuye a una tasa continua anual d, entre dos puntos de tiempo T1 y T2*, la fórmula 9 presenta el valor presente de esa actividad:

$$(9)\quad VP = [A_0/(d + r)][e^{-(d+r)(T1)} - e^{-(d+r)(T2)}]$$

Si se realiza esa *actividad* no sustentable *desde el presente hasta el infinito,* entonces la fórmula 9 se reduce a la fórmula 10:

CUADRO 5.13 Derivación de las fórmulas 9 y 10

$$VP = \int_{T1}^{T2} [(A_t)(e^{(-r)(t)})]\, dt \qquad \text{fórmula 2}$$

A_t cambia proporcional y continuamente con el paso del tiempo con una tasa *d*:

$$A_t = (A_0)(e^{(-d)(t)})$$

$$\begin{aligned}
VP &= \int_{T1}^{T2} [(A_0)(e^{(-d)(t)})(e^{(-r)(t)})]\, dt \\
&= \int_{T1}^{T2} [(A_0)(e^{(-d)(t)-(r)(t)})]\, dt \\
&= \int_{T1}^{T2} [(A_0)(e^{-(d+r)(t)})]\, dt \\
&= [(A_0)(e^{-(d+r)(t)})/-(d+r)]_{T1}^{T2} \\
&= [(A_0)(e^{-(d+r)(T2)})/-(d+r)] - [(A_0)(e^{-(d+r)(T1)})/-(d+r)] \\
&= -[(A_0)(e^{-(d+r)(T2)})/(d+r)] + [(A_0)(e^{-(d+r)(T1)})/(d+r)] \\
&= [(A_0)(e^{-(d+r)(T1)})/(d+r)] - [(A_0)(e^{-(d+r)(T2)})/(d+r)] \\
&= \mathbf{[(A_0)/(d+r)]\,[e^{-(d+r)(T1)} - e^{-(d+r)(T2)}]} \qquad \textbf{fórmula 9}
\end{aligned}$$

Si $(T1 = 0)$ y $(T2 = \infty)$:

$$VP = [(A_0)/(d+r)]\,[e^{-(d+r)(0)} - e^{-(d+r)(\infty)}]$$

cuando $(d + r) > 0 \Rightarrow e^{-(d+r)(\infty)} = 0$

$$\begin{aligned}
VP &= [(A_0)/(d+r)]\,[1 - 0] \\
&= \mathbf{A_0/(d+r)} \qquad \textbf{fórmula 10}
\end{aligned}$$

(10) $VP = A_0/(d + r)$

Suponemos que un pastizal de ganado gana una utilidad neta de $1,000 en la actualidad, pero que después de cada año gana un 4 por ciento menos; la tasa de descuento es del 5 por ciento, y entonces tenemos:

$$\begin{aligned}
VP &= \$1{,}000/(0.04 + 0.05) \\
&= \$11{,}111
\end{aligned}$$

Hay un aspecto peculiar e importante en estas fórmulas: la cantidad inicial A_0 disminuirá cada año, así que cada año subsecuente el cálculo del valor presente neto resultará en un valor más bajo:

> *En el caso de cambios continuos de ingresos, costos o utilidades netas a través del tiempo, el valor presente neto se vuelve dependiente del tiempo. Igual que antes, es óptimo escoger en cualquier momento el uso de la tierra con el valor presente neto más alto. Sin embargo, el uso óptimo de la tierra en la actualidad podría ser diferente que el uso óptimo de la tierra en el futuro. Por lo tanto, se tienen que calcular valores presentes netos para diferentes años.*

El razonamiento es lógico porque cuando la productividad disminuye en el uso no sustentable, los ingresos futuros esperados se vuelven cada vez menores a través del tiempo. En nuestro ejemplo, después de manejar el pastizal de ganado por 10 años, la utilidad neta anual habrá disminuido de $1,000 a $670 $[(\$1{,}000)(e^{(-0.04)(10)})]$. El valor presente neto calculado en ese tiempo será $7,448 $[\$670/(0.04 + 0.05)]$.

Supongamos que, en nuestro ejemplo, otra alternativa es iniciar el manejo forestal sustenta-

ble con un valor presente neto de $7,000. En primer lugar, el propietario de la tierra optaría entonces por el pastizal, porque un pastizal de ganado tendría un valor presente neto más alto ($11,111). El tiempo óptimo para cambiar de pastizal a bosque se alcanza cuando el valor presente neto del flujo de utilidades netas restantes del pastizal es igual al valor presente neto del bosque. Esto se explica porque el valor presente neto del pastizal continuará disminuyendo, mientras que el valor presente neto del bosque permanecerá constante.[32] Es fácil observar esto en la figura 5.8; el punto óptimo de cambio se encuentra donde las dos líneas de los valores presentes netos se intersectan (en el año 12).

> *Las utilidades netas que disminuyen a través del tiempo, generalmente conducirán a un punto en el cual es económicamente óptimo para el propietario cambiar la actividad del uso de su tierra.*[33]

También se puede calcular el punto óptimo de cambio en la figura 5.8:

$$
\begin{aligned}
VPN_{Pastizal} &= VPN_{Bosque} \\
(\$1{,}000)(e^{(-0.04)(T)}) & \\
/\,(0.04 + 0.05) &= \$7{,}000 \\
(11{,}111)(e^{(-0.04)(T)}) &= 7{,}000 \\
e^{(-0.04)(T)} &= 7{,}000\,/11{,}111 \\
(-0.04)(T) &= Ln[7{,}000\,/11{,}111] \\
T &= Ln[7{,}000\,/11{,}111]\,/-0.04 \\
T &= 12 \text{ años}
\end{aligned}
$$

Después de este punto de cambio, el propietario que no cambia, va a perder utilidades netas futuras. Por ejemplo, en el año 20, el valor presente neto del pastizal de ganado ha declinado a $4,993 [($1,000)($e^{(-0.04)(20)}$)/(0.04+0.05)], mientras que el bosque se queda con un valor presente neto de $7,000.

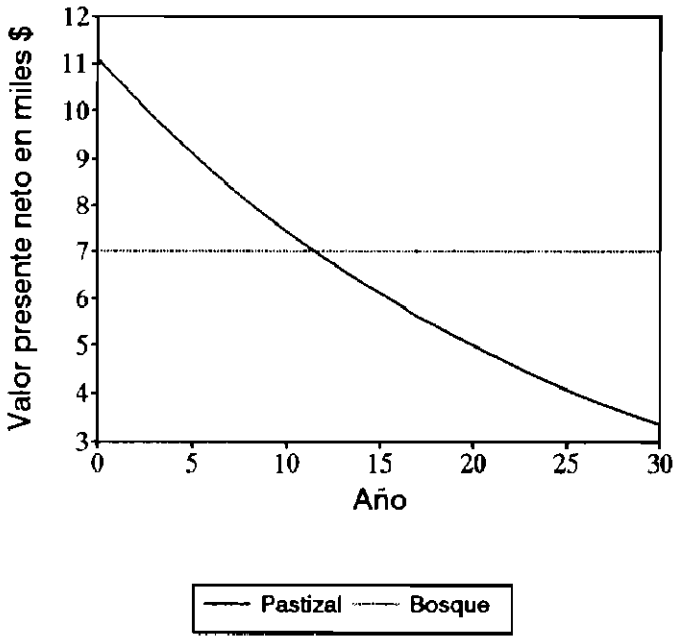


Figura 5.8. El uso no sustentable de la tierra con ingresos que disminuyen a través del tiempo tiene como consecuencia un valor presente neto que cambia con el tiempo; esto se muestra con la función VPN = ($1,000)($e^{(-0.04)(T)}$) /(0.04 + 0.05). Por otro lado, el uso sustentable de la tierra tiene un valor presente neto constante (aquí VPN = $7,000). Donde se intersectan las dos curvas, es óptimo cambiar del uso no sustentable al uso sustentable.

En este ejemplo, en la actualidad la sociedad demanda fuertemente ganado en comparación

[32] Se supone que la productividad del pastizal de ganado disminuye, pero la misma tierra mantiene su productividad para el bosque. Recuperar la productividad para el bosque posiblemente se alcanzaría al utilizar especies arbóreas seleccionadas después de cambiar de pastizal a bosque, como especies de la familia Leguminosae que fijan nitrógeno.

[33] Sin embargo, existe un caso en que es óptimo que el propietario nunca cambie la actividad no sustentable del uso de la tierra, cuando se cumple lo siguiente: (1) la actividad no sustentable viene acompañada de una reducción continua del valor presente neto de todas las activades alternativas del uso de tierra (2); la tasa de disminución *d* de todas las actividades alternativas es igual. Matemáticamente esto se demuestra en que la ecuación $(A_0)(e^{(-d)(T)})/(d + r) = (B_0)(e^{(-d)(T)})/(d + r)$ no tiene solución para *T*.

con productos forestales, así que el trueque entre oferta de ganado y disminución del valor de la tierra resulta en favor de la oferta de ganado por algún tiempo. Sin embargo, si todos los propietarios de tierra de una región convirtieran el bosque en pastizal de ganado, el precio del ganado disminuiría y el precio de productos forestales aumentaría. Por ejemplo, si el precio de ganado está proyectado a disminuir infinitivamente a una tasa continua anual de 6 por ciento, el valor presente neto del pastizal sería solamente $6,666 al principio [$1,000 /(0.04 + 0.05 +0.06)], y el bosque resultaría mejor económicamente, aun sin incremento de los precios de los productos forestales.

5.5 EVALUACIÓN DE BOSQUES NATURALES

Hasta hace relativamente poco tiempo, las herramientas para la evaluación económica descritas en al apartado 5.2, no se habían aplicado rigurosamente para examinar el valor económico de bosques tropicales naturales o manejados. No sólo es posible utilizar estas herramientas para evaluar bosques tropicales, sino que son esenciales para la comparación racional entre estrategias alternativas de manejo de la tierra en los trópicos, incluyendo actividades de extracción (este apartado) y de enriquecimiento (apartado 5.6).

EVALUACIÓN DE UN BOSQUE EN LA REGIÓN AMAZÓNICA DE PERÚ

El tópico de la evaluación de bosques tropicales fue investigado por Peters *et al.* (1989), quienes encontraron que la extracción de productos forestales no-maderables así como de alguna madera de su bosque natural investigado es una mejor forma del uso de la tierra que el establecimiento de un monocultivo de madera o un pastizal de ganado. Realizaron un inventario sistemático de una hectárea de bosque húmedo en Mishana a 30 kilómetros de Iquitos en la región amazónica de Perú. Encontraron 842 árboles (≥ 10 centímetros de DAP) en 275 especies y 50 familias en el área. Los productos forestales de 350 individuos (42 por ciento), representando 72 especies (26 por ciento), tenían un valor monetario en el mercado de Iquitos. Frutos comestibles provenían de 11 especies, madera comercial de 60 especies y látex comercial de una especie (*Hevea quianensis* Aubl.; "shiringa"; Euphorbiaceae).

Al considerar primeramente la producción de madera, Peters *et al.* encontraron 60 especies maderables en el área inventariada, que comprendían 94 metros cúbicos de madera comercial en pie, con un valor total de US$1,000 en el sitio. En lugar de proyectar una venta inmediata de toda la madera, estimaron una cosecha parcial sustentable de madera de 30 metros cúbicos cada 20 años. Para cada cosecha, después de un intervalo de 20 años, estimaron una utilidad neta de US$310 después de deducir los costos de cosecha y transporte. Esta tasa de cosecha de madera permite aun la extracción de productos forestales no-maderables de la misma área. Al obtener la utilidad neta de US$310 por la madera cada 20 años, el valor presente neto por extracción de la madera resulta ser US$490 para la hectárea [US$310 / $(1 - e^{(-0.05)(20)})$; fórmula 6 en el cuadro 5.11, con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento].

Además de la madera, Peters *et al.* analizaron los productos forestales no-maderables. Las especies frutales eran:

Brosimum rubescens Taub. ("tamamuri"; Moraceae);
Couma macrocarpa Barb. Rodr. ("leche huayo"; Apocynaceae);
Inga sp. ("shimbillo"; Leguminosae-Mimosoidea);
Jessenia bataua (Mart.) Burret ("ungurahui"; Palmae);
Manilkara quianensis Aubl. ("massaranduba"; Sapotaceae);
Mauritia flexuosa L.f. ("aguaje"; Palmae);

Mauritiella peruviana (Becc.) Burret ("aguajillo"; Palmae);
Oenocarpus mapora Karst. ("sinamillo"; Palmae);
Parahancornia peruviana Monach. ("naranjo podrido"; Apocynaceae);
Rheedia spp. ("charichuelo"; Guttiferae);
Theobroma subincanum Mart. ("sacha cacao"; Sterculiaceae).

El valor de cosecha de estos productos no-maderables fue de US$698 por la hectárea. Después de deducir los costos de la cosecha y del transporte, la utilidad neta se estimó en US$422. Estos productos se pueden cosechar anualmente. Al dejar una cuarta parte de la producción de frutos en el bosque para la regeneración, el valor presente neto de la tierra para la extracción de productos forestales no-maderables es US$6,330 por hectárea [(1 – 1/4)(US$422) /0.05; fórmula 4 en el cuadro 5.11].

Si partimos de que el ciclo de cosecha de madera de 20 años es compatible con la cosecha anual de productos no-maderables, se agregan los dos valores presentes netos, y esto resulta en un valor presente neto total por extracción del bosque de US$6,820 por dicha hectárea [US$490 + US$6,330]. Peters *et al.* comparan este valor contra un valor presente neto de US$3,184 por hectárea de una plantación de *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae, originaria de India) en la región amazónica de Brasil y contra un valor presente neto de US$2,960 por hectárea de un pastizal de ganado también en la región amazónica de Brasil; los autores consideraron que dichos valores serían aproximadamente los mismos en su área peruviana.

La investigación de Peters *et al.* fue importante, ya que aportó dos hipótesis principales para subsecuentes investigaciones de evaluación de bosques naturales en los trópicos:

1) Dependiendo de las condiciones ecológicas y económicas locales, la extracción del bosque natural puede ser económicamente mejor que otras formas de uso de la tierra, como pastizal de ganado o monocultivos de árboles maderables, aun sin tomar en cuenta valores no-comerciales.
2) Los productos forestales no-maderables, en particular los frutos comestibles, pueden constituir un valor comercial importante en los bosques tropicales de alta diversidad. Pueden ser comercialamente más importantes que la madera (en Peters *et al.*, el 86 por ciento del valor presente neto proviene de productos forestales no-maderables y el 14 por ciento de la madera; véase también Mendelsohn, 1993; Panayotou y Ashton, 1992).

Se ha cuestionado si la investigación de Peters *et al.* fue un caso excepcional específico del área de estudio, o un modelo para muchas regiones tropicales con bosque. Tres investigaciones subsecuentes realizadas en otras regiones tropicales apoyaron las hipotesis resultante de su trabajo.

EVALUACIÓN DEL BOSQUE EN BELICE POR SUS PLANTAS MEDICINALES

Balick y Mendelsohn (1992) calcularon el valor presente neto por cosechar plantas medicinales comerciales en dos áreas de bosque en Cayo, Belice. Las áreas tenían un tamaño de 0.28 hectáreas y de 0.25 hectáreas, repectivamente. Las especies de la primera área fueron las siguientes:

Agonandra racemosa (DC.) Standl. ("bejuco verde"; Opiliaceae);
Aristolochia trilobata L.[34] ("contribo"; Aristolochiaceae);

[34] En algunas especies del género *Aristolochia L.*, el cual se utiliza ampliamente para fines medicinales tradicionales, se ha encontrado el cancerígeno ácido aristolóquico. Se debería asegurar que *A. trilobata* no contuviera este compuesto, antes de estimular su uso medicinal.

Dioscorea sp. ("cocomecca"; Dioscoreaceae);
Phlebodium decumanum (Willd.) J. Smith ("callawalla"; Polypodiaceae);
Smilax lanceolata L. ("china root"; Smilacaceae).

Con un ciclo de cosecha repetida de 30 años y una tasa continua anual de descuento de 5 por ciento, el valor presente neto de la primer área se calculó en US$726 por hectárea [US$564 /(1 – $e^{(-0.05)(30)}$); fórmula 6 en el cuadro 5.11].

La segunda área contenía las siguientes especies:

Bursera simaruba (L.) Sarg. ("gumbo-limbo"; Burseraceae);
Dioscorea sp. (véase arriba);
Simaruba glauca DC. ("negrito"; Simaroubaceae);
Smilax lanceolata (véase arriba).

Los autores supusieron que cosechar repetidamente en la segunda área requeriría de un ciclo de cosecha de 50 años, y calcularon un valor presente neto de US$3,327 por hectárea [US$3,054 / (1 – $e^{(-0.05)(50)}$)]. Concluyeron que el valor de esta selva derivado de sus plantas medicinales fue competetivo comparado con otras formas de uso de la tierra.

En las dos áreas estudiadas por Balick y Mendelsohn, las diferencias entre la composición de especies, densidades de plantas comerciales, y ciclos de cosecha sustentables para los productos forestales, resultaron en valores presentes netos muy diferentes. Esta investigación demostró claramente que los valores presentes netos del bosque pueden ser muy específicos al área de estudio.

EVALUACIÓN DE UN BOSQUE EN LA REGIÓN AMAZÓNICA DE ECUADOR

Una investigación posterior por Grimes *et al.* (1994) estudió el valor de un bosque húmedo en la estación de biología de Jatun Sacha, cerca a la ciudad de Puerto Misahuallí en la región amazónica de Ecuador. Investigaron tres áreas de una hectárea cada una. Las especies con valor comercial por sus frutos comestibles fueron:

Batocarpus orinocensis Karst. ("sacha paparahua"; Moraceae);
Chrysophyllum venezuelanense (Pierre) Pennington ("sacha caimito"; Sapotaceae);
Garcinia sp. ("pungara muyu"; Guttiferae);
Grias neuberthii J.F. Macbr. ("pitón"; Lecythidaceae);
Inga afinidad *spectabilis* (Vahl) Willd. ("mangalpa cachig"; Leguminosae-Mimosoideae);
Jessenia bataua (véase arriba);
Theobroma subincanum ("cushilio cambiag"; véase arriba)

De algunas especies se vendió la corteza para uso medicinal:

Cespedezia spathulata (Ruiz & Pavón) Planchón ("amaron caspi"; Ochnaceae);
Minquartia guianensis Aublet ("huambula"; Olacaceae);
Myroxylon balsamum (L.) Harms ("bálsamo"; Leguminosae-Papilionoideae).

La resina de tres especies de *Protium* (Burseraceae, todos denominados "shilquilio") se vendió para ser empleada en artesanías:

Protium fimbriatum Swart;
P. nodulosum Swart, y
P. sagotianum Marchand.

Grimes *et al.* estimaron valores presentes netos de US$2,939 para la primera hectárea, US$2,720 para la segunda y US$1,257 para la tercera, o un promedio de US$2,306 por hectárea por la extracción de productos forestales no-maderables (con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento). Esta forma de uso de la tierra fue más competetiva que la producción de madera (VPN = US$188 con un ciclo de cosecha de 40 años) o la

ganadería en pastizales (VPN = US$57 a 287). El valor de la tierra por extracción de productos forestales no-maderables seguía sin ser reconocido. Esto se puede observar en los precios de compra de tierra, los cuales fluctuaron entre US$50 y US$220 por hectárea, correspondiente a la producción de madera o a la ganadería, pero no a la extracción de productos forestales no-maderables (US$2,306).[35] Esto también podría deberse a los mercados pobremente desarrollados, que causan en la actualidad dificultades de comercializar grandes cantidades de productos forestales no-maderables.

EVALUACIÓN DE UN BOSQUE MEXICANO

Uno de los autores (M. Ricker) está realizando una investigación en la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", aproximadamente a 30 kilómetros de Catemaco en Veracruz, México. Algunos de los resultados ecológicos han sido presentados anteriormente en el apartado 4.4. Se inventariaron cuatro parcelas de bosque que en conjunto representan una hectárea. La hectárea contenía 76 especies de árboles (≥ 10 centímetros de DAP; véase el cuadro 4.8). Del total, 11 especies producen frutos comestibles con valor comercial; consideramos únicamente cuatro especies, por la suficiente información de mercado con que contábamos:

Dialium guianense (Aublet) Sandw. ("paque"; Leguminosae-Caesalpinioideae);
Diospyros digyna Jacq. ("zapote negro"; Ebenaceae);
Pouteria sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn ("mamey"; Sapotaceae);
Pseudolmedia oxyphyllaria Donn. Sm. ("tomatillo"; Moraceae).

Además de las 76 especies, consideramos una pequeña palma abundante (< 10 centímetros de DAP), *Astrocaryum mexicanum* Liebm. ex Mart. ("chocho"; Palmae). Esta palma tiene valor comercial por sus inflorescencias comestibles.

El análisis de costo-beneficio en el cuadro 5.14 muestra que la venta de los frutos e inflorescencias de estas cinco especies en el mercado de San Andrés Tuxtla (aproximadamente 40 kilómetros del sitio), hubiera resultado en un valor presente neto de US$3,506 para la hectárea. La especie más valiosa fue *Pouteria sapota*; un sólo árbol grande de esta especie hubiera sido el responsable del 22 por ciento del valor presente neto de la hectárea de bosque [(773 /3506)(100 por ciento)].

De las 76 especies en la hectárea, 19 eran de interés comercial por su calidad maderera (véase el cuadro 4.8). El cuadro 5.15 muestra que la venta de esta madera en una fábrica de muebles en Catemaco hubiera resultado en un valor presente neto de US$3,357. Este valor presente neto es similar al valor presente neto de la extracción de frutos hasta el infinito, pero es más atractivo para los propietarios locales porque reciben el pago total inmediatamente. No obstante, después de 1993 la administración forestal regional (SARH) en San Andrés Tuxtla no ha proporcionado permisos para talar bosque natural, debido a la alta tasa de deforestación en los años pasados. Solamente otorga permisos de tala para árboles sembrados. Lamentablemente, algunas personas todavía cosechan árboles individuales de manera ilegal. La fábrica de madera en Catemaco consigue su madera legalmente de otros estados como Tabasco o Oaxaca, y de Guatemala. Así, este análisis representa solamente una cosecha hipotética de la madera del bosque natural en Los Tuxtlas.

[35] La relación entre el valor presente neto y el precio de compra de tierra se explica en el apartado 5.2 con la regla del valor de la tierra.

CUADRO 5.14. Valor comercial de la extracción de frutos de una hectárea de bosque natural en Los Tuxtlas (Veracruz, México).

	Especie[1]	*Nombre común*
1)	*Astrocaryum mexicanum*[2]	"chocho"
2)	*Dialium guianense*	"paque"
3)	*Diospyros digyna*	"zapote negro"
4)	*Pouteria sapota*	"mamey"
5)	*Pseudolmedia oxyphyllaria*	"tomatillo"

	Precio[3] pesos /kilogramo	*Productividad*[4] kilogramos /árbol /año	*Ingreso*[5] pesos /árbol /año	*Costo*[6] pesos /árbol /año
1)	2	0.2	0.4	0.12
2)	30 (20-40)	4	120	2.4
3)	3	40	120	24
4)	3.5 (2.5-5)	80	280	48
5)	2	10	20	6

	Utilidad neta[7] pesos /árbol /año	**Valor presente neto**[8] pesos /árbol [US$]	**Árboles**[9] /hectárea	**Utilidad neta**[10] pesos /hectárea /año
1)	0.28	5.6 [0.9]	265	74.2
2)	117.6	2,352 [392]	1	117.6
3)	96	1,920 [320]	1	96
4)	232	4,640 [773]	1	232
5)	14	280 [47]	38	532
				Total: 1,051.8

VALOR PRESENTE NETO

1,051.8 pesos /0.05 = 21,036 pesos

= US$3,506 para la hectárea

1 Solamente *Pouteria sapota* y *Diospyros digyna* tienen un mercado nacional; las otras especies se venden en la región por pequeños productores ("canasteros"). No se incluyen todas las especies que tienen un mercado actual o potencial.

2 De *Astrocaryum mexicanum* se cosechan las inflorescencias.

3 6 pesos = US$1 (de 1995). Los precios se observaron en el mercado de San Andrés Tuxtla solamente; no pudimos observar en su tiempo de producción *Pseudolmedia oxyphyllaria*, por lo que se estimó el precio promedio.

4 Se midió la producción; para *Pseudolmedia oxyphyllaria* solamente se estimó. No se cosechan todos los frutos, por lo que algunas semillas se quedan en el bosque para la regeneración de los árboles.

5 Ingreso = (precio)(productividad).

6 Costo = 60 pesos por 100 kilogramos; esto incluye un día de mano de obra para cosechar (20 pesos), transporte al mercado de San Andrés Tuxtla (20 pesos) y un día de mano de obra para vender los 100 kilogramos (20 pesos).

7 Utilidad neta por árbol = Ingreso – Costo.

8 Valor presente neto = Utilidad neta por árbol /0.05 con la fórmula 4 en el cuadro 5.11 y una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento; se supone que un árbol que se muere es sustituido natural e inmediatamente por un árbol más joven con la misma producción.

9 La cantidad de los árboles se refiere a los árboles que realmente produjeron; por ejemplo *Diospyros digyna* y *Pseudolmedia oxyphyllaria* crecen árboles femeninos (productivos) y masculinos (no-productivos). Para *Pseudolmedia oxyphillaria* se estimó la cantidad de los árboles productivos.

10 Utilidad neta por hectárea = (utilidad neta por árbol)(árboles)

CUADRO 5.15 **Valor comercial de la extracción total de la madera comercial de una hectárea de bosque natural en Los Tuxtlas (Veracruz, México)**

CONCEPTO		MONTO
INGRESO:		
El precio de compra de madera tropical[1] en una fábrica de muebles en Catemaco es 2 pesos[2] por pie-tabla, ó 56 pesos por tablón (3.5 pulgadas x 1 pie x 8 pies). Después de medir los volúmenes de troncos en la hectárea calculamos que hay aproximadamente 2,400 tablones (= 67,200 pies-tabla = 158.6 m^3) de las maderas de interés para la mueblería en Catemaco (marcados en el cuadro 4.8):		134,400 pesos
COSTOS:		
Se requiere un inventario oficial de un ingeniero forestal para obtener un permiso para talar; él cobra aproximadamente 30 pesos por m^3, y hay 158.6 m^3:	4,758 pesos	
El costo por emplear un trabajador con motosierra es de 1 peso por pie-tabla:	67,200 pesos	
El transporte desde el bosque hasta la carretera a caballo cuesta 2 pesos por tablón, ó 4,800 pesos por 2,400 tablones. El transporte por camión hasta Catemaco cuesta 2,500 pesos por carga de 4,500 pies-tabla, ó 37,500 pesos por 15 cargas (67,200/4,500). La suma resulta en:	42,300 pesos	
		TOTAL: 114.258 pesos
UTILIDAD NETA:		20,142 pesos.
VALOR PRESENTE NETO: El valor presente neto es idéntico a la utilidad neta, cuando no se toman en cuenta las cosechas de madera después de la regeneración en el futuro:		20,142 pesos = US$3,357 para la hectárea.

[1] En la región de Los Tuxtlas hay dos especies arbóreas con maderas finas, las cuales tienen un precio de dos a cuatro veces más alto pero no se encontraron en el área investigada: *Cedrela odorata* L. ("cedro"; Meliaceae) y *Swietenia macrophylla* King ("caoba"; Meliaceae).

[2] 6 pesos = US$1 (1995).

De acuerdo con la regla de la optimización del uso de la tierra (apartado 5.2), tenemos que comparar diferentes actividades actuales y potenciales de uso, y escoger la que posea el valor presente neto más alto. El cuadro 5.16 muestra que la agricultura comercial de maíz (*Zea mays* L.) resultó en promedio en un valor presente neto de US$0. Sin embargo, sin los costos de transporte vale la pena para la subsistencia local.

La mayoría de la gente local se dedica a la ga-

CUADRO 5.16 Valor comercial del cultivo de una hectárea de maíz en Los Tuxtlas (Veracruz, México)[1]

INGRESO ANUAL:

Cosecha de 1,000 a 3,000 kilogramos por hectárea a un precio de 0.6 pesos[2] por kilogramo:

600 a 1,800 pesos

COSTOS ANUALES:

Se requieren 40 días de trabajo de una persona (16 días desyerba, 3 días siembra, 16 días desyerba otra vez, 1 día doblar las plantas, 4 días cosecha) con un valor de mano de obra de 20 pesos por día:

800 pesos

Transporte de 1,000 a 3,000 kilogramos desde el campo hasta Catemaco:

200 a 600 pesos

TOTAL: 1,000 a 1,400 pesos

UTILIDAD NETA ANUAL:

600 – 1,000 = – 400 pesos
1,800 – 1,400 = 400 pesos

PROMEDIO: 0 pesos por año

VALOR PRESENTE NETO:[3]

0 pesos /0.05 = US$0 para la hectárea

1 "maíz" = *Zea mays* L. (Gramineae).
2 6 pesos = US$1 (1995).
3 Aplicamos la fórmula 4 del cuadro 5.11 con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento.

nadería para la producción de carne y leche. Parece que esta actividad ha sido sustentable en la mayoría de los sitios en Los Tuxtlas, y la productividad de los pastizales aparentemente no ha declinado durante las últimas décadas. El análisis costo-beneficio en el cuadro 5.17 demuestra que el valor presente neto de un pastizal de ganado cerca de la hectárea de bosque se estimó en US$1,667 por hectárea. Los precios por comprar terreno con pastizal o bosque restante (que actualmente no se permite talar) estaban entre US$650 y US$2,000 por hectárea en la región, y por lo tanto en la misma magnitud que el valor presente neto derivado por manejar pastizal de ganado.

Encontramos que la extracción de productos forestales no-maderables es competetiva con la ganadería: la venta de los frutos y las inflorescencias de las cinco especies de árboles que existen naturalmente en la hectárea, habría resultado en el mercado hubiera resultado en un valor presente neto aproximadamente dos veces más alto que el de un pastizal de ganado [3,506 / 1,667]. Un gran árbol de *Pouteria sapota* puede proporcionar por sí sólo un valor presente neto casi igual al de una hectárea de pastizal de ganado (un árbol con 150 kilogramos de producción por año tiene un valor presente neto de US$1,450).[36]

[36] Este resultado no es tan sorprendente si se toma en cuenta que una hectárea de pastizal cuenta en promedio solamente con una vaca y su cría.

CUADRO 5.17. **Valor comercial de una hectárea de pastizal de ganado para la producción de carne en Los Tuxtlas (Veracruz, México)**

INGRESO ANUAL:

En promedio se encuentra por hectárea una vaca con su cría; cada dos años se vende una cría, cuando tiene un valor de 1,800 pesos; por año y hectárea en promedio resultan:[1]

900 pesos

COSTOS ANUALES:

Vacunas, vitaminas, sal y medicamentos (en particular contra parásitos):

100 pesos

Se requiere de 15 días de trabajo de una persona (10 días para desyerba, sembrar y mantener el pastizal, 4 días para bañar y atender el ganado, 1 día para la venta) a un costo de mano de obra de $20 pesos por día:

300 pesos

TOTAL: 400 pesos

UTILIDAD NETA ANUAL:
900 - 400 = 500 pesos por año

VALOR PRESENTE NETO:[2]
500 pesos /0.05 = 10,000 pesos (incluyendo una vaca)
= US$1,667 para la hectárea

[1] 6 pesos = US$1 (1995).
[2] Aplicamos la fórmula 4 del cuadro 5.11 con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento.

La estimación del valor presente neto de extracción de la hectárea podría ser aún más alta, tomando en cuenta algunas especies frutales, que se venden ocasionalmente. Ejemplos importantes del área de investigación son:

Ampelocera hottlei (Standley) Standley ("guaya de monte"; Ulmaceae);
Couepia polyandra (H.B.K.) Rose ("olozapote"; Chrysobalanaceae);
Poulsenia armata (Miq.) Standley ("abasbabi"; Moraceae);
Pouteria campechiana (H.B.K.) Baehni ("zapote niño"; Sapotaceae);
Rheedia edulis (Seemann) Triana & Planchón ("limoncillo"; Guttiferae).

Además de las especies frutales, existen varias especies en el sotobosque del género *Chamaedorea* Willd. (Palmae), como *C. oblongata* Mart., con hojas ornamentales. Los comerciantes compran estas hojas, las cuales distribuyen incluso internacionalmente. La extracción y comercialización de éstas y otras plantas ornamentales de bosques tropicales se han estudiado poco.

El alto valor del bosque natural en varias localidades de Latinoamérica nos lleva a la conclusión de que el mantenimiento y la conservación de los bosques tropicales es económicamente sensato aun sin considerar sus valores no-comerciales. Las altas tasas de deforestación en todo el subcontinente (véase el cuadro 5.12) parecen económicamente contraproducentes. ¿Por qué la gente no aprovecha mejor la extracción de productos forestales no-maderables, especialmente frutos? En la región de Los Tuxtlas varias razones parecen ser las responsables, las cuales podrían aplicarse también en otras regiones:

1) El apoyo activo del gobierno a la ganadería durante 50 años (por ejemplo, créditos) han tenido un impacto fuerte sobre la cultura regional acerca del uso de la tierra.
2) Las instituciones gubernamentales han considerado a los bosques como fuentes de madera o como impedimientos a la producción agrícola; por lo tanto, los créditos gubernamentales, subsidios y servicios de capacitación han favorecido estos usos de la tierra. Generalmente no ha existido apoyo gubernamental para la extracción de productos forestales no-maderables y manejo del bosque para uso múltiple.
3) Muchas de las personas locales no cuentan con la familiaridad necesaria con la flora y el hábitat para distinguir y manejar las especies árboreas útiles en un bosque de alta diversidad.
4) El mercado para la mayoría de los productos forestales no-maderables es pequeño y pobremente desarrollado. La gente local prefiere producir a mayor escala lo que una compañía o un comerciante demanda localmente, en lugar de tratar por sí mismo la comercialización. Por ejemplo, los frutos de *Diospyros digyna* (véase el cuadro 5.14) frecuentemente no se cosechan en los bosques de Los Tuxtlas para la venta, aunque en las ciudades de Veracruz y México reciben un precio alto, y los costos de transporte no son tan altos.

5.6 ASPECTOS ECONÓMICOS DEL ENRIQUECIMIENTO: ¿MÚLTIPLES ESPECIES O MONOCULTIVO?

En muchos bosques tropicales existe alta diversidad de especies vegetales, pero solamente una fracción de éstas tienen uso en la actualidad. Por lo tanto los bosques naturales frecuentemente poseen lo que se podría considerar como una composición "desfavorable" de especies. En el apartado 4.1 señalamos la posibilidad de manejar los bosques naturales, y en el apartado 4.4 demostramos que la composición de especies naturalmente varía de manera considerable de un sitio a otro dentro del bosque (cuadro 4.9). Los forestales generalmente consideran esta variación no como algo predeterminado sino debido a factores aleatorios, como la llegada al azar de una semilla en un claro; en este caso se puede manipular la composición de especies hasta cierto grado sin mucha dificultad. Enriquecer el bosque natural, es decir eliminar individuos de especies menos deseadas y en su lugar plantar y sostener especies más valiosas, resulta una opción interesante pra aumentar el valor del bosque (véase Schulze *et al.*, 1994).

El ser humano tiende a pensar que la manera de obtener la máxima utilidad neta comercial de la tierra boscosa es mediante la selección de la especie árborea más valiosa y sustituir el bosque con un monocultivo de esta especie. Este pensamiento lineal supone que si un árbol, por ejemplo de *Pouteria sapota*, por hectárea de bosque tiene un valor presente neto de US$773, (cuadro 5.14), entonces 50 árboles tendrán un valor presente neto de (US$773)(50 árboles) = US$38,650. Sin embargo, las condiciones ecológicas en un monocultivo tienden a generar costos de manejo más altos, porque una alta densidad de una sola especie frecuentemente requiere de más manejo de desyerba y contra plagas (véase el apartado 4.1). Podría ser que un ingreso 50 veces más alto en un monocoltivo esté acompa-

ñado de costos 100 veces más altos. En este caso, tenemos que encontrar la densidad óptima de árboles, la cual maximiza el valor presente neto del bosque. Veremos que esta densidad óptima puede ser, aunque no es necesariamente, la de un monocultivo.

ENRIQUECIMIENTO DE UN BOSQUE MEXICANO CON *POUTERIA SAPOTA*

El cuadro 4.11 mostró el resultado de un análisis ecológico para la parcela 2, un área de bosque de 100 por 25 metros en la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas" en Veracruz (México). Aquí analizamos los aspectos económicos de la estrategia de manejo 1, mostrada en el apartado 4.4; para cada especie arbórea sin valor comercial por sus frutos se mantendrá intacto el árbol con el área de copa más grande, mientras que los árboles con una copa más pequeña se talarán para crear espacio a árboles de especies más deseables.[37] En la parcela 2, esta estrategia significaría espacio para 15 árboles grandes de *Pouteria sapota*. Esta especie se escogió para el análisis de enriquecimiento por su alto valor presente neto (US$773, cuadro 5.14).

Suponemos que el manejo del bosque —incluyendo la preparación del sitio, crecer plántulas en un vivero, transplantarlas, manejar los juveniles en el bosque y sustituir las muertas— llevaría a un costo promedio anual de mano de obra de medio día por árbol, y que no existirían otros costos notables (con 60 árboles por hectárea, esto serían 30 días de mano de obra al año por hectárea). Con un salario de US$8 diarios, el costo de manejo sería de US$4 anual por árbol. Si 20 años antes de la muerte de un árbol adulto, se siembra un árbol joven que ocupará el lugar en la producción después de la muerte del primero, entonces los costos de producción y mano de obra por el manejo de los árboles ocurren continuamente hasta el infinito. Aplicando la fórmula 4 del cuadro 5.11 con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento, podemos calcular el valor presente del costo de manejo por árbol desde el presente hasta el infinito:

$$\begin{aligned} VP_{Manejo} &= US\$4 / 0.05 \\ &= US\$80 \end{aligned}$$

En el cuadro 5.14, un árbol grande de *Pouteria sapota* tiene un valor presente neto de US$773. Suponemos que se requieren 20 años para que un árbol alcance su producción completa de frutos, y por lo tanto se tiene que descontar este valor presente neto. Aplicando la fórmula 3 del cuadro 5.11 y sustrayendo el valor presente del costo de manejo, podemos calcular el valor presente neto de un solo árbol de *Pouteria sapota*, sembrado ahora para enriquecer el bosque, y ser sustituido cuando muera hasta llegar al infinito:

$$\begin{aligned} VPN_{Arbol} &= (US\$773)(e^{(-0.05)(20)} - e^{(-0.05)(\infty)}) - US\$80 \\ &= (US\$773)(e^{(-0.05)(20)} - 0) - US\$80 \\ &= US\$204 \end{aligned}$$

La parcela de un cuarto de hectárea bajo la estrategia de manejo 1 se enriquecería con 15 árboles. Por lo tanto una hectárea se podría enriquecer con 60 árboles. El valor presente neto de la hectárea enriquecida sería:[38]

---

[37] La medición del área de copa es de interés para este análisis hipotético. En la realidad, el forestal no mide todas las copas antes de empezar el manejo. En nuestros experimentos reales de enriquecimiento dejamos intacto el primer árbol de cada especie que encontramos y que parecía en buenas condiciones de crecimiento. Cuando hubo varios árboles de la misma especie en el mismo lugar, entonces por lo general tratamos de conservar el árbol más grande y talar los otros si era necesario por la falta de luz. También intentamos evitar la tala de árboles frutales. Esta investigación de manejo en el mundo real, basada en el análisis aquí presentado, todavía está en desarrollo.

[38] La parcela 2 contiene naturalmente varios árboles frutales con valor comercial, que no se talarían en la estrategia de manejo 1 (véase el apartado 4.4). Con el fin de ser conservadores y simplificar la estimación, no incluimos estos árboles en el análisis costo-beneficio. Tampoco tomamos en cuenta utilidades netas de madera vendida después de talar árboles en las preparaciones del sitio.

$VPN_{Hectárea}$ = (US$204 /árbol)(60 árboles) = US$12,240

El valor presente neto del bosque enriquecido sería aproximadamente tres veces mayor que el del bosque natural [12,240/3,506; véase el cuadro 5.14], y aproximadamente siete veces más alto que el del pastizal de ganado en la misma área [12,240/1,667; véase el cuadro 5.17]. Una ventaja más del sistema de enriquecimiento sobre la ganadería o agricultura sería la mejor protección del suelo y una mayor preservación de la biodiversidad, un valor no-comercial (véase el apartado 5.7). Alrededor del 66 por ciento de los árboles originales se mantendrían intactos, y todas las especies árboreas continuarían siendo representadas (véase el apartado 4.4).

Sin embargo, se debe tener en mente que un incremento en la producción de una sola especie frutícola en un área extensa probablemente repercute en los precios del mercado. Si no mejora la comercialización, en particular fuera de los mercados locales, los precios de los frutos de *Pouteria sapota* caerían y nuestra proyección con un precio estable ya no sería válida. Una forma de disminuir el riesgo sería enriquecer el bosque no sólo con *Pouteria sapota* sino también con otras especies.

CONVERSIÓN A UN MONOCULTIVO DE *POUTERIA SAPOTA*

En el cuadro 4.11 calculamos que un monocultivo hipotético de *Pouteria sapota* en la parcela 2 (un cuarto de hectárea) consistiría de 75 árboles. Consecuentemente, un monocultivo de una hectárea contendría 300 árboles. Si los ingresos y costos por árbol se quedaran iguales como en el bosque enriquecido, entonces el valor presente neto sería cinco veces más alto [300/60]. Sin embargo, como se indicó antes, un monocultivo podría requerir de más mano de obra para desyerbar y contraatacar plagas. Si los costos de manejo por árbol dependieran de la densidad de los árboles conespecíficos, y si los ingresos por árbol siguieran constantes, entonces habría una densidad de árboles en la cual el valor presente neto del monocultivo es menor del valor presente neto del bosque diverso de especies.

Para analizar esta situación, tenemos que comparar los valores presentes netos del bosque diverso de especies y del monocultivo. Suponemos que en los dos sistemas los árboles tienen la misma productividad, pero hay una diferencia en el costo de manejo por árbol. Las fórmulas y los números son los mismos como anteriormente, excepto que los valores presentes de los costos de manejo se vuelven variables:

$$VPN_{Bosque\text{-}diverso} = [(US\$773)(e^{(-0.05)(20)}) - X][60 \text{ árboles sembrados}]$$

$$= [US\$284 - X][60 \text{ árboles sembrados}]$$

$$VPN_{Monocultivo} = [(US\$773)(e^{(-0.05)(20)}) - Y][300 \text{ árboles sembrados}]$$

$$= [US\$284 - Y][300 \text{ árboles sembrados}]$$

en que X = valor presente del costo de manejo *por árbol* desde el presente hasta el infinito en el sistema de bosque diverso; en la última sección *X* fue US$80;

Y = valor presente del costo de manejo *por árbol* desde el presente hasta el infinito en el sistema de monocultivo.

El monocultivo no será competitivo cuando el valor presente neto del bosque diverso sea más alto que el valor presente neto del monocultivo:

$$\begin{aligned}
VPN_{Bosque\text{-}diverso} &> VPN_{Monocultivo} \\
(US\$\ 284 - X)(60) &> (US\$\ 284 - Y)(300) \\
US\$\ 17{,}040 - (60)(X) &> US\$\ 85{,}200 - (300)(Y) \\
US\$\ -68{,}160 - (60)(X) &> -(300)(Y) \\
US\$\ -227.2 - (0.2)(X) &> -Y \\
\mathbf{Y} &> \mathbf{US\$\ 227.2 + (0.2)(X)}
\end{aligned}$$

Para el bosque diverso enriquecido, estimamos un valor presente de los costos de manejo de US$80

por árbol. En ese caso, un monocultivo no sería competitivo si el costo de manejo por árbol fuera más alto que US$243.2 [US$227.2+(0.2)(US$80)] o US$12.16 anuales por árbol [(US$243.2)(0.05); fórmula 4 en el cuadro 5.11]. En consecuencia, si un monocultivo tuviera un costo de manejo por árbol que fuera tres veces más alto [> 243.2 /80] que el costo de manejo por árbol del bosque diverso, entonces el monocultivo no sería competitivo en el bosque diverso.

Mientras que esos son resultados preliminares de la región de Los Tuxtlas en México, los cuales requieren más estudio empírico, hemos aclarado que los monocultivos no necesariamente representan el uso óptimo de la tierra. Dependiendo de los ingresos del producto y los costos de manejo en un sitio en cuestión, un bosque diverso de especies puede ser más competetivo que un monocultivo.

5.7 VALOR NO-COMERCIAL DEL BOSQUE

La preocupación por las pérdidas que causa la deforestación no se refiere tanto a los valores comerciales, como la madera y los frutos, sino a lo que se denomina valores no-comerciales. Por ejemplo, el valor de la biodiversidad de especies no-comerciales, la belleza del paisaje y el aire no contaminado son valores no-comerciales. Todos estos valores se consumen de manera colectiva por la gente; nadie en particular puede reclamar que tiene el derecho de propiedad sobre ellos, y por lo tanto, nadie los ofrece en el mercado:

> *Valores no-comerciales son valores o bienes demandados que no se pueden comprar en un mercado, porque se consumen de manera colectiva.*

Los economistas critican con frecuencia la intervención del gobierno en el mercado libre. No obstante, usualmente esta crítica se dirige a los valores comerciales. No se puede tratar a los valores no-comerciales como valores comerciales, ya que no se puede esperar que las empresas privadas ofrezcan valores no comerciales. Una compañía privada que trata de maximizar las utilidades netas comerciales, no puede comercializar un bien consumido de manera colectiva como el aire puro en una ciudad contaminada (aunque puede existir demanda), porque miles de consumidores de aire puro tendrían que comprarlo colectivamente:

> *Mientras el mercado libre se encarga eficientemente de la oferta de valores comerciales, las dependencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales tienen que encargarse de la oferta de valores no-comerciales.*

Para mucha gente, un bosque es algo estéticamente placentero. Disfrutan tener un bosque cerca de su hogar para pasear o admirar un bonito paisaje cuando viajan. No obstante, con excepción de los parques naturales que cobran una cuota de entrada, rara vez se paga por pasear en el bosque o disfrutar de un paisaje escénico. Dado que nada se paga, el sistema de mercado "supone" incorrectamente un valor nulo por la belleza de un bosque. Por otro lado, la madera por la que se paga dinero, tiene un valor comercial. Esto conduce a un equilibrio erróneo entre la oferta de belleza del bosque y la oferta de madera:

> *Desde el punto de vista de la sociedad, el análisis de costo-beneficio tiene que considerar los valores no-comerciales. Para encontrar el valor total de un terreno, se tiene que agregar sus valores comerciales y no-comerciales bajo el sistema de manejo empleado.*

Un problema intrínseco a los valores no-comerciales es la dificultad de cuantificarlos sin tener un precio de mercado. Recientemente los economistas han comenzado a investigar con más profundidad los valores no-comerciales, porque fue obvio que el sistema de mercado guiaba incorrectamente a la sociedad cuando hay un trueque

entre el suministro de valores no-comerciales y de valores comerciales. Para analizar este trueque, los economistas tienen que cuantificar los valores no-comerciales en términos monetarios. Los conservacionistas frecuentemente malinterpretan el objetivo de esta evaluación monetaria, deciendo "no se puede expresar todo en términos de dinero". El dinero es solamente una manera conveniente para expresar el trueque entre la oferta de madera y la oferta de belleza del mismo bosque. Alternativamente, se podría preguntar ¿cuánta madera —en lugar de dinero— vale la belleza del bosque no cosechado? Se necesita una "moneda" común para comparar el valor de la madera contra el valor de la belleza del bosque no-cosechado.

A pesar de que los valores no-comerciales no tienen un valor monetario en el mercado, se pueden cuantificar en términos monetarios. Esto es importante cuando los valores no-comerciales compiten con los valores comerciales.

Una de las mejores maneras de cuantificar los valores no-comerciales es encontrando el costo de oportunidad para suministrar un valor no-comercial, es decir, qué tanto del valor comercial se tiene que sacrificar para obtener un valor no-comercial. Este método no solamente es exacto, sino que también se enfoca en el trueque entre valores comerciales y no-comerciales; este trueque causa conflicto y requiere de toma de decisiones. La siguiente sección demostrará dicho análisis de costo de oportunidad.

EL VALOR DEL BOSQUE CON ÁRBOLES VIEJOS

Se ha desarrollado uno de los mayores debates ambientales en Estados Unidos sobre el conflicto entre uso y preservación de los viejos bosques en el noroeste de aquel país. Este caso proporciona un buen ejemplo del trueque entre valores no-comerciales y comerciales. En el apartado 5.3 utilizamos la siguiente ecuación para predecir el volumen V_p de un árbol promedio de *Pseudotsuga menziesii* al tiempo de cosecha *p*:

$$V_p = -8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(p) - (4.3724)(10^{-4})(p^2) - (9.5280)(10^{-7})(p^3)$$

$$40 \leq p \leq 160$$

Encontramos que el ciclo de cosecha económicamente óptimo para la producción de madera es de 56 años, cuando el volumen de un tronco de árbol es de 3.7 m^3 por árbol. En contraste, después de 160 años, cuando el crecimiento del volumen converge hacia cero, el volumen V_p alcanza 16.2 m^3 por árbol. Esto es aproximadamente cuatro veces el volumen de madera. Cuando el bosque es manejado para maximizar el valor presente neto de la producción de madera, el 77 por ciento de la madera potencialmente desarrollada ya no crece por la tala de los árboles [100 % - (3.7)(100 %) /16.2]. Sin embargo, son estos majestuosos árboles de viejo crecimiento, los que fascinan a naturalistas y conservacionistas.

Desde el punto de vista de un negocio privado es ineficiente proporcionar el valor no-comercial de los árboles viejos y grandes, porque al retrasar el ciclo de cosecha no se maximiza el valor presente neto de la tierra para la producción de madera. Si los conservacionistas quisieran que el negocio dejara crecer los árboles a su máximo tamaño, tendrían que compensar al negocio por el valor presente neto perdido al retrasar la cosecha. ¿Cuánto se le tendría que pagar al negocio para que le fuera indiferente proporcionar el valor no-comercial de grandes árboles? Normalmente, el negocio utilizaría un ciclo de cosecha de 56 años, para lo cual calculamos un valor presente neto de US$1,200 para 50 árboles. Podemos calcular el valor presente neto con un ciclo de cosecha de 160 años:

$$\begin{aligned} VPN = & [-8.7787 + (2.5029)(10^{-1})(160) - (4.3724)(10^{-4})(160^2) \\ & -(9.5280)(10^{-7})(160^3)](US\$100) \\ & (50 \text{ árboles})(e^{(-0.05)(160)}) \\ & /(1 - e^{(-0.05)(160)}) \\ = & US\$30 \end{aligned}$$

El negocio perdería un valor presente neto de US$1,170 [1,200-30] por los 50 árboles al retrasar el ciclo de cosecha de 56 años a 160 años. Al negocio le sería indiferente retrasar el ciclo de cosecha a 160 años, siempre y cuando fuera compensado por los US$1,170 del valor presente neto no aprovechado.

En lugar de compensarlo, los grupos interesados en la protección del bosque con grandes árboles podrían comprar el terreno boscoso por US$1,200 y nunca más cosechar. El terreno tiene un valor presente neto de US$1,200 *después* de la cosecha de madera existente. Si quieren comprar el terreno incluyendo el bosque con árboles de 160 años, tendrían también que pagar por la madera. Calculamos que estos árboles tendrían un volumen de madera de 16.2 metros cúbicos. Si hubiera 50 de estos árboles, y la utilidad neta por unidad de madera fuera de US$100 por metro cúbico, entonces el valor presente neto de la tierra junto con los grandes árboles sería el siguiente:

$$\begin{aligned} VPN &= US\$1200 + (16.2\ m^3)(US\$100\ /m^3)(50 \text{ árboles}) \\ &= US\$82{,}200 \end{aligned}$$

Si un grupo de personas compra el terreno boscoso con los 50 árboles de 160 años porque desea conservarlo por siempre en su estado natural, entonces para este grupo el bosque tiene un valor no-comercial de por lo menos US$82,200. El grupo paga el costo de oportunidad por no aprovechar el valor comercial de la madera, y así expresa el valor monetario que está dispuesto a pagar por el valor no-comercial. Decimos que esto es *por lo menos* el valor no-comercial para el grupo, porque posiblemente pagarían aún más si el valor comercial fuera más alto.

En este ejemplo se puede ver que el negocio tiene un gran incentivo por aprovechar la cosecha inicial de un bosque viejo. Por otra parte, los interesados en la protección del bosque con grandes árboles tendrían un alto costo al querer compensar el negocio por una cosecha inicial no-aprovechada. La situación es similar en bosques tropicales, donde existen todavía muchos árboles grandes, y donde el nuevo acceso por carreteras hace que los costos de transporte bajen, por lo que hay un nuevo incentivo para cosecharlos. Al mismo tiempo los conservacionistas tienen que pagar un costo de oportunidad más alto por los valores no-comerciales de los árboles.

EL VALOR DE LA BIODIVERSIDAD[39]

La biodiversidad es "consumida" de manera conjunta, pero generalmente no se puede comprarla en un mercado; en consecuencia, tiene las cualidades de un valor no-comercial. La biodiversidad confronta al economista con una situación especial:

> *Generalmente, los bienes y valores se pueden disminuir o aumentar cuantitativamente, pero en el caso de la diversidad total de especies, el ser humano sólo tiene la capacidad de disminuirla. La extinción es irreversible.*[40]

La pregunta es, cuánto valoran las sociedades humanas a las especies sin valor comercial actual. Algunos conservacionistas han declarado un va-

[39] Para una discusión sobre este tema véase también Tisdell (1990).

[40] Aunque se puede discutir el potencial de la ingeniería genética para crear nuevas variedades de algunos organismos, no existe ninguna indicación de que en el futuro sea posible crear o recrear especies de plantas y animales superiores.

lor a la naturaleza por su propia existencia, fuera de los valores humanos. Sin embargo, para el economista sólo es importante saber que existe gente que asigna un valor a las especies, sin importar cómo obtiene ese valor:

> *Dado que los economistas están únicamente interesados en las acciones alternativas del ser humano, consideran sólo los valores percibidos y expresados por él.*

El siguiente concepto fundamental ya fue demostrado en el apartado 5.1 para la protección de áreas naturales.

> *La conservación de especies no-comerciales puede tener costos relacionados con ésta. Estos costos nunca representan un costo de producción, sino un costo de oportunidad de ingresos no aprovechados. Para poder realizar la conservación, la gente deberá estar dispuesta a pagar estos costos.*

Consideramos la especie árborea *Pouteria rhynchocarpa* Pennington, endémica a la región del bosque húmedo de Los Tuxtlas (Veracruz, México). En lugar de conservar esta especie no-comercial, se podrían sembrar árboles comerciales que proporcionaran utilidades netas. La cuestión económica es si la sociedad estaría dispuesta a pagar el costo de oportunidad de utilidades netas no aprovechadas por prevenir la extinción de *P. rhynchocarpa*. El asunto comprende no sólo cómo la sociedad actual valora la conservación de la especie, sino también cómo lo valorarán las sociedades futuras. La suposición más razonable es pensar que las generaciones futuras darán más o menos el mismo valor a la conservación de especies que la generación actual. Supongamos que una persona que vive en la región de Los Tuxtlas estaría dispuesta a pagar, en promedio, US$1 por año para preservar el bosque con *P. rhynchocarpa*.[41] La herramienta, una vez más, es calcular el valor presente de un flujo anual desde ahora hasta infinito, aplicando la fórmula 4 del cuadro 5.11 con una tasa continua anual de 5 por ciento:

$$\begin{aligned} VP &= US\$1 / 0.05 \\ &= US\$20 \end{aligned}$$

En esta situación hipotética, la persona promedio que vive en la región de Los Tuxtlas, junto con un futuro descendiente en cada generación, proporcionarían un valor presente de US$20 para la conservación del bosque. Si 1,000 personas en la región pusieran el mismo valor en la conservación del bosque, entonces ellos y todos sus descendientes darían un valor presente de US$20,000. Esto supone que no habrá un cambio del valor no-comercial de la especie al paso del tiempo y que la población humana no se incrementará.

El lector debería estar consciente que calculamos un valor presente porque tomamos en cuenta el costo de oportunidad por no invertir el dinero destinado para la preservación del bosque. Mientras más proyectemos hacia el futuro, más ingresos de inversión se acumularán, y mayor será el trueque con la conservación de la especie. Por lo tanto, el valor presente es más bajo mientras más distante sea el punto en el tiempo en que "se exprese" la conservación de la especie.

Si además de las 1,000 personas nadie más tuviera interés en la conservación (su disposición de pagar fuera US$0), si no hubiera ningún

---

[41] Generalmente la gente no paga por la conservación de una sola especie, sino por todo un hábitat con varias especies. Esto es particularmente verdadero para especies vegetales no espectaculares o para la gran diversidad de insectos. Esto también se refleja en el enfoque de los grupos conservacionistas, los cuales se dedican usualmente a ciertos hábitats, y raramente a una sola especie. Algunas excepciones son los grandes mamíferos, como elefantes, o los árboles espectaculares, como la masiva *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. ("Californian redwood"; Taxodiaceae; en el noroeste de Estados Unidos), que alcanzan alturas de más de 100 metros.

valor comercial esperado en el futuro,[42] y si la conservación requiriera el pago de un valor presente de US$100,000 (y no US$20,000), entonces *Pouteria rhynchocarpa* se extinguiría.[43]

Las decisiones que permiten la extinción de especies se han justificado en términos económicos con el argumento de que el costo de la conservación desde el presente hasta el infinito sería demasiado alto para justificar la conservación de la especie. Sin embargo, existe un problema en esta racionalización: nuestro conocimiento y por ende nuestra evaluación acerca de la especie podría cambiar en el futuro, pero nuestra decisión de permitir su extinción es irreversible:

> *Una decisión que permite la extinción de una especie lleva consigo el riesgo de ser una decisión equivocada e irreversible, dado que la extincción de especies es irreversible. Se tiene que agregar un premio de riesgo al valor de la especie en la actualidad.*

Se deberá investigar científicamente qué tan alto debería ser dicho premio de riesgo. Su valor dependerá de cómo la gente evalúa el riesgo.

Dada la existencia de valores no-comerciales además de los valores comerciales actuales y esperados para la biodiversidad, y dado el riesgo de que la extinción se lamentará, es económicamente razonable y justificado llevar a cabo esfuerzos internacionales para proteger la biodiversidad y crear parques de conservación (véase World Resources Institute *et al.*, 1992; IUCN, 1990).

5.8 RESUMEN

La *economía* es la ciencia que investiga la asignación de recursos limitados. El objetivo de la economía es entender el sistema de intercambio entre bienes demandados y ofrecidos en una sociedad, incluyendo los valores no-comerciales. En el campo de la economía se intenta optimizar la oferta, dadas las demandas de la sociedad.

Los *precios de equilibrio* balancean la oferta y la demanda de un mercado, de manera que no haya demanda excesiva de bienes o valores. Existe solamente una solución matemática para los precios de equilibrio, de tal manera que no haya exceso de demanda, y la producción sea óptima. Un mercado libre siempre se dirige hacia este equilibrio.

Los botánicos económicos pueden contribuir a aumentar el bienestar mediante la investigación y divulgación de usos más eficientes de los bosques. El análisis y el desarrollo o el mejoramiento de las posibilidades de producción en los bosques requiere de la investigación botánica y ecológica de los recursos vegetales.

Las personas ganan dinero para gastarlo o invertirlo. Definimos la *tasa de rendimiento* como el crecimiento neto de la inversión. Las tasas de rendimiento y los fenómenos de crecimiento en general se modelan eficientemente al utilizar la *función de e*, la cual incrementa una cantidad determinada continuamente con una tasa de crecimiento constante. Explicamos la diferencia entre *tasas de crecimiento discretas y continuas*, y mostramos cómo se puede simular una tasa de crecimiento discreta con una continua.

No se debe confundir la tasa de rendimiento de una inversión con la tasa de inflación. *Inflación* es una situación en la que los precios de la mayoría de los bienes y servicios se incrementan a través del tiempo. No representa una tasa de rendimiento real, pues la cantidad de dinero incrementada que se recibe en el futuro viene acompañada del mis-

---

[42] Tanto los valores comerciales (actuales y esperados), como los valores no-comerciales (actuales y esperados) de una especie o un hábitat se tienen que añadir para conocer el valor total. Algunos valores comerciales esperados en el futuro se pueden estimar. Por ejemplo, Mendelsohn y Balick (1995), y Principe (1989) hacen una estimación para plantas medicinales.

[43] Una ley que regula a los propietarios del bosque a conservar las especies en su hábitat boscoso natural también requiere del pago del costo de oportunidad de valores comerciales no aprovechados; en este caso, el costo completo lo pagarían los propietarios.

mo incremento de los precios de los productos. Solamente utilizamos tasas ajustadas a la inflación, denominadas *tasas reales*.

Un inversionista generalmente tiene varias oportunidades de proyectos de inversión. La utilidad neta no aprovechada de la segunda mejor alternativa de inversión se denomina *costo de oportunidad* de la decisión de inversión. El concepto del costo de oportunidad es de importancia fundamental para el pensamiento económico, porque el costo de oportunidad representa el trueque de una actividad.

Para un inversionista, los ingresos recibidos más tarde tienen menos valor que los recibidos más temprano. El tiempo será indiferente para un inversionista, siempre y cuando le paguen el costo de oportunidad por esperar. *Descontar* es el proceso de disminuir el valor de una cantidad determinada de ingreso o costo, en función del tiempo, de manera que a un inversionista en el presente le sea indiferente el tiempo en que reciba el ingreso o tenga que pagar el costo. El valor que resulta después de descontar la cantidad determinada de ingreso o costo se le llama *valor presente* del ingreso o costo. Como *tasa de descuento* se tiene que emplear la tasa de rendimiento real promedio más alta posible, para el periodo de tiempo considerado, de proyectos de inversión del mundo real en los cuales el inversionista podría participar.

La tasa de rendimiento real de diversos tipos de inversión en Estados Unidos entre 1929 y 1991 fue de 5 por ciento en promedio, y entonces siempre utilizamos una tasa de descuento de 5 por ciento, suponiendo que cualquier inversionista a largo plazo tuviera la posibilidad de obtener una tasa de rendimiento real de 5 por ciento anual, considerando todas las oportunidades de inversión. El cuadro 5.11 proporciona un resumen de las fórmulas para calcular valores presentes.

El *valor presente neto* de un terreno, un árbol o una fábrica es la suma de todos los ingresos futuros ~~esperados~~, cada uno descontado al presente, menos la suma de todos los costos futuros ~~anticipados~~, cada uno descontado al presente. Si los ingresos y costos ocurren simultáneamente, el valor presente neto es la suma de todas las utilidades netas descontada cada una al presente. El concepto del valor presente neto nos lleva a dos reglas fundamentales para analizar el uso de la tierra: la regla de la *optimización del uso de la tierra* sostiene que en cualquier terreno la actividad óptima de manejo es aquella que maximiza el valor presente neto de la tierra. La *regla del valor de la tierra* sostiene que el precio apropiado de un terreno es igual al valor presente neto del terreno.

Para la producción de madera se tiene que considerar el ciclo de cosecha óptimo. Maximizar el flujo de madera del bosque y a su vez mantener constante la biomasa promedio del bosque a través del tiempo se denomina *manejo de producción máxima sostenible*. Sin embargo, para la producción de madera es económicamente óptimo el *manejo según Faustmann*, que maximiza el valor presente neto del bosque. El manejo según Faustmann toma en consideración que la tasa de crecimiento relativa de los árboles maderables tiene que estar por encima de la tasa de descuento, así que la inversión en el bosque crece por lo menos tanto como la inversión en otros proyectos de inversión. El ciclo óptimo de cosecha según Faustmann es más corto que el ciclo de cosecha para la producción máxima sostenible. Mientras que el valor presente neto aumenta fuertemente cuando hay una cosecha inicial, el ciclo óptimo de cosecha sigue siendo el mismo.

La utilidad neta real por unidad de madera puede subir o bajar debido a cambios en la oferta de madera, cambios en la demanda, o cambios en los costos de manejo, cosecha, transporte y/o comercialización. Si la utilidad neta real por unidad de madera aumenta con una tasa por debajo de la tasa de descuento, es económicamente óptimo para la producción de madera retrasar el ciclo de cosecha original según Faustmann. Si la utilidad neta real por unidad de madera aumenta con

una tasa igual o por encima de la tasa de descuento, entonces el manejo de producción máxima sostenible es económicamente óptimo. Si la utilidad neta real por unidad de madera disminuye, entonces es económicamente óptimo reducir el ciclo de cosecha original según Faustmann.

Definimos la *deforestación* como la conversión completa de tierra con bosque en tierra sin bosque; se estima que entre 1978 y 1988 un 0.6 por ciento del área terrestre ha sido deforestada en este sentido. Las razones por las que han existido excesiva deforestación son el rápido crecimiento de la población humana, un mayor acceso a áreas boscosas, afluencias de gente inexperta en el manejo de bosques o la práctica agrícola en suelos pobres, prejuicios culturales, derechos poco confiables de la propiedad de la tierra, proyectos de desarrollo probremente planeados, e incentivos gubernamentales que favorecen la conversión de bosques.

Definimos al *uso sustentable* como el mantenimiento a largo plazo del equilibrio de un sistema (como un bosque) en términos de un atributo (como la biomasa o la biodiversidad). Durante el uso no-sustentable el punto de equilibrio cambia, por ejemplo de bosque a pastizal. En un mercado libre, el uso no sustentable de recursos comerciales necesariamente conduce a un cambio del precio de los recursos involucrados, lo que provoca que la sociedad ajuste su demanda. Sin embargo, mientras el mercado libre se ajuste a los cambios de oferta, no habrá ningún mecanismo inherente que prevenga al recurso de escasearse completamente hasta llegar al infinito; únicamente se sostendrán las áreas de bosque si hay valores asociados con su mantenimiento.

En el caso de cambios continuos de ingresos, costos o utilidades netas a través del tiempo, el valor presente neto se vuelve dependiente del tiempo. Igual que antes, es óptimo escoger en cualquier momento el uso de la tierra con el valor presente neto más alto. Sin embargo, el uso óptimo de la tierra en la actualidad podría ser diferente que el uso óptimo de la tierra en el futuro. Por lo tanto, se tienen que calcular valores presentes netos para diferentes años. Las utilidades netas que disminuyen a través del tiempo, generalmente conducirán a un punto en el cual es económicamente óptimo para el propietario de la tierra cambiar la actividad del uso de su tierra.

Investigaciones hechas en Perú, Belice, Ecuador y México, que recolectaron datos empíricos para calcular valores presentes netos provenientes de la extracción de productos de bosques tropicales, condujeron a dos hipótesis mayores: primeramente, dependiendo de las condiciones ecológicas y económicas locales, la extracción del bosque natural puede ser económicamente mejor que otras formas de uso de la tierra, como pastizal de ganado o monocultivos de árboles maderables, aun sin tomar en cuenta valores no-comerciales. Segundo, los productos forestales no-maderables, en particular los frutos comestibles, constituyen un valor comercial mayor en los bosques tropicales de alta diversidad; pueden ser comercialmente más importantes que la madera.

Solamente una proporción de las especies en bosques tropicales tiene un uso en la actualidad; por lo tanto los bosques naturales frecuentemente tienen lo que se podría considerar una composición "desfavorable" de especies. Enriquecer el bosque natural, es decir, eliminar individuos de especies menos deseadas y en su lugar plantar y sostener especies más valiosas, es una opción interesante para aumentar el valor del bosque.

El ser humano tiende a pensar que la manera de obtener la máxima utilidad neta comercial de la tierra boscosa es mediante la selección de la especie árborea más valiosa y sustituir el bosque con un monocultivo de esta especie. Sin embargo, las condiciones ecológicas en un monocultivo tienden a generar costos de manejo más altos, porque una alta densidad de una sola especie frecuentemente requiere de más manejo de desyerba y contra plagas. En este caso, los monocultivos no representan necesariamente el uso

óptimo de la tierra. Dependiendo de los ingresos del producto y los costos de manejo en un sitio en cuestión, un bosque diverso de especies puede ser más competitivo que un monocultivo.

Definimos los *valores no-comerciales* como valores o bienes demandados que no se pueden comprar en un mercado, porque se consumen de manera colectiva. Mientras el mercado libre se encarga eficientemente de la oferta de valores comerciales, las dependencias gubernamentales y organizaciones no lucrativas tienen que encargarse de la oferta de valores no comerciales. Desde el punto de vista de la sociedad, el análisis de costo-beneficio tiene que considerar los valores no-comerciales. Para encontrar el valor total de un terreno, se tienen que agregar los valores comerciales y no-comerciales del sistema de manejo empleado. A pesar de que los valores no-comerciales no tienen un valor monetario en el mercado, se pueden cuantificar en términos monetarios. Esto es importante, porque los valores no comerciales compiten en la sociedad con los valores comerciales. Una de las mejores maneras de cuantificar los valores no comerciales es encontrando el costo de oportunidad para suministrar un valor no comercial, es decir, cuánto valor comercial se tiene que sacrificar para obtener un valor no-comercial.

El valor no-comercial "biodiversidad" confronta al economista con una situación especial, porque la cantidad de la mayoría de los bienes y valores se pueden disminuir o aumentar cuantitativamente, pero en el caso de la diversidad total de especies, el ser humano sólo tiene la capacidad de disminuirla. La extinción es irreversible. La conservación de especies no comerciales puede tener costos relacionados con ésta. Estos costos nunca representan un costo de producción, sino un costo de oportunidad de ingresos no aprovechados. Para poder realizar la conservación, la gente deberá estar dispuesta a pagar estos costos. Sin embargo, una decisión que permite la extinción de una especie lleva consigo el riesgo de ser una decisión equivocada e irreversible, dado que la extincción de especies es irreversible. Se tiene que agregar un premio de riesgo al valor actual. Dada la existencia de valores no comerciales, así como de valores comerciales esperados por la biodiversidad, y dado el riesgo de que la extinción se lamentará, es razonable y económicamente justificado llevar a cabo esfuerzos internacionales para proteger la biodiversidad y crear parques de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

ABEL, A.B., y B.S. BERNANKE, *Macroeconomics*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1992.

BALICK, M.J., y R.O. MENDELSOHN, "Assessing the economic value of traditional medicines from tropical rain forests", *Conservation Biology* 6: 128-130, 1992.

BARRETT, J.W., "The Northeastern region, en: J.W. Barrett (ed.)", *Regional Silviculture of the United States*, pp. 25-65, John Wiley & Sons, Nueva York, 1980.

BAUMOL, W.J., y A.S. BLINDER, *Microeconomics Principles and Policy*, Harcourt Brace Jovanovich, San Diego, 1991.

CEPAL (= Comisión Económica para América Latina y el Caribe), *Estudio económico de América Latina y el Caribe 1988*, Naciones Unidas, Santiago de Chile, 1989.

CHIANG, A.C., *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1984. [En español: Chiang, A., *Métodos fundamentales de economía matemática*, McGraw-Hill, Madrid, 1996.]

Faustmann, M., "Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen", *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 15, 1849; reimpreso en inglés: Faustmann, M., "Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry", *Journal of Forest Economics* 1: 7-44, 1995.

GILLIS, M., y R. REPETTO, "Conclusions: Findings and policy implications", en: R. Repetto y M. Gillis (eds.), *Public Policies and the Misuse of Forest Resources*, pp. 385-410, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

———, R. REPETTO, D.H. PERKINS, M. ROEMER, y D.R. SNODGRASS, *Economics of Development*, W.W. Norton & Company, Nueva York, 1987.

GRIMES, A., S. LOOMIS, P. JAHNIGE, M. BURNHAM, K. ONTHANK, R. ALARCÓN, W. PALACIOS C., C. CERÓN M., D. NEILL, M. BALICK, B. BENNETT, y R. MENDELSOHN, "Valuing the rain forest: The economic value of nontimber forest products in Ecuador", *Ambio* 23: 405-410, 1994.

GREGORY, G.R., *Resource Economics for Foresters*, John Wiley & Sons, Nueva York, 1987.

HOLMES, T.P., W.R. BENTLEY, S.H. BRODERICK, y T. HOBSON, "Hardwood stumpage price trends and characteristics in Connecticut", *Northern Journal of Applied Forestry* 7: 13-19, 1990.

IUCN, *1990 United Nations List of National Parks and Protected Areas*, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), Cambridge, 1990.

KOTLER, P., *Dirección de mercadotecnia*, Diana, México, D.F., 1995.

LANG, S., *A First Course in Calculus*, Springer-Verlag, Nueva York, 1986.

MENDELSOHN, R.O., "Non-timber forest products", en: L. Pancel (ed.), *Tropical Forestry Handbook*, pp. 1425-1448, Springer-Verlag, Berlín, 1993.

———, y M.J. BALICK, "The value of undiscovered pharmaceuticals in tropical forests", *Economic Botany* 49: 223-228, 1995.

PANAYOTOU, T., & P.S. ASHTON, *Not by Timber Alone*, Island Press, Washington, D.C., 1992.

PETERS, C.M., A.H. GENTRY, y R.O. MENDELSOHN, "Valuation of an Amazonian rainforest", *Nature* 339: 655-656, 1989.

PRINCIPE, P.P., "The economic significance of plants and their constituents as drugs", *Economic and Medicinal Plant Research* 3: 1-17, 1989.

RAUP, H.M., "The view from John Sanderson's farm: A perspective for the use of the land", *Forest History* 10: 2-11, 1966.

REPETTO, R., "Deforestation in the tropics", *Scientific American* 262: 18-24, 1990.

Ricker, M., "Limits to economic growth as shown by a computable general equilibrium model", *Ecological Economics* 21: 141-158, 1997.

ROSS, S.A., R.W. WESTERFIELD, y J.F. JAFFE, *Corporate Finance*, Irwin, Burr Ridge, Illinois, 1993.

SAMUELSON, P.A., "Economics of forestry in an evolving society", *Journal of Public Inquiry* 14: 466-492, 1976. [Reimpreso en *Forest Economics* 1: 115-149, 1995.]

———, y W.D. NORDHAUS, *Economía*, McGraw-Hill, Madrid, 1993. [En inglés: Samuelson, P. A., y W. D. Nordhaus, *Economics*, McGraw-Hill, Nueva York, 1992.]

SCARF, H.E., "An example of an algorithm for calculating general equilibrium prices", *The American Economic Review* LIX: 669-677, 1969.

———, *The Computation of Equilibrium Prices: An Exposition* (Cowles Foundation Paper No. 541), Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, New Haven, Connecticut, 1982.

SCHULZE, P.C., M. LEIGHTON, y D.R. Peart, "Enrichment planting in selectively logged rain forest: A combined ecological and economic analysis", *Ecological Applications* 4: 581-592, 1994.

TISDELL, C., "Economics and the debate about preservation of species, crop varieties and genetic diversity", *Ecological Economics* 2: 77-90, 1990.

VARIAN, H.R., *Microeconomic Analysis*, W.W. Norton & Company, Nueva York, 1992.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI), *World Resources 1992-93*, Oxford University Press, Nueva York, 1992.

———, THE WORLD CONSERVATION UNION (IUCN), y UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), *Global Biodiversity Strategy*, WRI, Washington, D.C., y IUCN, Cambridge, 1992.

APÉNDICE

CONVERSIONES

1 pulgada = 2.54 centímetros (cm)
1 pie = 30.48 centímetros (= 12 pulgadas)
1 yarda = 0.9144 metros (m)
1 milla = 1.6093 kilómetros (km)

1 acre = 0.4047 hectáreas (ha)

1 onza = 28.35 gramos (g)
1 libra = 453.6 gramos
1 galón = 3.785 litros (l)

1 pie cuadrado = 0.092903 metros cuadrados
1 pie cúbico = 0.028317 metros cúbicos
1 pie-tabla (= 1 boardfoot en inglés)
= volumen de una tabla de (1 pie)(1 pie)(1 pulgada)
= 1 /12 pie cúbico
= 0.00235974 metros cúbicos
1 metro cúbico = 423.776 pies-tabla

1 pie cúbico por acre = 0.06997 metros cúbicos por hectárea
1 árbol por acre = 2.471 árboles por hectárea

(X grados Fahrenheit - 32)(0.556) = Y grados Celsius

Cálculos generales:

PROBLEMA: **(X)(A) = (Y)(B)**
(Z)(A) = (?)(B)

Solución: **? = (Z)(Y) /X**
Ejemplo: 1 acre = 0.4047 hectáreas
5.5 acres = ? hectáreas
? = (5.5)(0.4047) /1
= 2.23

PROBLEMA: **(X)(A /C) = (?)(B /D)**
cuando **A = (a)(B)**
C = (c)(D)

Solución: **? = (X)(a /c)**
Ejemplo: (320)(pies cúbicos /acre) =
(?)(metros cúbicos /hectárea
1 pie cúbico = 0.028317 metros cúbicos
1 acre = 0.4047 hectáreas
? = (320)(0.028317 /0.4049)
= 22.4

PROBLEMA: **(X)(A) = (Y)(C)**
(X)(B) = (Z)(C)
(X)(A) = (?)(B)
Solución: **? = Y /Z**
Ejemplo: 1 US-dólar = 7.4321 pesos mexicanos
1 marco alemán = 4.9440 pesos mexicanos
1 US-dólar = ? marco alemán
? = 7.4321/4.9440
= 1.5033

SOFTWARE EMPLEADO

Se empleó *software* para computadoras personales compatibles con IBM en el análisis y producción del texto original:

Chemtext (Molecular Design Limited, 1990): para escribir el texto, y diseñar las estructuras moleculares del capítulo 3 y las figuras 4.5 a 4.7.

Mathematica (Wolfram Research, Inc., 1991): para tomar derivadas e integrales, y para analizar las ecuaciones en el capítulo 5 gráficamente.

Quattro Pro 4.0 (Borland International, Inc., 1992): como hoja de cálculo para análisis de datos (por ejemplo el número de especies en cada familia de plantas en el capítulo 2) y para diseñar las gráficas.

SYSTAT (SYSTAT, Inc., 1990): para calcular todas las regresiones estadísticas.

Turbo Pascal 6.0 (Borland International, Inc., 1990): para escribir el algoritmo que hizo los cálculos sobre el desarrollo de la población en el apartado 4.2.

Además, se utilizó un programa no comercial para calcular los precios de equilibrio en el apartado 5.1, proporcionado generosamente por el doctor Herbert E. Scarf (Department of Economics, Yale University, New Haven,Connecticut).

EJERCICIOS PARA EL CAPÍTULO 5

Probablemente la mayoría de los lectores son biólogos, por lo que el capítulo 5 sobre economía puede resultar más difícil, porque presenta nuevo material con enfoque matemático. Los siguientes ejercicios ayudarán al lector a adquirir la capacidad de aplicar los conceptos y las fórmulas. Algunos ejercicios requieren de cálculos con una calculadora que tenga la función de *e*. Las respuestas matemáticas se muestran en paréntesis { }, por lo que el lector tiene la posibilidad de comprobar sus cálculos. Las respuestas no matemáticas se pueden encontrar a lo largo del texto.

1) ¿Qué objetivos tiene la economía como ciencia? ¿Por qué es tan importante la optimización en la economía?

2) ¿Qué son precios de equilibrio? ¿Por qué utilizamos "unidades de frutos" en lugar de "dinero" para cuantificar los valores?

3) ¿Cuáles son los tres parámetros que determinan sin ambigüedad un precio de equilibrio? Explique usted cada uno de los parámetros.

4) Ejemplifique usted qué causas pueden afectar los precios en un mercado libre. ¿Cómo cambian? ¿Por qué siempre se dirige el mercado libre hacia un equilibrio?

5) ¿Qué objetivo logra el mercado libre? ¿Por qué desde nuestra perspectiva no hay precios "injustos"? ¿Por qué es importante que la propiedad de los recursos esté asegurada?

6) ¿Qué papel asumen los botánicos económicos según nuestro modelo de mercado?

7) ¿Por qué se habla del valor monetario de un producto en lugar de hablar directamente del producto? ¿Por qué utilizamos en los ejemplos de descuento "dinero" sin especificar de qué moneda se trata?

8) ¿Qué ventajas representa la conexión entre un productor local y el mercado nacional o aun el internacional?

9) Explique los siguientes términos:
   a) ingreso;
   b) utilidad neta;
   c) tasa de rendimiento;
   d) inflación;
   e) tasa nominal;
   f) tasa real;
   g) costo de oportunidad;
   h) valor presente;
   i) tasa de descuento;
   j) valor presente neto;

10) ¿Por qué es necesario descontar? ¿Por qué se calcula un valor presente neto?

11) Explique:
   a) la regla de la optimización de la tierra;
   b) la regla del valor de la tierra.

12) ¿Por qué es tan importante la función de *e* en nuestros modelos económicos?

13) Distinguimos entre tasas de crecimiento continuas y tasas discretas:
   a) ¿Cuál es la diferencia entre una tasa de crecimiento continua y una discreta?
   b) Con $1,000 y una utilidad neta de $50 después de un año, ¿cuál sería la tasa anual discreta? {5 por ciento}
   c) Con $1,000 y una utilidad neta de $50 después de un año, ¿cuál sería la tasa anual continua? {4.88 por ciento}

14) A una tasa de rendimiento anual discreta de 8 por ciento, $1,000 crecen a $1,080 en un año. Convierta la tasa discreta en una tasa continua y calcule el aumento de $1,000 a $1,080, utilizando la función de *e*. {$r_{continua}$ = 7.70%}

15) ¿Por qué utilizamos siempre tasas reales sin considerar la inflación?

16) ¿Por qué utilizamos generalmente una tasa de descuento (continua anual) de 5 por ciento? ¿Es siempre correcto? ¿Qué puede ser problemático sobre la tasa de descuento?

17) ¿Cuál es el valor presente de $5,000 recibidos en seis años con una tasa de descuento continua anual de:
   a) 3 por ciento; {$4,176}
   b) 5 por ciento; {$3,704}
   c) 7 por ciento; {$3,285}
   d) Entonces, ¿cómo cambia el valor presente con un cambio en la tasa de descuento?

18) Una inversión consiste en un costo de $23,000 ahora y $8,000 en 3 años. El ingreso completo en 5 años es $40,000.
   a) ¿Cuál es el valor presente neto de esta inversión si la tasa de descuento continua anual es 5 por ciento? {$1,266}
   b) ¿Vale la pena invertir?
   c) ¿Sería conveniente si el ingreso completo después de 5 años fuera solamente $ 35,000.00? {VPN = $-2,628}

19) Derivamos fórmulas para calcular fácilmente sumas de ingresos o costos:
   a) Explique con un ejemplo la diferencia entre un flujo continuo y un flujo discreto.
   b) ¿Por qué utilizamos la integral para calcular el valor presente de flujos de dinero?

20) Si se reciben $1,000 por año, desde el presente hasta el infinito, se puede calcular el valor presente del flujo completo de dos maneras (la tasa de descuento continua anual es de 5 por ciento):
   I) $1000 /0.05 = $20,000;
   II) $1000 /(1 – $e^{(-0.05)(1)}$) = $20,504.
   a) ¿Cuál es conceptualmente la diferencia?
   b) ¿Por qué es más grande el valor presente en el segundo caso?

21) Una hectárea de un huerto frutal tiene una utilidad neta continua anual de $800. La tasa de descuento continua anual es 5 por ciento. Utilizando la fórmula 4, conteste lo siguiente:
   a) ¿Cuál debería ser el valor de compra de la hectárea? [$16,000]
   b) Si el valor para comprar la tierra es $25,000, ¿cuánto debería ser la utilidad neta anual continua? {$1,250}

22) Un árbol de *Pouteria sapota* tarda 15 años en producir frutos. Después, produce cada año una utilidad neta continua de $200. Cuando tiene 100 años termina su producción. ¿Cuál es el valor presente neto del árbol con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento? {$1,863}

23) Una plantación de *Cedrela odorata* está lista para cosechar la madera con un valor total de $30,000. Cada 20 años existe la misma cosecha.
   a) ¿Cuál es el valor presente de todos los ingresos de la plantación (hasta el infinito) con una tasa de descuento continua anual de 5 por ciento? {$47,459}
   b) ¿Cuál es el valor presente neto si hay costos cada 2 años de $2,000, empezando ahora? {$26,442}
   c) Considere que la plantación de *Cedrela odorata* se acaba de establecer y se tiene que esperar 20 años para el primer ingreso (los costos están como en b). El derecho para el uso de la tierra existe solamente por 100 años, es decir se puede cosechar cinco veces (a 20, 40, 60, 80 y 100 años). ¿Cuál es su valor presente neto? {con la fórmula 5, para ingresos T1 = 20, T2 = 20 + (20)(5) = (120); para costos T1=0, T2=2+(2)(51)=102; VPN = $3,547}

24) Usted está considerando un terreno sin bosque alternativamente para la producción de una especie frutal o una especie maderable en forma de plantación. La especie frutal tiene un costo anual continuo de $800 empezando ahora, y una utilidad neta anual continua de $3,000 después de 10 años hasta el infinito. La especie maderable tiene un costo anual continuo de $1,000 empezando ahora, y una utilidad neta de $60,000 cada 20 años, empezando en 20 años, hasta el infinito. La tasa de descuento continua anual es 5 por ciento.
   a) ¿Cuál especie es preferible para la plantación según los cálculos costo-beneficio? {VPN_{Frutos} = $20,392; VPN_{Madera} = $14,919}
   b) ¿Qué utilidad neta tendría que tener la madera para que los valores presentes netos fueran iguales? {$69,405}

25) Suponga que la agricultura en una hectárea tiene una utilidad neta continua anual de $500, y la producción de madera tiene una utilidad neta de $80,000 cada 30 años, empezando en 30 años. La tasa de descuento continua anual es de 5 por ciento.
   a) Compare los valores presentes netos: ¿Cuál es el uso óptimo de la tierra? {$VPN_{Agricultura}$ = $10,000; VPN_{Madera} = $22,977}

b) ¿Qué uso daría el propietario a la tierra si el gobierno no le asegurara su propiedad, y si fuera posible o aun probable que alguien le quitara la tierra?
c) Si el gobierno no asegurara la propiedad, ¿cambiaría el uso óptimo de la tierra desde el punto de vista de la sociedad? ¿Por qué?

26) Muchos campesinos no tienen suficiente dinero para esperar varios años hasta cosechar frutos o maderas de árboles sembrados ahora. ¿Qué papel pueden desempeñar los programas de crédito del gobierno en estas situaciones?

27) Explique la diferencia conceptual entre el manejo según Faustmann y el manejo de producción máxima sostenible. ¿Por qué el manejo de producción máxima sostenible no es óptimo económicamente para la producción de madera (con utilidades netas constantes por unidad de madera)?

28) Suponga que el volumen V_p de un árbol crece en el periodo *p* en la manera descrita con la ecuación de crecimiento $V_p = -1 + (0.1)(p) - (0.0004)(p^2)$ para $15 \leq p \leq 125$ años; hay 50 árboles, y cada unidad de *V* vale $80 neto. Los costos inmediatos son $50. La tasa de descuento continua anual es 5 por ciento. (Para este ejercicio se recomienda usar una computadora con hoja de cálculo)
a) Calcule el volumen de un árbol promedio para p = 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115 y 125. (0.41, 1.25, 2.01, 2.69, 3.29, 3.81, 4.25, 4.61, 4.89, 5.09, 5.21, 5.25)
b) Haga una gráfica V_p sobre *p*.
c) Calcule la tasa relativa de crecimiento $(dV_p/dp)/V_p$ para p = 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30. (10.0 %, 9.0 %, 8.2 %, 7.5 %, 6.9 %, 6.4%, 6.0 %, 5.6 %, 5.2 %, 4.9 %, 4.6 %).
d) Haga una gráfica de $(dV_p/d_p)/Vp$ sobre *p*.
e) Calcule los valores presentes netos con la fórmula de Faustmann para p = 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30. ($1876, $1912, $1934, $1944, $1945, $1938, $1924, $1904, $1880, $1851, $1820, VPN=$1,945)
f) Haga una gráfica del valor presente neto sobre *p*.
g) ¿Qué ciclo de cosecha *p* maximiza el valor presente neto? (p = 24 años)
h) Determine gráficamente o algebraicamente el ciclo de cosecha para la producción máxima sostenible, y compare ésto con el ciclo óptimo de cosecha según Faustmann. (p = 50 años)
i) Calcule el volumen de la cosecha bajo el manejo según Faustmann y el manejo de producción máxima sostenible para todos los 50 árboles. Para cada uno calcule el flujo de madera promedio por año. Compare los resultados. (V_{24} = 58.5 unidades; V_{50} = 150 unidades; flujo $_{Faustmann}$ = 2.44 unidades/año; flujo $_{PMS}$ = 3 unidades/año)
j) Calcule el valor presente neto del bosque con producción máxima sostenible y compárelo con el valor presente neto de manejo según Faustmann. ($1019)
k) ¿Cuánto valor presente neto de la producción de madera se pierde si se cosechan los árboles 80 años después del ciclo óptimo según Faustmann, para disfrutar árboles más grandes? ($1883 o 97 por ciento)

29) Responda a un propietario de bosque las siguientes preguntas:
a) ¿Qué efecto tiene una cosecha inicial para el ciclo óptimo de cosecha según Faustmann?
b) Sin costos iniciales (K = $0), ¿qué efecto causa una duplicación de la utilidad neta por unidad de madera (P-C) para el ciclo óptimo y para el valor presente neto?

30) Describa los efectos que tiene una utilidad neta por unidad de madera (P-C), que cambia continuamente, sobre el ciclo óptimo de cosecha según Faustmann. Explique estos efectos en términos del crecimiento relativo del valor comercial de la madera.

31) ¿Por qué hay tanta deforestación en los bosques tropicales? ¿Es perjudicial o es necesario? ¿Por qué?

32) ¿Está usted de acuerdo con nuestra definición de "sustentabilidad"? ¿Es perjudicial o es necesario el uso no sustentable? ¿En qué aspectos es problemático el uso no sustentable?

33) ¿Qué efecto tiene el uso no sustentable de un bien comercial sobre el precio de este bien en un mercado libre?

34) Interprete la fórmula 10 del apartado 5.2: $VP = A_0/(d + r)$. ¿En el caso del uso no sustentable de la tierra, por qué cambia su valor presente neto al paso del tiempo?

35) Suponga que un pastizal, que tiene una utilidad neta anual de $1,200 en la actualidad, declina en su productividad con una tasa continua anual de 2 por ciento. La tasa de descuento continua anual es 5 por ciento y se considera el valor presente neto desde el presente hasta el infinito.
   a) ¿Qué valor presente neto tiene el pastizal ahora? {$17,143}
   b) ¿Qué utilidad neta anual tiene en 10 años? {$982}
   c) ¿Qué valor presente neto tiene en 10 años? {$14,035}
   d) ¿A qué se refiere el punto de cambio cuando un terreno (aquí pastizal) se utiliza de manera no-sustentable?
   e) ¿Si un bosque manejado siempre tiene un valor presente neto de $13,000, en que año sería el punto de cambio de pastizal a bosque? {14 años}

36) Describa cómo llevaría a cabo una evaluación económica de un bosque natural.

37) ¿Cuáles son las conclusiones generales de algunas evaluaciones económicas de bosques naturales en los trópicos?

38) ¿Qué piensa sobre un sistema de extracción del bosque natural? Incluya ejemplos de plantas.

39) En un mundo lineal siempre el monocultivo va a ser el óptimo económico para la producción de bienes (físicos) forestales. En realidad, el mundo es no lineal, y por eso puede resultar que un bosque diverso de especies sea un mejor sistema de producción. Explique por qué.

40) Suponga que el valor presente neto de un bosque diverso de especies es ($1,000 - X)(30 árboles comerciales), pero ($1,000 - Y)(150 árboles comerciales) en un monocultivo; *X* y *Y* son los valores presentes de los costos por árbol en los dos sistemas, respectivamente. *X* es $200.
   a) ¿A qué costo de *Y* sería preferible el bosque diverso de especies? ¿Por qué? {*Y* > $840 /árbol}
   b) ¿A qué costo de *Y* sería preferible el sistema del monocultivo? ¿Por qué? {*Y* < $840 /árbol}

41) ¿Qué son valores no-comerciales y por qué los distinguimos de los valores comerciales? ¿Por qué es importante considerar valores no-comerciales? Incluya ejemplos.

42) ¿Qué consideraciones especiales están involucradas en el análisis costo-beneficio de la biodiversidad? ¿Por qué es importante considerar el costo de oportunidad en proyectos de conservación?

ÍNDICE TEMÁTICO

A

"abacate", *Persea americana*, 58
"abasbabi", *Poulsenia armata*, 183, 249
"abey", *Jacaranda copaia*, 68
"abio", *Pouteria caimito*, 46, 63
"abiu", *Pouteria caimito*, 46, 63
"abiurana", *Pouteria caimito*, 46, 63
"abiurana cascuda", *Pouteria procera*, 46
abreviatura para el autor de una especie, 17
Acacia senegal (L.) Willd. (Leguminosae), 117
"açacu", *Hura crepitans*, 71
"açaí"
  Euterpe oleracea, 61
  E. precatoria, 61
"acaíba", *Spondias mombin*, 54, 66
"acajou", *Swietenia macrophylla*, 75
"acajou rouge", *Cedrela odorata*, 75
"acapú", *Vouacapoua americana*, 73
"acapurana", *Andira inermis*, 74
acción común, definición, 206
"aceite María", *Calophyllum brasiliense*, 71
aceites esenciales, 127
aceites etéricos, 127
aceites volátiles, 112, 113, 133, 137, 143
  como grupo, 127
acetato noretinrona, 131
aceteugenol, 138
acetilcolina, 95, 98, 135, 136, 137, 141
Achras zapota L. como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26, 63
ácido
  acetilsalicílico, 94
  aristolóquico, 243
  ascórbico, 141
  benzoico, 135
  chaulmógrico, 133
  cinámico, 135
  cincotánico, 140
  desoxirribonucleico (= ADN), 161
  dihidroxiesteárico, 133
  esteárico, 133
  galacturónico, 139
  glucorónico, 139
  hidnocárpico, 133
  isoricinoleico, 133
  krameritánico, 133
  nicotínico, 142
  quiláyico, 139
  ricinoleico, 133
  valeriánico, 112
Acradelpha mammosa (L.) O.F. Cook como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26
acre, definición, 263
acronicina, 102
adenina, 143
ADN (= ácido desoxirribonucleico), 161
adrenalina, 132
Aegiphila costaricensis Mold. (Verbenaceae), 182, 184
Agathis dammara (Lamb.) Rich. (Araucariaceae), 155
Agave lecheguilla Torrey (Amaryllidaceae), 131
agentes de curtido, composición química, 117
aglicón, 127
Agonandra racemosa (DC.) Standl. (Opiliaceae), 243
"agougagui", *Caryocar glabrum*, 56
"agracejo", *Casearia praecox*, 71
"aguacate", *Persea americana*, 17, 53, 58 (véase "avocado")
"aguaje", *Mauritia flexuosa*, 61, 242
"aguajillo", *Mauritiella peruviana*, 243
"águano", *Swietenia macrophylla*, 75
"aguatoso", *Poulsenia armata*, 59
"aimpem", *Helicostylis tomentosa*, 76
Aiphanes (Palmae)
  A. aculeata Willd., 60
  A. caryotifolia Kunth en H.B.K. como sinónimo de *Aiphanes aculeata*, 60
"aji", *Clarisia racemosa*, 76
ajmalina, 129
Albizia guachapele (H.B.K.) Dugand como sinónimo de *Pseudosamanea guachapele*, 74
alcaloides, 94, 132
  como grupo, 127
  diversidad y distribución, 122-126
  extracción, separación y caracterización, 121, 122
  imidazólicos, 141
  indólicos, 129, 135
  isoquinoleínicos, 135, 137
  piperidínicos, 139
  piridínicos, 142

quinolizidínicos, 120
alcanfor, 134
"alcanfor", *Cinnamomum camphora*, 134
alcoholes
resínicos, 135
sesquiterpénicos, 143
alcuronio, 136
aldehído cinámico, 134
Alexa imperatricis Baker (Leguminosae), 74
"algarrobo", *Pseudosamanea guachapele*, 74
Alibertia (Rubiaceae)
A. edulis A. Rich., 62
A. sorbilis Ducke como sinónimo de *Borojoa patinoi*, 62
Allophylus campostachys Radlk. (Sapindaceae), 182, 184, 186, 189, 190
"almácigo", *Bursera simaruba*, 69
"almendra"
Caryocar glabrum, 56
C. nuciferum, 56
Gnetum nodiflorum, 57
"almendro"
Buchenavia capitata, 70
Caryocar glabrum, 56
C. nuciferum, 56
Alpinia officinarum Hance (Zingiberaceae), 143
Alseis blackiana Hemsl. (Rubiaceae), 158
Althaea officinalis L. (Malvaceae), 114
"amaapa", *Couma macrocarpa*, 67
"amajaru", *Sterculia apetala*, 63
Amanita
A. muscaria (L.Fr.) Hooker, 98
A. phalloides (Bull.) Fr., 130
amanitina, 130
"amapárana", *Bagassa guianensis*, 76
"amarelo", *Euxylophora paraensis*, 78
"amaron caspi", *Cespedezia spathulata*, 244
"amate"
Ficus petenensis, 182
F. yoponensis, 182
"amate blanco", *Tetrorchidium rotundatum*, 183
"amate matapalo", *Ficus tecolutensis*, 182
"ambahú", *Cecropia peltata*, 69
"ambay-guazú", *Didymopanax morototoni*, 67
Amburana cearensis F.R. Allem. (Leguminosae), 47
"amendoim", *Pterogyne nitens*, 73
Ampelocera hottlei (Standley) Standley (Ulmaceae), 182, 185, 249
Amphitecna tuxtlensis A. Gentry (Bignoniaceae), 180, 182, 185
anabasina, 142
Anacardium (Anacardiaceae)
A. excelsum (Bertol. & Balb.) Skeels, 66
A. occidentale L., 54
anagirina, 120
análisis
de costo-beneficio con valores no-comerciales, 253
de sensibilidad, 226
del área de copa, 188-191
Ananas (Bromeliaceae)
A. comosus (L.) Merrill, 53, 55
A. parguazensis Camargo & L.B. Smith, 55
"anani", *Symphonia globulifera*, 71
"anay negra", *Beilschmiedia anay*, 58
Andira inermis (Wright) DC. (Leguminosae), 74
"andiroba", *Carapa guianensis*, 75
"angelica tree", *Dendropanax arboreus*, 67
"angelim", *Andira inermis*, 74
"angelim do Pará", *Hymenolobium excelsum*, 75
"angelina", *Genipa americana*, 62, 77
"angélique", *Dicorynia guianensis*, 73
"angélique bâtárd", *Dicorynia guianensis*, 73
angiospermas (= Angiospermae)
definición, 38
en la jerarquía taxonómica, 17
número de especies estimados, 38
número de géneros estimadas, 38
anillos anuales de crecimiento, 172
Annona (Annonaceae)
A. cherimola Miller, 43, 54
A. glabra L., 43, 54
A. montana Macfadyen, 43, 54
A. muricata L., 28, 43, 54
A. squamosa L., 43, 54
"anona", *Annona glabra*, 54
"anón"
Annona glabra, 54
Rollinia mucosa, 54
"anrioba", *Carapa guianensis*, 75
Antártico, 38
Anthodiscus amazonicus Gleason & A.C. Sm. (Caryocaraceae), 51, 52
anticonceptivos, 131
antocianinas, 118
antraquinonas, 134
"apaí", *Grias peruviana*, 163
"apamate", *Tabebuia rosea*, 68
"apareiba", *Rhizophora mangle*, 77
Aphanante monoica (Hemsl.) Leroy (Ulmaceae), 182, 185
apiosa, 139
"apompo"
Pachira aquatica, 55
P. macrocarpa, 55

"apote", *Pouteria fossicola*, 46
aprobaciones estandarizadas, 112
"apuruí", *Alibertia edulis*, 62
"araçá de anta", *Bellucia grossularioides*, 59
"araçá-boi", *Eugenia stipitata*, 60
"araçá-pera", *Psidium acutangulum*, 60
Arachis hypogaea L. (Leguminosae), 53, 59
"araguato", *Calycophyllum candidissimum*, 77
"araputango", *Swietenia macrophylla*, 75
"araticum", *Annona montana*, 54
árbol, definición, 151
"árbol de algodón", *Populus deltoides*, 70
"árbol de caucho", *Hevea brasiliensis*, 70
"arbol de purma", *Pouteria caimito*, 46
"árbol del diablo", *Hura crepitans*, 71
Aristolochia trilobata L. (Aristolochiaceae), 243
"arracacho", *Clarisia racemosa*, 76
Artemisia annua L. (Compositae), 104
artemisinina, 104
ascaridol, 137
"asipoca", *Pouteria caimito*, 46
Aspidosperma megalocarpon Muell. Arg. (Apocynaceae), 182, 185, 186
aspirina, 94
"assacú", *Hura crepitans*, 71
"assaí"
E. oleracea, 61
E. precatoria, 61
Astragalus gummifer Lab. (Leguminosae), 117
Astrocaryum mexicanum Liebm. ex Mart (Palmae), 161, 180, 245, 246
Astronium (Anacardiaceae)
A. fraxinifolium Schott, 66
A. graveolens Jacq., 66
A. urundeuva (Allemão) Engl. (Anacardiaceae), 66
atropina, 98, 136
"auinaquina", *Pouteria caimito*, 46
australiano, delimitación, 38
"ausubo", *Manilkara bidentata*, 78
autor de una especie, 17
"avichuri", *Couma macrocarpa*, 67
"avocado", *Persea americana*, 58 (véase "aguacate")
azafrín, 118

B

"babassu", *Orbignya phalerata*, 61
"bacaba", *Oenocarpus bacaba*, 61
"bacaba-de-azeite", *Oenocarpus distichus*, 61
"bacaba-de-leque", *Oenocarpus distichus*, 61
"bacaba-do-Pará", *Oenocarpus distichus*, 61
"bacau", *Theobroma grandiflorum*, 64
Bactris gasipaes H.B.K. (Palmae), 60
"bacuri"
Platonia esculenta, 57
Rheedia macrophylla, 57
"bacuripari", *Rheedia macrophylla*, 57
Bagassa guianensis Aublet (Moraceae), 76
"bagasse", *Bagassa guianensis*, 76
"bakupar", *Pouteria surumuensis*, 46
"balá", *Spondias mombin*, 54, 66
"balata", *Manilkara bidentata*, 78
"balata rouge", *Manilkara bidentata*, 78
"Baldrianwurzel", *Valeriana officinalis*, 112
"balsa María", *Calophyllum brasiliense*, 71
"balsa", *Ochroma pyramidale*, 68
"bálsamo", *Myroxylon balsamum*, 75, 244
"bálsamo de Perú", *Myroxylon balsamum* variedad *pereirae*, 134
"bálsamo de Tolú", *Myroxylon balsamum* variedad *balsamum*, 134
"banco", *Dendropanax arboreus*, 67
"baniba", *Oenocarpus bacaba*, 61
"bao", *Rheedia macrophylla*, 57
"barakaroeballi", *Dicorynia guianensis*, 73
"barbasco"
Dioscorea composita, 130
D. deltoidea, 130
D. floribunda, 130
D. spiculiflora, 130
"barí", *Calophyllum brasiliense*, 71
"barillo", *Symphonia globulifera*, 71
barnices, 116
"barossa", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
"basralocus", *Dicorynia guianensis*, 73
Batocarpus orinocensis Karst. (Moraceae), 244
"beeberoe", *Ocotea rodiaei*, 72
"beefwood", *Manilkara bidentata*, 78
Beilschmiedia anay (Blake) Kosterm. (Lauraceae), 58
"bejuco verde", *Agonandra racemosa*, 243
"bellota", *Sterculia apetala*, 63, 78
Bellucia grossularioides (L.) Triana (Melastomataceae), 59
benzaldehído, 134
Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl. (Lecythidaceae), 16, 58, 72
"betún", *Calycophyllum candidissimum*, 77
"bibiru", *Ocotea rodiaei*, 72
"bijao", *Renealmia ntalis*, 64
"biribá", *Rollinia mucosa*, 54
Bixa orellana L. (Bixaceae), 118
bixin, 118
"black olive", *Bucida buceras*, 70

"boardfoot", 263
"bois d'amourette", *Brosimum guianense*, 76
"bois de lance", *Oxandra lanceolata*, 67
boldina, 137
"boldo", *Peumus boldus*, 137
"bolletri", *Manilkara bidentata*, 78
Bombacopsis quinata (Jacq.) Dugand (Bombacaceae), 68
"bonga", *Ceiba pentandra*, 68
bono, definición, 206
"borojó", *Borojoa patinoi*, 62
Borojoa (Rubiaceae)
B. patinoi Cuatrec., 35, 54, 62
B. sorbilis (Ducke) Cuatrec., 62
bosque
diferencia con la selva, 9
diverso en especies versus monocultivo, 252-253
primario, definición, 157
secundario, definición, 157
tropical, y composición desfavorable de especies, 250
Boswellia sacra Flueck. (Burseraceae), 116
botánica económica
definición, 9
papel, 205
revisión de la literatura, 10
"botonallare", *Diplotropis purpurea*, 74
"botoncillo", *Rinorea guatemalensis*, 183
"bouchi kakao", *Theobroma speciosum*, 64
bouvardina, 102
"Brazil nut", *Bertholletia excelsa*, 58
"Brazilian rosewood", *Dalbergia nigra*, 74
"Brazilian satinwood", *Euxylophora paraensis*, 78
"brea-caspi", *Symphonia globulifera*, 71
briofita, definición, 38
Bromelia (Bromeliaceae)
B. chrysantha Jacq., 55
B. plumieri (E. Morr.) L.B. Smith, 55
Brosimum (Moraceae)
B. alicastrum Sw., 59, 180, 182, 184
B. guianense (Aublet) Huber, 76
B. rubescens Taub., 242
B. utile (Kunth) Oken, 116
bruceantina, 102
brucina, 136
"bruinhart", *Vouacapoua americana*, 73
Buchenavia capitata (Vahl) Eichler (Combretaceae), 70
Bucida buceras L. (Combretaceae), 70
"bulletwood", *Manilkara bidentata*, 78
Bulnesia arborea (Jacq.) Engl. (Zygophyllaceae), 78
"buriti", *Mauritia flexuosa*, 61
Bursera (Burseraceae)
B. inversa Daly, 27
B. simaruba (L.) Sarg., 69, 182, 185, 244
B. velutinifolia Cowan, 25
"butter nut", *Caryocar nuciferum* 56

C

"cabiuna", *Dalbergia nigra*, 74
"cabriúva vermelha", *Myroxylon balsamum*, 75
"cacahuate", *Arachis hypogaea*, 53, 59
"cacaito", *Pouteria procera*, 46
"cacao", *Theobroma cacao*, 53, 64
"cacao amazónico", *Theobroma speciosum*, 64
"cacao del monte", *Pachira aquatica*, 55
"cacao sauvage", *Theobroma speciosum*, 64
"cacao silvestre", *Theobroma grandiflorum*, 64
"cacao-do-Perú", *Theobroma bicolor*, 64
"cacho"
Dialium guianense, 58, 72
Pouteria baehniana, 46
Caesalpinia (Leguminosae)
C. coriaria (Jacq.) Willd., 117
C. echinata Lam. (Leguminosae), 41, 118
"café"
Coffea arabica, 53
C. canephora, 53
C. liberica, 53
"cafecillo", *Faramea occidentalis* 182
cafeína, 141, 142, 143
"cagal", *Guarea glabra*, 182
"caimitillo", *Pouteria caimito*, 46, 63
"caimito"
Chrysophyllum cainito, 63
Pouteria caimito, 46
P. procera, 46
"caimito colorado", *Pouteria procera*, 46
"caimito popa", *Pouteria chocoensis*, 46
"caimito propro", *Pouteria buenaventurensis*, 46
"caimo", *Pouteria caimito*, 46, 63
"caixeta", *Simaruba amara*, 78
"cajá", *Spondias mombin*, 54, 66
"cajú", *Anacardium occidentale*, 54
"caju-assú", *Anacardium excelsum*, 66
"caju da mata", *Anacardium excelsum*, 66
"cajui", *Pouteria caimito*, 46, 63
Calathea ovandensis Matuda (Marantaceae), 162
cálculos generales para conversiones, 263
"callawalla", *Phlebodium decumanum*, 244
Calophyllum brasiliense Cambess (Guttiferae), 71, 182, 185
Calospermum mammosum (L.) Pierre como sinónimo

de *Manilkara zapota*, 26
Calycophyllum candidissimum (Vahl) DC. (Rubiaceae), 77
"camajoru", *Sterculia apetala*, 63
"camajurú", *Sterculia apetala*, 78
"camarón", *Calycophyllum candidissimum*, 77
cambio
continuo anual de la utilidad neta por unidad de madera (P-C), 232-235
del nombre taxonómico, 25-28
del uso no sustentable al uso sustentable, 239-242
"camburito", *Parmentiera edulis*, 55
Camellia sinensis (L.) Kuntze (Theaceae), 142
"camibar", *Prioria copaifera*,, 73
"camoruco", *Sterculia apetala*, 63
Campnosperma panamensis Standl. (Anacardiaceae), 66
Campsiandra comosa Benth. (Leguminosae), 58
camptotecina, 102
Camptotheca acuminata Decne (Nyssaceae), 102
"camu-camu", *Myrciaria dubia*, 60
"canalete", *Cordia alliodora*, 69
Canarium luzonicum Miq. (Burseraceae), 116
"candelón", *Rhizophora mangle*, 77
"candle tree", *Dacryodes excelsa*, 69
"canela"
Cinnamomum verum, 134
Quararibea funebris, 183
"canelilla", *Quararibea yunckeri*, 183
canfeno, 144
"canisté", *Pouteria campechiana*, 46, 63
"canshán", *Terminalia amazonia*, 70
"canutillo", *Piper amalago*, 183
"caoba"
Swietenia humilis, 16, 43
S. macrophylla, 16, 43, 75
S. mahagoni, 16, 43
"caoba cubana", *Swietenia mahagoni*, 75
"caoba mexicana", *Swietenia humilis*, 75
capense, delimitación, 38
"capi", *Hevea brasiliensis*, 70
capsaicina, 141, 142
Capsicum (Solanaceae)
C. annuum L., 14, 115, 141
C. frutescens L., 14, 115, 141
"carabalí", *Pseudosamanea guachapele*, 74
"caraco", *Clarisia racemosa*, 76
"caracolí"
Anacardium excelsum, 66
A. occidentale, 54
carácter
continuo, 21
definición, 14
discreto, 20
característica(s)
ancestrales, 28
avanzadas, 28
definición, 14
derivadas, 28
morfológicas, definición, 16
que varían en conjunto, 22
taxonómicas para separar especies, 23, 25
"carámate", *Hymenolobium excelsum*, 75
"caramuri de várzea", *Pouteria procera*, 46
"caraña", *Bursera simaruba*, 69
Carapa guianensis Aublet (Meliaceae), 75
"carapa", *Carapa guianensis*, 75
"carata"
Bromelia plumieri, 55
Bursera simaruba, 69
"cardamomo", *Elettaria cardamomum*, 115
"Caribbean pine", *Pinus caribaea*, 77
Carica (Caricaceae)
C. papaya L., 53, 56
C. pubescens Lenn_ & Koch, 56
cariofileno, 134, 138
"carnaúba da mata", *Jacaranda copaia*, 68
"caro", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"carocaro", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
carotenoides, 118, 141
"caruto", *Genipa americana*, 62, 77
Caryocar (Caryocaraceae)
C. glabrum (Aublet) Persoon, 56
C. nuciferum L., 56
Caryodendron (Euphorbiaceae)
C. amazonicum Ducke, 57
C. orinocense Karsten, 57
"cas", *Psidium friedrichsthalianum*, 60
"cascaito", *Sterculia apetala*, 63
"cascarilla", *Croton schiedeanus*, 182
"cascarito", *Mouriri guianensis*, 59
Casearia (Flacourtiaceae)
C. corymbosa H.B.K., 162
C. praecox Griseb., 71
"cashew", *Anacardium occidentale*, 54
"casho", *Anacardium occidentale*, 54
Casimiroa edulis Llave & Lexarza (Rutaceae), 62
Cassia
C. angustifolia Vahl como sinónimo de *Senna alexandrina*, 134
C. senna L. como sinónimo de *Senna alexandrina*, 134
"castanha de porco", *Caryodendron amazonicum*, 57
"castanha do Brasil", *Bertholletia excelsa*, 58, 72
"castanha do Pará", *Bertholletia excelsa*, 58, 72

"castaño"
Pachira aquatica, 55
P. macrocarpa, 55
Sterculia apetala, 63
"catarrita", *Pleuranthodendron lindenii*, 183
catequinas, 141, 143
Catharanthus roseus (L.) G. Don f. (Apocynaceae), 99, 100, 128
"cativo", *Prioria copaifera*, 73
"catuche", *Annona muricata*, 54
"caucauarana", *Theobroma speciosum*, 64
caucho, 41, 114, 115, 116, 158
"caucho", *Hevea brasiliensis*, 158
"cauje", *Pouteria caimito*, 46
cavaína, 138
"cayube", *Annona glabra*, 54
Cecropia (Cecropiaceae)
C. obtusifolia Bertol., 182, 184
C. peltata L., 69
"ceder", *Cedrela odorata*, 75
"cèdre rouge", *Cedrela odorata*, 75
Cedrela (Meliaceae)
C. fissilis Vellozo, 43
C. lilloi C. de Candolle, 43
C. montana Moritz ex Turczaninov, 43
C. odorata L., 42, 43, 75
C. salvadorensis Standley, 43
C. tonduzii C. de Candolle, 43
Cedrelinga catenaeformis (Ducke) Ducke (Leguminosae), 73
"cedro", *Cedrela odorata*, 42, 75
"cedro blanco", *Simaruba amara*, 78
"cedro chino", *Myroxylon balsamum*, 75
"cedro espino", *Bombacopsis quinata*, 68
"cedrorana", *Cedrelinga catenaeformis*, 73
cefaelina, 139
"ceiba", *Ceiba pentandra*, 68
"ceiba amarilla", *Hura crepitans*, 71
"ceiba blanca", *Hura crepitans*, 71
"ceiba de lana", *Ceiba pentandra*, 68
"ceiba de leche", *Hura crepitans*, 71
"ceiba habillo", *Hura crepitans*, 71
Ceiba pentandra (L.) Gaertner (Bombacaceae), 50, 68
"ceiba tolua", *Bombacopsis quinata*, 68
"ceiba yuca", *Ceiba pentandra*, 68
celulosa, 94
"cenícero", *Pseudosamanea guachapele*, 74
Cephaelis (Rubiaceae)
C. acuminata Karsten, 139
C. ipecacuanha (Brot.) Tussac, 139
ceras, composición química, 117
"cerezo de Río Grande", *Eugenia aggregata*, 60
"cerillo", *Symphonia globulifera*, 71
Ceroxylon alpinum Bonpl. ex DC. (Palmae), 117
Cespedezia spathulata (Ruiz & Pavón) Planchón (Ochnaceae), 244
"cetico", *Cecropia peltata*, 69
Cetraria islandica (L.) Acharius, 114
"chaca", *Bursera simaruba*, 69
Chamaedorea oblongata Mart. (Palmae), 249
"chancaro blanco", *Didymopanax morototoni*, 67
"chancarro"
Cecropia obtusifolia, 182
C. peltata, 69
"charapilla", *Dipteryx odorata*, 75
"charichuelo"
Rheedia macrophylla, 57
R. spp., 243
"charo", *Brosimum alicastrum*, 59
"chaulmogra", *Hydnocarpus kurzii*, 133
"chawari", *Caryocar glabrum*, 56
"cherimoya", *Annona cherimola*, 54
"chewstick", *Symphonia globulifera*, 71
"chiapas", *Sterculia apetala*, 78
"chicha", *Sterculia apetala*, 78
"chichillica", *Clarisia racemosa*, 76
chicle, 117, 135
"chicozapote"
Manilkara bidentata, 78
M. zapota, 26, 63
"chigo", *Campsiandra comosa*, 58
"chile"
Capsicum annuum, 14, 115, 141
C. frutescens, 14, 115, 141
"china root", *Smilax lanceolata*, 244
"chingale", *Jacaranda copaia*, 68
"chinine", *Persea schiedeana*, 58
"chinín", *Persea schiedeana*, 58
"chirimoya", *Annona cherimola* 54
"chirimoya cimarrona", *Annona glabra*, 54
"chirraca", *Myroxylon balsamum*, 75
Chlorophora tinctoria (L.) Gaud (Moraceae), 59, 76
"chocho", *Astrocaryum mexicanum*, 245, 246
Chondrodendron tomentosum Ruiz & Pavón (Menispermaceae), 99, 137
"chorote", *Anacardium occidentale*, 54
Christiana africana DC. (Tiliaceae), 51
Chrysanthemum cinerariifolium Vis. (Compositae), 118
Chrysophyllum (Sapotaceae)
C. cainito L., 63
C. venezuelanense (Pierre) Pennington, 244
"chulul", *Pouteria viridis*, 46
"chupón", *Pouteria procera*, 46
cicloisoprenomirceno, 143

cimarina, 129
"cimarrón"
Annona montana, 54
Rollinia mucosa, 54
cinamato de bencilo, 135
Cinchona (Rubiaceae)
C. calisaya Weddell, 139
C. officinalis L., 105, 139
C. pubescens Vahl, 139
cinconidina, 140
cineol, 137, 138, 143, 144
Cinnamomum (Lauraceae)
C. camphora (L.) J. Presl, 134
C. verum J. Presl, 115, 134
C. zeylanicum Nees como sinónimo de *C. verum*, 115, 134
"cirigüelo", *Spondias purpurea*, 54
"ciruela de huesito", *Spondias purpurea*, 54
"ciruelo jobo", *Spondias mombin*, 54, 66
cis-poliisopreno, 114
CITES, 31
Citrus aurantium L. (Rutaceae), 115
Clarisia (Moraceae)
C. biflora Ruiz & Pavón, 182, 184, 186
C. racemosa Ruiz & Pavón, 76
claros, definición, 152
clave, definición, 18
"clavo", *Syzygium aromaticum*, 115, 138
clinómetro, 172
clorofila, 118
"coca de Bolivia", *Erythroxylum coca*, 132
"coca de Colombia", *Erythroxylum novogranatense*, 132
cocaína, 99, 132, 133
"côco", *Cocos nucifera*, 60
"coco", *Cocos nucifera*, 60
"côco palmeira", *Orbignya oleifera*, 61
"cocobolo", *Dalbergia retusa*, 74
"cocomecca", *Dioscorea* sp., 244
"cocona", *Solanum sessiliflorum*, 63
"coconut", *Cocos nucifera*, 60
Cocos nucifera L. (Palmae), 60
codeína, 98
código internacional de nomenclatura botánica, 26
"cododefraile", *Thevetia peruviana*, 129
coeficiente de recuperación, 173
Coffea (Rubiaceae)
C. arabica L., 53
C. canephora Pierre ex Fröhner, 53
C. liberica W. Bull ex Hiern, 53
"cojune", *Orbignya cohune*, 61
"cola de gato", *Lippia myriocephala*, 182
colección
fértil, definición, 31
tipo, definición, 18
colesterol, 131
"colorado", *Guamia* sp., 182
colubrina, 136
colubrinol, 102
columbamina, 137
"cometura", *Mouriri guianensis*, 59
compuestos vegetales secundarios
anticancerígenos, 102
definición, 94
grupos importantes, 127
concepto
del tipo, 18
individualista de las especies, 49
condimentos, 115, 137, 138, 141, 142, 144
conespecífico, definición, 158
cono truncado, fórmula, 172
"conocaste", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"conopio", *Renealmia occidentalis*, 64
"contribo", *Aristolochia trilobata*, 243
"copachú", *Prioria copaifera*, 73
"copaia", *Jacaranda copaia*, 68
Copaifera officinalis (Jacq.) L. (Leguminosae), 116
Copernicia prunifera (Miller) H. Moore (Palmae), 117
corales, 95
"corcho"
Annona glabra, 54
Ochroma pyramidale, 68
Omphalea oleifera, 183
Cordia (Boraginaceae)
C. alliodora (Ruiz & Pavón) Oken, 69, 158, 180
C. goeldiana Huber, 69
C. megalantha Blake, 182, 185, 186
C. stellifera I.M. Johnston, 182, 185
"corozo", *Orbignya cohune*, 61
"cortez blanco", *Cybistax donnell-smithii*, 67
cortisona, 131
cosecha inicial de árboles, 231, 232
argumentos económicos en contra de la tala completa, 232
cosméticos, 117, 133, 135
costo de oportunidad, definición, 211
"cotopalo"
Talisia esculenta, 62
T. hexaphylla, 62
Couepia polyandra (H.B.K.) Rose (Chrysobalanaceae), 182, 185, 186, 188, 249
Couma (Apocynaceae)
C. macrocarpa Barb. Rodr., 47, 55, 67, 116, 242
C. utilis Muell. Arg., 116

"couramira", *Humiria balsamifera*, 57, 71
"courbaril", *Hymenaea courbaril*, 73
"cow tree", *Couma macrocarpa*, 67
"cow-wood", *Bagassa guianensis*, 76
"cozoiba"
Rheedia macrophylla, 57
R. madruno, 57
"crabwood", *Carapa guianensis*, 75
Crataeva tapia L. (Capparaceae), 182, 184
crecimiento máximo de árboles, 159
criptógamas, definición, 17
cromatografía de gases, 122, 124
Croton schiedeanus Schldl. (Euphorbiaceae), 182, 184, 186
"cuajilote", *Parmentiera edulis*, 55
"cuasia"
Picrasma excelsa, 141
Quassia amara, 141
cuasina, 141
"cucura", *Pourouma cecropiifolia*, 56
"cucutiriba", *Pouteria surumuensis*, 46
"cuilimbuco", *Andira inermis*, 74
cumarinas, 138, 142
"cumaru", *Dipteryx odorata*, 75
"cumarut", *Dipteryx odorata*, 75
"cumguaçu", *Couma macrocarpa*, 55, 67
Cupania glabra Sw. (Sapindaceae), 182, 184
"cupay", *Jacaranda copaia*, 68
"cupgo", *Pouteria butyrocarpa*, 46
"cupiúba", *Goupia glabra*, 70
"cupuaçu", *Theobroma grandiflorum*, 64
curare, 98, 99, 137
"cúrcuma"
Curcuma longa, 143
C. *xanthorrhiza* Roxb., 143
C. *zedoaria* (Christ.) Roscoe, 143
Curcuma (Zingiberaceae)
C. *longa* L., 143
C. *xanthorrhiza* Roxb., 143
C. *zedoaria* (Christm.) Roscoe, 143
"curucai", *Prioria copaifera*, 73
"curucuda", *Gnetum nodiflorum*, 57
"curujujul", *Bromelia plumieri*, 55
curvas de crecimiento, 176-179
cuscohigrina, 132
"cushilio cambiag", *Theobroma subincanum*, 244
"cutitiba", *Pouteria surumuensis*, 46
"cuyubi" *Poraqueiba sericea*, 57
Cybistax donnell-smithii (Rose) Seib. (Bignoniaceae), 67
Cymbopetalum baillonii R.E. Fries (Annonaceae), 182 184, 186
Cyrtocarpa velutinifolia (Cowan) Mitchell & Daly (Anacardiaceae), 25
C-toxiferina I, 136

D

Dacryodes excelsa Vahl (Burseraceae), 69, 153
"dagamillo", *Aegiphila costaricensis*, 182
Dalbergia (Leguminosae)
D. nigra Allem. ex Benth., 28, 64, 74
D. retusa Hemsl., 28, 74
D. stevensonii Standley, 28
D. tucurensis Donn. Smith, 156
DAP, definición, 40
"davillo", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"dedalera", *Digitalis* spp., 97
deforestación, 235-237
en varios países y regiones del mundo, 236
histórica en Connecticut (Estados Unidos), 237
"degame", *Calycophyllum candidissimum*, 77
degradación, 235
dehidrocavaína, 138
dehidroemetina, 139
dehidrometisticina, 138
"demerara groenhart", *Ocotea rodiaei*, 72
dendrómetro óptico de Barr & Stroud, 173
Dendropanax arboreus (L.) Decne. & Planchón (Araliaceae), 67, 182, 184, 186
depresión genética por consanguinidad, 161
Derris elliptica (Wallich) Benth. (Leguminosae), 118
desarrollo económico, 205, 237
descontar
cálculos, 213-223
concepto, 211-213
definición, 212
gráfica de la función de descuento, 214
resumen de fórmulas, 222
y malentendidos sobre el concepto, 213
diacetato de etinodiol, 131
Dialium guianense (Aublet) Sandw. (Leguminosae), 58, 72, 182, 184, 186, 188, 245, 246
diclorometano, 121
Dicorynia guianensis Amshoff (Leguminosae), 73
Dicotyledonae, en la jerarquía taxonómica, 17
Didymopanax morototoni (Aublet) Decne. & Planchón (Araliaceae), 67
diferenciación e integración, concepto y fórmulas, 216-218
Digitalis (Scrophulariaceae)
D. lanata Ehrh., 97
D. purpurea L., 97

digitoxina, 97
digoxina, 97
dihidrocavaína, 138
"dinde", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
Dioclea megacarpa Rolfe (Leguminosae), 118
dioica, definición, 160
Dioscorea (Dioscoreaceae)
D. composita Hemsl., 130
D. deltoidea Wall., 130
D. floribunda M. Martens & Galeotti, 130
D. sp., 244
D. spiculiflora Hemsl., 130
diosgenina, 131
Diospyros digyna Jacq. (Ebenaceae), 54, 56, 182, 185, 245, 246, 250
dipenteno, 137
Diplotropis purpurea (Rich.) Amshoff (Leguminosae), 74
Dipterocarpus costatus Gaertner f. (Dipterocarpaceae), 116
Dipteryx (Leguminosae)
D. odorata (Aublet) Willd., 75
D. panamensis (Pittier) Record & Mell, 156
discontinuidad de variación, definición, 20
distribución disyunta, definición, 51
distribuciones restringidas, razones, 50
disyunción, 51, 52
diversidad de plantas, 38
dosel, definición, 152
dotaciones, 199
"Douglas fir", *Pseudotsuga menziesii*, 176, 225
Drimia maritima (L.) Stearn (Liliaceae), 97
drogas crudas, definición, 110
"dukaballi", *Couma macrocarpa*, 67
Dussia mexicana (Standley) Harms (Leguminosae), 182, 185, 186
Dyera costulata (Miq.) Hook. f. (Apocynaceae), 117

E

e, como abreviación, 208
"ebo", *Dipteryx odorata*, 75
Ecclinusa sanguinolentum (Pierre) Baehni (Sapotaceae), 117
ecgonina, 132
economía
ambiental, 198
como ciencia, definición, 198
"efedra", *Ephedra distachya*, 131
efedrina, 132, 136
ejemplar de herbario
datos deseables en la etiqueta, 32
definición, 15
ejemplo de una etiqueta, 33
proceso de secado, 32
recolección, 30-34
tamaño estándar, 31
ejemplar (taxonómico), definición, 14-15
elemicina, 137
Elettaria cardamomum (L.) Maton (Zingiberaceae), 115
elipticina, 102
emetina, 102, 139
endemismo, 35, 49
"enea", *Ochroma pyramidale*, 68
enriquecimiento, 180, 251-252
Enterolobium cyclocarpum Griseb. (Leguminosae), 73
enzimas, 119
Ephedra distachya L. (Ephedraceae), 131
equilibrio de una población, definición, 167
"erejoeroe", *Hymenolobium excelsum*, 75
Erythricium salmonicolor (Berk. & Br.) Burdsall, 158
Erythroxylum (Erythroxylaceae)
E. coca Lam., 99, 132
E. novogranatense (Morris) Hieronymus, 99, 132
"escalán", *Beilschmiedia anay*, 58
esciófitas, definición, 152
Escobedia curialis (Vell.) Pennell (Scrophulariaceae), 118
"escorbilla", *Eugenia iniribensis*, 182
escuelas de taxonomía, 28
eserina, 135
esmilagenina, 131
espacio de crecimiento, definición, 158
esparteína, 120, 122, 125
"espave", *Anacardium excelsum*, 66
especie(s)
abreviatura para el autor, 17
concepto de la especie biológica, 15
concepto de la especie morfológica, 16
descubrimiento de una nueva especie, 27
en diferentes familias de angiospermas, 38, 40
endémica, definición, 35
nueva, 25-28
número de especies arbóreas por hectárea en diferentes países, 40
número de especies de angiospermas en varios países, 40
número en una hectárea en Los Tuxtlas, México, 186
número estimado de angiospermas, 38
patrones de distribución, 49-53
razones para distribuciones ristringidas, 50

espécimen (taxonómico), definición, 15
espectrometría de masas, 123, 125
estado de carácter, definición, 14
estándar de lo amargo, 136, 140
ésteres de forbol, 99
esteviósido, 115
"estoraque", *Myroxylon balsamum*, 75
estradiol, 131
estrategias de cosecha de árboles, 231-232
  argumentos económicos en contra de la tala completa, 232
estricnina, 136
estrofantina, 129
estructura estable de una población, definición, 167
estructuración de una población, definición, 167
etnobotánica
  definición, 9
  versus etnofarmacología, 103
etnofarmacología
  definición, 103
  versus etnobotánica, 103
etopósido, 100
"eucalipto", *Eucalyptus* spp., 137
Eucalyptus (Myrtaceae)
  E. deglupta Sm., 159
  E. fruticetorum F. Muell. ex Miq., 137
  E. globulus Labill., 64, 137
  E. grandis W. Hill ex Maiden, 159
  E. smithii R.T. Baker, 137
  E. urophylla S.T. Blake, 159
Eugenia (Myrtaceae)
  E. aggregata (Vell.) Kiaersk., 60
  E. dombeyi (Spreng.) Skeels, 60
  E. iniribensis P.E. Sánchez, 182, 185
  E. luschnathiana Klotzsch Berg, 60
  E. stipitata McVaugh, 60
eugenol, 134, 137, 138, 143
Euphorbia antisyphilitica Zucc. (Euphorbiaceae), 117
Euterpe (Palmae)
  E. oleracea Mart., 61
  E. precatoria Mart., 61
Euxylophora paraensis Huber (Rutaceae), 78
evaluación económica
  del bosque en Belice por sus plantas medicinales, 243-244
  de un bosque en la región amazónica de Ecuador, 242-245
  de un bosque mexicano, 245-250
  de un monocultivo, 252-253
exactitud, definición, 173
exceso de demanda o oferta, 202
extinción, y riesgo, 257

F

facilitación, definición, 158
"falso guachichile", Aphanante monoica, 182
familia, definición, 22
fanerógamas, definición, 17
Faramea occidentalis (L.) A. Rich. (Rubiaceae), 181, 182, 184
fármaco terminado
  definición, 111
  número en Alemania, 126
farmacognosia, definición, 9
Faustmann, 224
  fórmulas de, 225, 232
fecundidad, definición, 163
felandreno, 134, 138, 144
fertilidad, definición, 163
ficofita, definición, 38
Ficus (Moraceae)
  F. petenensis Lundell, 182, 185
  F. tecolutensis (Liebm.) Miq., 182, 185
  F. yoponensis Desv., 182, 185
"figueroa", *Carapa guianensis*, 75
"fireberoe", *Caryocar nuciferum*, 56
firmeza de la hoja, definición,160
fisonomía, definición, 35
fisostigmina, 98, 135
fitofármaco
  definición, 95
  ejemplos de Alemania, 126-144
fitogeografía
  definición, 14
  razones para estudiarla, 41-49
fitoterapia, definición, 96
flavonoides, 118, 138, 141, 142
  como grupo, 127
flora
  definición como publicación, 37
  ejemplos en Latinoamérica, 39
Flora Neotropica, 19, 20, 21
Foeniculum vulgare Miller (Apiaceae), 114
fórmulas de Faustmann, 225, 232
"frei jorge", *Cordia goeldiana*, 69
"freijó", *Cordia goeldiana*, 69
fructosa, 115
"fruta de bomba", *Carica papaya*, 56
"fruta de manteiga", *Pouteria butyrocarpa*, 46
fruticultura, literatura, 53
fruto(s)
  comestibles de América tropical, 53-64
  comestibles en un bosque en Los Tuxtlas, México, 182, 183

definición, 14
función de e, 208
"fustic", *Chlorophora tinctoria*, 76

G

galactosa, 139
galón, definición, 263
ganadería, 249
Garcinia (Guttiferae)
G. morella Desr., 116
G. sp., 244
garrocha, definición, 31
"gateado"
Astronium graveolens, 66
Brosimum guianense, 76
"gatillo", *Ochroma pyramidale*, 68
género(s)
definición, 22
de la región amazónica, 42
número estimado de angiospermae, 38
geneserina, 135
"genicero", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"genip", *Melicoccus bijugatus*, 62
"genipa", *Genipa americana*, 77
Genipa americana L. (Rubiaceae), 62, 77, 182, 185
"genipapeiro", *Genipa americana*, 62, 77
"genipapinho", *Alibertia edulis*, 62
gimnospermas, definición, 38
Ginkgo biloba L. (Ginkgoaceae), 51
glicéridos, 133
glicirricina, 115
glucocorticoides, 131
glucosa, 94, 115, 139
glucósidos
cardiacos, 97, 129
como grupo, 127
Glycyrrhiza glabra L. (Leguminosae), 114, 115
Gmelina arborea Roxb. (Verbenaceae), 64, 243
Gnetum nodiflorum Brongn. (Gnetaceae), 57
"goebaja", *Jacaranda copaia*, 68
"goiaba", *Psidium guajava*, 60
"goiti", *Pouteria surumuensis*, 46
gomas, composición química, 117
"gommier", *Dacryodes excelsa*, 69
"Gonçalo Alves", *Astronium graveolens*, 66
gosipol, 105
Gossypiospermum praecox P. Wilson como sinónimo de *Casearia praecox*, 71
Gossypium hirsutum Cav. (Malvaceae), 105
Goupia glabra Aublet (Celastraceae), 70
"goupie", *Goupia glabra*, 70
"granada", *Punica granatum*, 139
"granadilla dulce", *Passiflora ligularis*, 61
"granadillo", *Dalbergia retusa*, 74
"grand sapotillier", *Pouteria sapota*, 46
"graveola", *Annona muricata*, 54
Gray Index, 26
Grias (Lecythidaceae)
G. neuberthii J.F. Macbr., 244
G. peruviana Miers, 163, 166, 168
"grignon", *Bucida buceras*, 70
"grumichama", *Eugenia dombeyi*, 60
"guacamo", *Pouteria campechiana*, 46
"guachilote", *Parmentiera edulis*, 55
"guacta", *Pachira aquatica*, 55
"guaimaro macho", *Couma macrocarpa*, 67
"guajilote", *Parmentiera edulis*, 55
"guajinicuil", *Inga edulis*, 58
"gualandai", *Jacaranda copaia*, 68
Guamia sp. (Annonaceae), 181, 182, 184, 186
"guamo", *Campsiandra comosa*, 58
"guamo bejuco", *Inga edulis*, 58
"guamo cajero", *Inga spectabilis*, 58
"guamo machete", *Inga spectabilis*, 58
"guanábana", *Annona muricata*, 28, 54
"guanábano"
Annona glabra, 54
A. montana, 54
A. muricata, 54
"guanacaste", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"guanandi", *Calophyllum brasiliense*, 71
"guapaque", *Dialium guianense*, 58, 72
"guapetate", *Trichospermum mexicanum*, 183
"guapinol", *Hymenaea courbaril*, 73
"guaraná", *Paullinia cupana*, 141
Guarea (Meliaceae)
G. glabra Vahl, 182, 184, 186
G. grandifolia A. DC., 182, 184, 186
"guaritá", *Astronium graveolens*, 66
"guariúba", *Clarisia racemosa*, 76
"guarumbo", *Cecropia peltata*, 69
"guarumo", *Cecropia peltata*, 69
"guasango", *Astronium graveolens*, 66
"guava", *Psidium guajava*, 60
"guaya", *Talisia oliviformis*, 62
"guaya de monte", *Ampelocera hottlei*, 182, 249
"guayaba", *Psidium guajava*, 60
"guayabo"
Calycophyllum candidissimum, 77
Psidium guajava, 60
"guayabo agrio", *Psidium acutangulum*, 60
"guayabo de agua", *Psidium friedrichsthalianum*, 60

"guayabo león", *Terminalia amazonia*, 70
"guayacán", *Bulnesia arborea*, 78
"Guayana", *Goupia glabra*, 70
"guiáro", *Pterogyne nitens*, 73
"gumbolimbo", *Bursera simaruba*, 69, 244
"gurguri", *Mouriri guianensis*, 59
"gusanero", *Astronium graveolens*, 66
"gutapercha", *Palaquium gutta*, 117
g-estrofantina, 129

H

"haba", *Hura crepitans*, 71
"haba de Calabar", *Physostigma venenosum*, 135
haces de luz, definición, 152
"haiari", *Alexa imperatricis*, 74
"haiariballi", *Alexa imperatricis*, 74
Hampea nutricia Fryx (Malvaceae), 182, 185
"hauso", *Dialium guianense*, 58, 72
"haya prieta", *Oxandra lanceolata*, 67
Helicostylis tomentosa (Poepp. & Endl.) Rusby (Moraceae), 76
heliófitas, definición, 152
herbario(s), 30
definición, 15, 18
localización de algunos herbarios, 78-87
manuales, 30-34
heterocigosis, definición, 161
Hevea (Euphorbiaceae)
H. brasiliensis (A. Juss.) Muell. Arg., 70, 114, 116, 158, 159
H. quianensis Aubl., 242
hidroxicuasina, 141
"higuerilla", *Ricinus communis*, 132
"hobo", *Spondias mombin*, 54, 66
"hoeboe", *Spondias mombin*, 54, 66
"hoera", *Caryocar nuciferum*, 56
"hog plum", *Spondias mombin*, 66
"hoja de pepe", *Crataeva tapia*, 182
holártica, delimitación, 38
Holdridge, zonas de vida del mundo, 36
Holopyxidium jarana Huher ex Ducke como sinónimo de *Lecythis lurida*, 72
holotipo, definición, 18
homeopatía, definición y crítica, 96
Homo sapiens L., 17
homocigosis, definición, 161
homoharringtonina, 102
"Honduras mahogany", *Swietenia macrophylla*, 75
hongos micorrízicos, 157
hormigas cortadoras de hojas, 160
hormonas esteroidales, 131
"houmiri", *Humiria balsamifera*, 57, 71
"huacamayo chico", *Pseudosamanea guachapele*, 74
"huajilote", *Parmentiera edulis*, 55
"huambula", *Minquartia guianensis*, 244
"huassai"
Euterpe oleracea, 61
E. precatoria, 61
"huevo de mono", *Cymbopetalum baillonii*, 182
"huevo vegetal", *Pouteria campechiana*, 63
"huevos de burro", *Stemmadenia donnell-smithii*, 183
"huicame", *Pouteria campechiana*, 46
"huitillo"
Alibertia edulis, 62
Dialium guianense, 58, 72
"huitoc", *Genipa americana*, 62, 77
"humari", *Poraqueiba sericea*, 57
Humiria balsamifera (Aublet) St. Hil. (Humiriaceae), 57, 71
Humulus lupulus L. (Cannabidaceae), 141
"hura", *Hura crepitans*, 71
Hura crepitans L. (Euphorbiaceae), 71
Hydnocarpus kurzii (King) Warb. (Flacourtiaceae), 133
Hymenaea courbaril L. (Leguminosae), 73, 116
Hymenolobium excelsum Ducke (Leguminosae), 75
Hypsipyla robusta, 158

I

"iacaica", *Cedrelinga catenaeformis*, 73
"ibirara", *Pterogyne nitens*, 73
"ibiraró", *Pterogyne nitens*, 73
"imbaúba", *Cecropia peltata*, 69
incertidumbre, 238
incienso, 116
"incienso", *Myroxylon balsamum*, 75
Index Kewensis, 26
índice de sitio, definición, 172
índicina-N-óxido, 102
indígenas, y proyectos de desarrollo, 237
inflación, definición, 207
Inga (Leguminosae)
I. afinidad *spectabilis* (Vahl) Willd., 244
I. edulis Mart., 58
I. sp., 242
I. spectabilis (Vahl) Willd., 58
"ingá", *Inga edulis*, 58
ingeniería genética, 119
"ingi notto", *Caryocar nuciferum*, 56
ingreso (neto), 206

"inharé", *Helicostylis tomentosa*, 76
"inhaúba", *Lecythis lurida*, 72
"injerto", *Pouteria viridis*, 46
insecticida, 142
"insira", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
integración y diferenciación, concepto y fórmulas, 216-218
inversión e ingreso, 206-211
ion molecular, en espectrometría de masas, 123
"ipê peroba", *Paratecoma peroba*, 68
isopeletierina, 139
isopilocarpina, 141
isopreno, 127
isoprenoides, 127
isotipo, definición, 18
"ituaí", *Gnetum nodiflorum*, 57

J

"jabillo", *Hura crepitans*, 71
"jaboncillo", *Sapindus saponaria*, 183
"jaborandi", *Pilocarpus jaborandi*, 140
"jaboticaba amarilla", *Myrciaria floribunda*, 60
"jacarandá", *Dalbergia nigra*, 74
Jacaranda copaia D. Don (Bignoniaceae), 67
Jacaratia dolichaula (J.D. Smith) Woodson (Caricaceae), 182, 185, 186
"jacareúba", *Calophyllum brasiliense*, 71
"jagua", *Genipa americana*, 77
"jagua azul", *Genipa americana*, 62, 77
"jarana", *Lecythis lurida*, 72
"jarina", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
Jateorhiza palmata (Lam.) Miers (Menispermaceae), 137
"jatobá", *Hymenaea courbaril*, 73
jatrorrizina, 137
"jengibre", *Zingiber officinale*, 115, 143
jerarquía taxonónomica, 17
Jessenia bataua (Mart.) Burret (Palmae), 47, 48, 61, 242, 244
"jeve", *Hevea brasiliensis*, 70
"jicarilla", *Amphitecna tuxtlensis*, 182
"jigua", *Caryocar glabrum*, 56
"jinicuil", *Inga edulis*, 58
"jitomate", *Lycopersicon* spp., 14
"jobito", *Spondias mombin*, 54, 66
"jobo"
  Spondias mombin, 54, 66
  S. radlkoferi, 183
"jocote", *Spondias mombin*, 54, 66
"jubía", *Bertholletia excelsa*, 58, 72
"jucaro", *Bucida buceras*, 70
"jutaí"
  Dialium guianense, 72
  Hymenaea courbaril, 73
"jutaípeba", *Dialium guianense*, 58, 72

K

"kabukalli", *Goupia glabra*, 70
"kakixo", *Pouteria campechiana*, 46
"kanixte", *Pouteria campechiana*, 46
"kapok tree", *Ceiba pentandra*, 68
"kava-kava", *Piper methysticum*, 138
"kawanari", *Hymenaea courbaril*, 73
"kiraru", *Alibertia edulis*, 62
"kola", *Caryocar nuciferum*, 56
"kopie", *Goupia glabra*, 70
Krameria (Krameriaceae)
  K. lappacea (Dombey) Burdet & Simpson, 133
  K. triandra Ruiz & Pavón como sinónimo de *K. lappacea*, 133
k-estrofantina, 129

L

lacas, 116
"lacre rosado", *Anacardium occidentale*, 54
"lana", *Ochroma pyramidale*, 68
"lanza huayo", *Mouriri guianensis*, 59
lapachol, 102
"lara", *Pseudosamanea guachapele*, 74
"laurel", *Nectandra ambigens*, 72
"laurel aguacatillo", *Nectandra lundellii*, 182
"laurel babasco", *Licaria velutina*, 182
"laurel blanco", *Cordia alliodora*, 69
"laurel chilpatillo", *Nectandra ambigens*, 182
"laurel San Martín", *Nectandra albiflora*, 182
"leche caspi", *Couma macrocarpa*, 67
"leche de María", *Calophyllum brasiliense*, 71
"leche huayo", *Couma macrocarpa*, 55, 242
"leche perra", *Helicostylis tomentosa*, 76
"lecherillo"
  Clarisa biflora, 182
  C. racemosa, 76
"lechoso", *Pouteria baehniana*, 46
Lecythis lurida (Miers) Mori (Lecythidaceae), 72
"leertouwarsboom", *Bucida buceras*, 70
"lemonwood", *Calycophyllum candidissimum*, 77
Leopoldinia piassaba Wallace ex Archer (Palmae), 50
"letterwood", *Brosimum guianense*, 76
levonorgestrel, 131

ley de la ventaja comparativa, 206
"lialiadan koleroe", *Hymenolobium excelsum*, 75
libra, definición, 263
Licania (Chrysobalanaceae)
L. cymosa Fritsch, 52
L. platypus (Hemsl.) Fritsch, 56
L. velutina van der Werff (Lauraceae), 182, 184
lignanos, 116
"limgorana", *Euxylophora paraensis*, 78
"limoncillo", *Rheedia edulis*, 183, 249
limonina, 115
linalol, 134
Linnaeus, Carolus (= Carlos Linneo = Carl von Linné), 17
Lippia myriocephala Schldl. & Cham. (Verbenaceae), 182, 185
listado(s) florístico(s)
definición, 37
ejemplos para Latinoamérica, 39
literatura
sobre etnofarmacología, 108
sobre fruticultura, 53
sobre maderas en América tropical, 64-64
lixiviación, definición, 154
"llanero", *Grias peruviana*, 163
"locust", *Hymenaea courbaril*, 73
logaritmo natural, 208
"logma", *Pouteria lucuma*, 46
Lonchocarpus (Leguminosae)
L. cruentus Lundell, 182, 184, 186
L. guatemalensis Benth., 182, 185
L. nicou (Aublet) DC., 118
L. urucu Killip & Smith, 118
L. utilis A.C. Smith, 118
loperamida, 98
"louma", *Pouteria lucuma*, 46
"louro", *Cordia alliodora*, 69
"lucuma", *Pouteria lucuma*, 46
"lugma", *Pouteria lucuma*, 46
"lulo", *Solanum quitoense*, 63
"lulo grande", *Solanum sessiliflorum*, 63
Lunania mexicana Brandegee (Flacourtiaceae), 182, 185
lupanina, 120
"lúpulus", *Humulus lupulus*, 141
L-canavanina, 118
L., como abreviación, 17

M

"macagüita", *Aiphanes aculeata*, 60
"macambo", *Theobroma bicolor*, 64
"macanilla", *Bactris gasipaes*, 60
"maçaranduba", *Manilkara bidentata*, 78
"machare", *Symphonia globulifera*, 71
"macica", *Brosimum alicastrum*, 59
Maclura tinctoria (L.) D. Don ex Steud. como sinónimo de *Chlorophora tinctoria*, 59
"maco"
Melicoccus bijugatus, 62
Pouteria lucuma, 46
madera(s)
blandas, definición, 232
densidad, 65, 66
duras, definición, 232
en América tropical, 66-78
en un bosque en Los Tuxtlas, México, 182, 183
literatura sobre maderas en América tropical, 64-65
resistencia máxima al aplastamiento a 12% de humedad, 65, 66
"madi", *Poraqueiba sericea*, 57
"madroño", *Rheedia madruno*, 57
"madura verde", *Pouteria caimito*, 46, 63
maitansina, 102
"maíz", *Zea mays*, 248
"majagüillo", *Muntingia calabura*, 56
"majo", *Jessenia bataua*, 61
"makararo", *Pouteria surumuensis*, 46
"mamba", *Pseudolmedia oxyphyllaria*, 59
"mamee ciruela", *Pouteria campechiana*, 46
"mamey"
Mammea americana, 57
Pouteria fossicola, 46
P. sapota, 35, 46, 63, 180, 183, 188, 245, 246
"mamey apple", *Pouteria sapota*, 46
"mamey colorado", *Pouteria sapota*, 46
"mamey de injerto", *Pouteria fossicola*, 46
"mamey verde", *Pouteria fossicola*, 46
"mamgo", *Carica papaya*, 56
Mammea americana L. (Guttiferae), 57
"mammee sapota", *Pouteria sapota*, 46
"mamón", *Melicoccus bijugatus*, 62
"mamón cutuplís", *Talisia hexaphylla*, 62
"mamoncillo", *Melicoccus bijugatus*, 62
"manaca"
Euterpe oleracea, 61
E. precatoria, 61
"manash", *Pseudolmedia oxyphyllaria*, 59
"manchinga", *Brosimum alicastrum*, 59
"mandioqueira", *Didymopanax morototoni*, 67
manejo forestal
análisis hipotético de diferentes estrategias, 188-191
competencia entre los árboles, 157-158

curvas de crecimiento, 176-179
dispersión de polen y semillas, 160-162
evaluación económica de un monocultivo, 252-253
extinción, 170-172, 255-257
frutos comestibles en una hectárea en Veracruz, México, 182, 183
impacto en un modelo de población, 169-170
luz, 152-153
maderas en una hectárea en Veracruz, México, 182, 183
manejo de árboles de distintas edades, 157
manejo de nodriza, 180
medición de troncos de árboles, 172-176
plagas, 158-160
sistema de árboles nodriza, 157
suelo, 154-157
"mangalpa cachig", *Inga* afinidad *spectabilis*, 244
Mangifera indica L. (Anacardiaceae), 53
"mangle colorado", *Rhizophora mangle*, 77
"mangle dulce", *Rhizophora mangle*, 77
"mangle rojo", *Rhizophora mangle*, 77
"mango", *Mangifera indica*, 53
"mangue sapoteiro", *Rhizophora mangle*, 77
"mani"
Arachis hypogaea, 59
Symphonia globulifera, 71
Manicaria saccifera Gaertn. (Palmae), 61
Manilkara (Sapotaceae)
M. bidentata (A. de Candolle) Chevalier, 78, 117
M. elata (Allem. ex Miq.) Monachino, 117
M. grisebachii (Pierre) Dubard como sinónimo de *M. zapota*, 26
M. quianensis Aubl., 242
M. zapota (L.) van Royen, 26, 63, 117
Manilkariopsis meridionalis (Gilly) Lundell como sinónimo de
"manni", *Symphonia globulifera*, 71
"mano de oso", *Dendropanax arboreus*, 67
"manoco", *Oenocarpus bacaba*, 61
"mante", *Pouteria campechiana*, 46
manual, definición, 37
"manzana de corona", *Bellucia grossularioides*, 59
"manzana de mayo", *Podophyllum peltatum*, 100
"manzana de México", *Casimiroa edulis*, 62
"manzanilla", *Matricaria recutita*, 95
"mapalapa", *Hevea brasiliensis*, 70
mapas de vegetación, 37
"mapati", *Pourouma cecropiifolia*, 56
"maquilla", *Andira inermis*, 74
"mara", *Swietenia macrophylla*, 75
"Maracaibo boxwood", *Casearia praecox*, 71
"Maracaibo lignum-vitae", *Bulnesia arborea*, 78
"maracuyá", *Passiflora edulis*, 61
"marañón"
Anacardium excelsum, 66
A. occidentale, 54
"marapa", *Spondias mombin*, 54, 66
marginal, concepto, 227
"Maria mole", *Dendropanax arboreus*, 67
Marsdenia cundurango Reichenb. f. (Asclepiadaceae), 130
"marupá", *Simaruba amara*, 78
"massaranduba"
Manilkara bidentata, 78
M. quianensis, 242
"massaranduba de várzea", *Pouteria procera*, 46
Matricaria recutita L. (Compositae), 95
Mauritia flexuosa L.f. (Palmae), 61, 242
Mauritiella peruviana (Becc.) Burret (Palmae), 243
"maya", *Bromelia chrysantha*, 55
"mayflower", *Tabebuia rosea*, 68
Maytenus schippii Lundell (Celastraceae), 182, 184
"mazabalo", *Carapa guianensis*, 75
medicina
científica, definición, 95
occidental en el sentido de medicina científica, 95
medición, de troncos de árboles, 172-176
"melaito", *Pouteria caimito*, 46
"melancieira", *Alexa imperatricis*, 74
Melicoccus bijugatus Jacq. (Sapindaceae), 62
"menta", *Mentha* x *piperita*, 95, 111
Mentha x *piperita* L. (Labiatae), 95, 111
mercado
definición, 198
libre, y precios, 203
"merey", *Anacardium occidentale*, 54
"mermelada de cachorro", *Alibertia edulis*, 62
metilisopeletierina, 139
micofita, definición, 38
Microcyclus ulei (Hennings) Muller & von Arx, 159
microeconomía, definición, 198
"mierda de loro", *Lunania mexicana*, 182
"mijao", *Anacardium excelsum*, 66
milla, definición, 263
"milpesos", *Oenocarpus bacaba*, 61
Mimusops grisebachii Pierre como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26
Minquartia guianensis Aublet (Olacaceae), 244
"mirindiba", *Buchenavia capitata*, 70
"mirística", *Myristica fragrans*, 137
miristicina, 137
modelo
definición, 163
de deforestación, 238-239

de un cambio proporcional continuo, 208
"mogno", *Swietenia macrophylla*, 75
"monkeypod", *Pseudosamanea guachapele*, 74
monocultivo
versus bosque diverso de especies, 252-253
y evaluación económico, 252-253
y plagas, 159
monografía
farmacéutica, 111
médico-farmacológica, 111
taxonómica, 18
monoica, definición, 161
"mora amarilla", *Chlorophora tinctoria*, 76
"moral", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
morfina, 97, 98
morfo, definición, 16
"moriche", *Mauritia flexuosa*, 61
"morototó", *Didymopanax morototoni*, 67
"morroque"
Euterpe oleracea, 61
E. precatoria, 61
Mortoniodendron guatemalense Standley & Steyerm. (Tiliaceae), 182, 184, 186
Mouriri guianensis Aublet (Melastomataceae), 59
"muchite", *Pithecellobium hymenaefolium*, 183
"mucuri", *Pouteria procera*, 46
"muérdagos", especies de la familia Loranthaceae, 158
muestra (taxonómica), definición, 15
"muirapenima", *Brosimum guianense*, 76
"muira-tinga", *Helicostylis tomentosa*, 76
"mulato", *Bursera simaruba*, 69
Muntingia calabura L. (Elaeocarpaceae), 56
"muramo", *Prioria copaifera*, 73
Musa x *paradisiaca* L. (Musaceae), 53
muscarina, 98
mutación, definición, 161
mutualismo, definición, 158
Myrciaria (Myrtaceae)
M. dubia (H.B.K.) McVaugh, 60
M. floribunda (West et Willd.) Berg, 60
Myrica cerifera L. (Myricaceae), 117
Myristica fragrans Houtt. (Myristicaceae), 115, 137
Myroxylon balsamum (L.) Harms (Leguminosae), 75, 116, 134, 244

N

"nabal", *Myroxylon balsamum*, 75
"nagua blanca", *Dendropanax arboreus*, 67
"naranja", *Citrus aurantium*, 115
"naranjilla", *Solanum quitoense*, 63
"naranjillo", *Orthion oblanceolatum*, 183
"naranjo podrido", *Parahancornia peruviana*, 243
"nargusta", *Terminalia amazonia*, 70
naringina, 115
"narraco", *Pouteria campechiana*, 46
"nazareno", *Aspidosperma megalocarpon*, 182
Nectandra (Lauraceae)
N. albiflora Lundell ex Cham., 182, 185
N. ambigens (Blake) Allen, 42, 72, 181, 182, 184, 186
N. lundellii C.K. Allen, 182, 185
Neea psychotrioides J.D. Smith (Nyctaginaceae), 183, 185
"negrito", *Simaruba glauca*, 244
neocuasina, 141
neohesperidina, 115
neotrópico, delimitación, 38
neta, definición, 206
nicho ecológico, definición, 158
Nicotiana (Solanaceae)
N. latissima Mill., 142
N. rustica L., 142
N. tabacum L., 119, 142
nicotina, 119, 142
"nigüito", *Muntingia calabura*, 56
"nisperillo", *Pouteria campechiana*, 46
Nispero achras (Miller) Aubréville como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26
"níspero"
Bellucia grossularioides, 59
Manilkara bidentata, 78
Manilkara zapota, 63
Pouteria baehniana, 46
"nogal de Barquisimeto", *Caryodendron orinocense*, 57
nombre científico, estándar, 17
"nompi", *Tapirira mexicana*, 183
"non", *Annona squamosa*, 54
norbixin, 118
norgestrel, 131
nornicotina, 142
noscapina, 98
"nuez de Brasil", *Bertholletia excelsa*, 16, 58, 72
"nuez de Pará", *Bertholletia excelsa*, 58, 72
"nuez moscada", *Myristica fragrans*, 115
"nuez vómica", *Strychnos nux-vomica*, 136
número de especies
arbóreas por hectárea en diferentes partes del mundo, 40
de angiospermas en varios países, 40
y distribución de las familias, 40
número de Euler, 208

O

Ochroma (Bombacaceae)
O. lagopus Sw. como sinónimo de *O. pyramidale*, 68
O. pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb., 68
ocloespecies, definición, 22
"ocote pine", *Pinus oocarpa*, 77
Ocotea (Lauraceae)
O. dendrodaphne como sinónimo de *Trichilia moschata*, 186
O. dendrodaphne Mez como sinónimo de *Licaria velutina*, 182
O. rodiaei (Schomb.) Mez, 72
"ocotillo", *Pouteria campechiana*, 46
"ocú", *Calophyllum brasiliense*, 71
Oenocarpus (Palmae)
O. bacaba Mart., 61
O. distichus Mart., 61
O. mapora Karst., 47, 243
"oití", *Clarisia racemosa*, 76
"ojite", *Brosimum alicastrum*, 59
"ojo de buey", *Pouteria baehniana*, 46
"ojoche", *Brosimum alicastrum*, 59, 180, 182
"olivo", *Dendropanax arboreus*, 182
"olivo negro", *Buchenavia capitata*, 70
"oloroso", *Humiria balsamifera*, 57, 71
"olozapote", *Couepia polyandra*, 182, 249
Omphalea oleifera Hemsl. (Euphorbiaceae), 159, 183, 184
onza, definición, 263
opio, 97
Orbignya (Palmae)
O. cohune (Mart.) Standley, 61
O. eichleri Drude, 61
O. oleifera Burret, 61
O. phalerata Mart., 61
"orejero", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"orejón", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"orey", *Campnosperma panamensis*, 66
ormosanina, 120
Ormosia (Leguminosae)
O. macrocalyx Ducke, 17, 50, 121, 123
O. oaxacana Rudd, 34, 50
O. panamensis Benth., 52
"ornillo", *Cedrelinga catenaeformis*, 73
Orthion oblanceolatum Lundell (Violaceae), 183, 184, 186
Orthosiphon aristatus (Blume) Miq. (Labiatae), 113, 133
"ox", *Brosimum alicastrum*, 59
*Oxandra lanceo*lata (Sw.) Baillon (Annonaceae), 67
"oxhorn bucida", *Bucida buceras*, 70

P

Pachira (Bombacaceae)
P. aquatica Aublet, 55
P. macrocarpa Walp., 55
"pajura", *Pouteria speciosa*, 46
"pajura de Obidos", *Pouteria speciosa*, 46
"pala vaca", *Inga edulis*, 58
"palanco", *Brosimum alicastrum*, 59
Palaquium gutta (Hook.) Baillon (Sapotaceae), 117
paleotrópico, delimitación, 38
"paleta", *Dialium guianense*, 58, 72
"palissandre du Brásil", *Dalbergia nigra*, 74
palmatina, 137
"palmito"
Euterpe oleracea, 61
E. precatoria, 61
"palo amarillo", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
"palo blanco", *Cybistax donnell*-smithii, 67
"palo chino", *Bursera simaruba*, 69
"palo colorado", *Genipa americana*, 62, 77
"palo de agua", *Pachira aquatica*, 55
"palo de balsa", *Ochroma pyramidale*, 68
"palo de bálsamo", *Myroxylon balsamum*, 75
"palo de boya", *Pachira aquatica*, 55
"palo de Brasil", *Caesalpinia echinata*, 41, 118
"palo de burra", *Dussia mexicana*, 182
"palo de cera", *Astronium graveolens*, 66
"palo de culebra", *Astronium graveolens*, 66
"palo de gusano", *Lonchocarpus guatemalensis*, 182
"palo de melaza", *Saurauia yasicae*, 183
"palo de Nopo", *Cordia stellifera*, 182
"palo de nuez", *Caryodendron orinocense*, 57
"palo de ocú", *Calophyllum brasiliense*, 182
"palo de oro", *Brosimum guianense*, 76
"palo de picho", *Vatairea lundellii*, 183
"palo de ratón", *Allophylus campostachys*, 182
"palo mulato", *Bursera simaruba*, 182
"palo santo", *Dendropanax arboreus*, 67
"palta", *Persea americana*, 58
"pama", *Dendropanax arboreus*, 67
panamina, 120
pancuronio, 136
pâo do mato", *Pouteria butyrocarpa*, 46
Papaver somniferum L. (Papaveraceae), 98
"papaya", *Carica papaya*, 53, 56
"papaya de monte", *Jacaratia dolichaula*, 182
"papayito de los Andes", *Carica pubescens*, 56
"papayola", *Carica pubescens*, 56
"paque", *Dialium guianense*, 58, 72, 245, 246
"paquis", *Dialium guianense*, 182
"Pará angelim", *Hymenolobium excelsum*, 75

Parahancornia peruviana Monach. (Apocynaceae), 47, 243
"parajuba", *Dialium guianense*, 58, 72
"paramán", *Symphonia globulifera*, 71
parámetro, definición, 163
Paratecoma peroba (Rec.) Kuhlm. (Bignoniaceae), 68
"para-pará", *Jacaranda copaia*, 68
"Pará-rubber tree", *Hevea brasiliensis*, 70
"parcha de culebra", *Passiflora laurifolia*, 61
"parchita amarilla", *Passiflora ligularis*, 61
"parchita maracuy ", *Passiflora edulis*, 61
"pardillo", *Cordia alliodora*, 69
"pardillo negro", *Terminalia amazonia*, 70
pares de especies, 52
"paricá", *Cedrelinga catenaeformis*, 73
Parinari montana Aublet (Chrysobalanaceae), 51
Parmentiera edulis DC. (Bignoniaceae), 55
"paroien", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"parota", *Enterolobium cyclocarpum*, 73
"partridge wood", *Andira inermis*, 74
"pasionaria", *Passiflora incarnata*, 138
Passiflora (Passifloraceae)
P. edulis Sims, 61
P. incarnata L., 138
P. laurifolia L., 61
P. ligularis Juss., 61
"patauá", *Jessenia bataua*, 61
"patuhucito", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"patula pine", *Pinus patula*, 77
"pau amarelo", *Euxylophora paraensis*, 78
"pau da tapera", *Spondias mombin*, 54, 66
"pau de balsa", *Ochroma pyramidale*, 68
"pau fava", *Pterogyne nitens*, 73
"pau-mulato branco", *Terminalia amazonia*, 70
"pau setim", *Euxylophora paraensis*, 78
"paují", *Anacardium occidentale*, 54
Paullinia cupana H.B.K. (Sapindaceae), 141
Pausinystalia johimbe (Schumann) Beille (Rubiaceae), 140
Payena leerii (Teijsm. & Binnend.) Kurz (Sapotaceae), 117
"peanut", *Arachis hypogaea*, 59
"pejibaye", *Bactris gasipaes*, 60
pelos de plantas, tipos, 25
pentazocina, 98
"peonía", *Diplotropis purpurea*, 74
"pequiá setim", *Euxylophora paraensis*, 78
"pequiarana", *Caryocar glabrum*, 56
perfumes, 116
"perillo negro", *Couma macrocarpa*, 67
"periquiteira", *Buchenavia capitata*, 70
"peroba branca", *Paratecoma peroba*, 68
"peroba do campo", *Paratecoma peroba*, 68
"peroba manchada", *Paratecoma peroba*, 68
Persea (Lauraceae)
P. americana Mill., 17, 53, 58
P. schiedeana Nees, 58
perturbación, definición, 153
peruvósido, 130
Peumus boldus Molina (Monimiaceae), 137
pH, definición, 154
Phenakospermum guyanensis (L.C. Rich) Endl. ex Miq. (Musaceae), 59
Phlebodium decumanum (Willd.) J. Smith (Polypodiaceae), 244
Physostigma venenosum Balf. (Leguminosae), 98, 135
"piassava", *Orbignya eichleri*, 61
Picrasma excelsa (Swartz) Planchón (Simaroubaceae), 141
pie, definición, 263
pie-tabla, definición, 173, 263
"pijiguao", *Bactris gasipaes*, 60
"pijuayo", *Bactris gasipaes*, 60
pilocarpina, 135, 141
Pilocarpus (Rutaceae)
P. jaborandi Holmes, 140
P. microphyllus Stapf, 140
P. pennatifolius Lemaire, 140
P. racemosus Vahl, 140
Pimenta dioica (L.) Merr. (Myrtaceae), 115
"pimienta gorda", *Pimenta dioica*, 115
"pimienta negra", *Piper nigrum*, 94, 138
"pineapple", *Ananas comosus*, 55
pineno, 134, 137
"pino"
Pinus caribaea, 77
P. oocarpa, 77
P. patula, 77
pinturas, 116
Pinus (Pinaceae)
P. caribaea Morelet, 64, 77
P. merkusii Jungh. & de Vr., 155
P. oocarpa Schiede, 77
P. patula Schldl. & Cham., 77
"piña", *Ananas comosus*, 53, 55
"piña silvestre", *Ananas parguazensis*, 55
"pionche", *Sideroxylon portoricense*, 183
Piper (Piperaceae)
P. amalago L., 183, 184
P. methysticum Forster f., 138
P. nigrum L., 94, 115, 138
piperidinas, 142
piperina, 138
Piratinera guianensis Aublet como sinónimo de

Brosimum guianense, 76
piretrinas, 118
Pithecellobium (Leguminosae)
P. hymenaefolium (Kunth) Benth., 183, 185
P. samanigua Pittier como sinónimo de *Pseudosamanea guachapele*, 74
"pitomba"
Eugenia luschnathiana, 60
Melicoccus bijugatus, 62
Talisia esculenta, 62
"pitón"
Grias neuberthii, 244
G. peruviana, 163
plagas
definición, 158
y monocultivos, 159
Plantago lanceolata L. (Plantaginaceae), 114
plantas
con compuestos con sabor y aroma, 115
con compuestos insecticidas y otras toxinas, 118-119
con resinas y químicos técnicos, 115-118
con semillas, 38
ornamentales, 249
sin semillas, 38
vasculares, en la jerarquía taxonómica, 17
plantas medicinales
antihelmínticos, 104, 141
aprobaciones estandarizadas, 112
cantidades necesarias para el análisis químico y farmacológico, 122
como afrodisiacos, 140
como carminativos, 139, 142
como dentífricos, 139
como diuréticos, 113, 133, 137
como eméticos en niños, 139
como estimulantes, 143
como laxantes, 133, 134, 137
como sedantes, 129
como sedantes y analgésicos, 139
con compuestos anticancerígenos, 102, 103
con efectos antisépticos, 139
con efectos espasmolíticos, 130, 139
con efectos estimulantes, 138, 139
con efectos tranquilizantes, 138
con propiedades sedantes y antidepresivas, 138
desarrollo de nuevos medicamentos en el mundo, 101
ejemplos de plantas tropicales empleadas en Alemania, 110-114, 126-144
ejemplos de programas locales de cuidado para la salud, 108-110
ejemplos notables de medicamentos derivados de plantas, 97-100
en Belice, 243-244
en Europa, 110
estrategias de investigación, 95
formato de examen para una entrevista etnofarmacológica, 109
importancia en regiones poco desarrolladas, 107
literatura, 108
monografías farmacéuticas, 111
monografías médico-farmacológicas, 111
naturaleza de su búsqueda, 100-102
para aumentar la presión sanguínea, 132
para bajar la presión sanguínea, 129, 140
para controlar la fertilidad, 105
para disminuir el apetito, 132
para el ardor y la incontinencia urinaria, 137
para el asma, 132, 138, 139, 143
para el cáncer, 99, 100, 102, 128
para el catarro, 134
para el corazón, 97, 120, 129, 130, 140
para el dolor, 94, 98, 133, 141, 142
para el dolor en la menstruación, 137
para el el hígado, 130
para el glaucoma, 99, 135, 141
para el insomnio nervioso, 112
para el resfriado, 138
para el reumatismo, 134, 138, 142
para estimular el apetito y la digestión, 130, 142, 144
para estimular la producción de bilis del hígado, 137
para inmovilizar los músculos, 136, 137
para la arteriosclerosis, 143
para la artritis, 142
para la bronquitis, 138, 139
para la cicatrización de las heridas, 135
para la deficiencia respiratoria, 134
para la diarrea, 98, 130, 133, 137, 143
para la disentería amebiana, 139
para la esquizofrenia crónica, 129
para la fatiga, 132, 143
para la fiebre, 94
para la fiebre del heno, 132
para la fiebre y dolor, 140
para la gastritis, 133
para la influenza, 132
para la inquietud, 112
para la lepra, 133
para la malaria, 104, 140
para la *myasthenia gravis*, 99
para la sarna, 135
para la solitaria, 139
para la tos, 98, 113, 132, 135
para la tosferina, 139
para la tuberculosis, 133

para las afecciones peridontales, 133
para las inflamaciones, 113, 133, 138, 142
para las náuseas y el vómito, 144
para las neuralgias, 134
para lavados bucales, 134, 139
para lavados de la piel, 134
potencial de los bosques tropicales, 100, 105-107
programa de rastreo del Instituto Nacional del Cáncer, Estados Unidos, 102-103
y anestésicos locales, 99, 132
y compuestos antiescleróticos, 135
y compuestos antihemorrágicos, 135
y compuestos contra las alergias, 131
y compuestos contra las inflamaciones, 131, 136
y compuestos contra el reumatismo, 131
y compuestos para controlar el crecimiento, 131
y compuestos para controlar la fertilidad, 131
y compuestos para prevenir reacciones inmunes, 132
y etnofarmacología, 103-105
"platanillo", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"plátano", *Musa* x *paradisiaca*, 53
Platonia esculenta (Arruda) Rickett & Staflen (Guttiferae), 57
Platymiscium pinnatum (Jacq.) Dugand (Leguminosae), 183, 185, 186
Pleuranthodendron lindenii (Turcz.) Sleumer (Flacourtiaceae), 183, 184
población (biológica), 15, 163
"pochote"
Bombacopsis quinata, 68
Ceiba pentandra, 68
Zanthoxylum kellermanii, 183
podofilotoxinas, 100, 102
Podophyllum (Berberidaceae)
P. hexandrum Royle, 100
P. peltatum L., 100
Populus deltoides Bartram ex Marshall (Saliaceae), 70
Poraqueiba sericea Tul. (Icacinaceae), 57
posibilidades de producción, 200
"possumwood", *Hura crepitans*, 71
Poulsenia armata (Miq.) Standley (Moraceae), 59, 183, 184, 186, 188, 249
Pourouma cecropiifolia Mart. (Cecropiaceae), 56
Pouteria (Sapotaceae)
P. baehniana Monachino, 44, 46
P. buenaventurensis (Aubréville) Pilz, 44, 46
P. butyrocarpa (Kuhlmann) Pennington, 44, 46
P. caimito (Ruiz & Pavón) Radlkofer, 43, 45, 46, 63
P. campechiana (H.B.K.) Baehni, 43, 45, 46, 63, 183, 185, 249
P. chocoensis (Aubréville) Pennington, 45, 46
P. espinae (Standley) Baehni, 44, 46
P. exstaminodia Pires & Pennington, 45, 46
P. fossicola Cronquist, 22, 24, 25, 35, 44, 46
P. lucuma (Ruiz & Pavón) Kuntze, 45, 46
P. polysepala Pennington, 44, 46
P. procera (Mart.) Pennington, 44, 46
P. rhynchocarpa Pennington, 47, 180, 183, 184, 256, 257
P. sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn, [portada], 22, 24, 25, 35, 43, 44, 46, 54, 63, 180, 183, 185, 188, 190, 245, 246, 248, 250, 251, 252
P. speciosa (Ducke) Baehni, 45, 46
P. surumuensis Baehni, 45, 46
P. viridis (Pittier) Cronquist, 22, 24, 25, 35, 43, 44, 46, 63
precio(s)
de equilibrio, definición, 198
de la tierra, 223
"injustos", 203
precisión, definición, 173
preferencias, 199
presión de selección, definición, 16
"primavera"
Cybistax donnell-smithii, 67
Tabebuia rosea, 68
Prioria copaifera Griseb. (Leguminosae), 73
procaína, 99, 132, 133
producción máxima sostenible, 226-229
fórmula, 227
productos forestales no-maderables 243-246
razones por las que la gente no aprovecha mejor su extracción, 250
progesterona, 131
Protium (Burseraceae)
P. altsonii Sandw., 26
P. apiculatum Swart, carcterísticas taxonómicas, 21
P. aracouchini (Aublet) Marchand, 50, 52
P. boomii Daly, 51
P. carolense Daly, 22, 23, 49, 50
P. decandrum (Aublet) Marchand, 20
P. fimbriatum Swart, 244
P. giganteum Engl., 20
P. heptaphyllum (Aublet) Marchand, como ocloespecie, 22
P. krukovii Swart, 50
P. nodulosum Swart, 244
P. occultum Daly, 52
P. pallidum Cuatrec., 52
P. paraense Cuatrec. como sinónimo de *P. altsonii*, 26
P. pilosum (Cuatrec.) Daly, 50
P. plagiocarpium Bénoist, 21
P. ptarianum Steyerm., 52
P. puberulenta Steyerm. como sinónimo de *P. altsonii*, 26

P. reticulatum Engl., 50
P. sagotianum Marchand, 244
P. strumosum Daly, 22, 23
P. trifoliolatum Engl., 50
P. verecaudatum, especie no oficial, 26
provincias florísticas, 41
Pseudalbizzia guachapele (H.B.K.) Dugand como sinónimo de *Pseudosamanea guachapele*, 74
pseudoefedrina, 132
Pseudolmedia oxyphyllaria Donn. Sm. (Moraceae), 59, 181, 183, 184, 186, 188, 245, 246
pseudopeletierina, 139
Pseudosamanea guachapele (Kunth) Harms (Leguminosae), 74
Pseudotsuga menziesii (Mirbel) Franco (Pinaceae), 176, 225, 227, 228, 230, 232, 233, 254
psicotrina, 139
Psidium (Myrtaceae)
P. acutangulum DC., 60
P. friedrichsthalianum (Berg) Niedz., 60
P. guajava L., 60
Psychotria (Rubiaceae)
P. chiapensis Standley, 183, 185
P. faxlucens Lorence & Dwyer, 183, 184
P. simiarum Standley, 183, 184
pteridofita, definición, 38
Pterocarpus rohrii Vahl (Leguminosae), 183, 184
Pterogyne nitens Tul. (Leguminosae), 73
pubescente, definición, 25
pulgada, definición, 263
"pung", *Ochroma pyramidale*, 68
"pungara muyu", *Garcinia* sp., 244
Punica granatum L. (Punicaceae), 139
"pupunha", *Bactris gasipaes*, 60
"purgua", *Rhizophora mangle*, 77
"puruí", *Alibertia edulis*, 62
"puruí grande", *Borojoa sorbilis*, 62

Q

Quararibea (Bombacaceae)
Q. funebris (Llave) Vischer, 183, 184, 187
Q. yunckeri Standley, 183, 184, 187
Quassia amara L. (Simaroubaceae), 115, 116, 141
"quenette", *Melicoccus bijugatus*, 62
"queo", *Pouteria caimito*, 46
"quesito", *Dendropanax aroboreus*, 67
Quillaja saponaria Molina (Rosaceae), 139
químicos medicinales, definición, 98
quimiotaxonomía, 106
"quina"
Cinchona calisaya, 140
C. officinalis, 140
C. pubescens, 140
Myroxylon balsamum, 75
"quina quina", *Pouteria procera*, 46
quinidina, 121, 140
"quinilla", *Pouteria caimito*, 46
"quinilla de bajo", *Pouteria procera*, 46
quinina, 104, 105, 121, 140
quinovina, 140

R

"rabo de mico", *Inga edulis*, 58
"rain tree", *Pseudosamanea guachapele*, 74
ramnosa, 139
"ramón", *Brosimum alicastrum*, 59
"ramón colorado", *Pseudolmedia oxyphyllaria*, 59
"ramoncillo", *Trophis mexicana*, 183
rate of return, 207
raubasina, 129
Rauwolfia (Apocynaceae)
R. heterophylla Roem. et Schult., 128
R. hirsuta Jacq., 128
R. serpentina (L.) Bentham ex Kurz, 128
R. tetraphylla L., 128
R. vomitoria Afzel., 128
rebaudiósido A, 115
rebrotes, definición, 171
recursos, definición, 199
"red mangrove", *Rhizophora mangle*, 77
refugios pleistocénicos, 52
regeneración de avanzada, definición, 157
regla
de la optimización del uso de la tierra, 206, 223, 239
del valor de la tierra, 206, 223
regresión estadística, 178
reino florístico, definición, 38
relascopio, 173
Renealmia occidentalis (Sw.) Sweet (Zingiberaceae), 64
renta, 206
rescinamina, 129
reserpina, 128, 129
resinas, composición química, 116
resonancia magnética nuclear, 122
retorno (neto), 206
return, 206
revenue, 206
revisión
definición, 18

trabajo de campo, 25
Rheedia (Guttiferae)
R. edulis (Seemann) Triana & Planchón, 183, 184, 249
R. macrophylla (Mart.) Planch. & Triana, 57
R. madruno (H.B.K.) Planch. & Triana, 57
R. spp., 243
Rhizophora (Rhizophoraceae)
R. mangle L., 77
R. mucronata Lam., 117
ricina, 133
ricinina, 133
"ricino", *Ricinus communis*, 132
Ricinus communis L. (Euphorbiaceae), 132
Rinorea guatemalensis (S. Watson) Bartlett (Violaceae), 183, 185
"riñón", *Annona squamosa*, 54
"roble", *Tabebuia rosea*, 68
"roble blanco", *Tabebuia rosea*, 68
Rollinia mucosa Jacq. Baill. (Annonaceae), 54
"rosa morada", *Lonchocarpus cruentus*, 182
rotenonas, 118
roza-tumba y quema, definición, 154
Rubia cordifolia L. (Rubiaceae), 118
rutina, 135, 136
Ryania pyrifera (L.C. Rich.) Uitt. & Sleum. (Flacourtiaceae), 119

S

"saandoe", *Hymenolobium excelsum*, 75
"sabino", *Guarea grandifolia*, 182
"sacha cacao", *Theobroma subincanum*, 243
"sacha caimito", *Chrysophyllum venezuelanense*, 244
"sacha mangua", *Grias peruviana*, 163
"sacha paparahua", *Batocarpus orinocensis*, 244
safrol, 137
"saino", *Goupia glabra*, 70
"sajo", *Campnosperma panamensis*, 66
salicilatos, 94
Salix alba L. (Salicaceae), 94
"samaguare", *Pseudosamanea guachapele*, 74
"samán", *Pseudosamanea guachapele*, 74
"San Juan", *Cybistax donnell-smithii*, 67
"sándalo", *Myroxylon balsamum*, 75
"sangregado", *Pterocarpus rohrii*, 183
"Santa María", *Calophyllum brasiliense*, 71
Sapindus saponaria L. (Sapindaceae), 183, 185, 187
"sapino", *Goupia glabra*, 70
sapogeninas esteroidales, 130, 131
saponinas, 119, 133, 139, 143
Sapota achras Miller como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26
"sapote colorado", *Pouteria sapota*, 46
"sapote mamei", *Pouteria lucuma*, 46
"sapupira", *Diplotropis purpurea*, 74
"sapupira amarela", *Hymenolobium excelsum*, 75
"saquisaqui", *Bombacopsis quinata*, 68
"sarabebeballi", *Vouacapoua americana*, 73
"saramuyo", *Annona squamosa*, 54
"sarrapia", *Dipteryx odorata*, 75
"sauce", *Salix alba*, 94
Saurauia yasicae Loes. (Actinidiaceae), 183, 185
"sawarie"
Caryocar glabrum, 56
C. nuciferum, 56
"sawari-noot", *Caryocar nuciferum*, 56
"seje", *Jessenia bataua*, 61
selva, diferencia con el bosque, 9
"sen", *Senna alexandrina*, 134
"sen de Alejandría", *Senna alexandrina*, 134
Senna alexandrina P. Miller (Leguminosae), 134
senosidas, 134, 135
"seringa", *Hevea brasiliensis*, 70
"seringueira", *Hevea brasiliensis*, 70
"serpentaria"
Rauwolfia heterophylla, 129
R. hirsuta, 129
R. serpentina, 129
R. tetraphylla, 129
R. vomitoria, 129
serpentina, 129
sesquiterpenos, 112
"shilquilio"
Protium fimbriatum, 244
P. nodulosum, 244
P. sagotianum, 244
"shimbillo", *Inga* sp., 242
"shiringa"
Hevea brasiliensis, 70
H. quianensis, 242
Shorea robusta Gaertner f. (Dipterocarpaceae), 116
"sibi-sibi", *Hevea brasiliensis*, 70
Sideroxylon portoricense Urban, 183, 184, 187
silibina, 130
silimarina, 130
"silkcotton tree", *Ceiba pentandra*, 68
silvicultura, definición, 151
Silybum marianum (L.) Gaertner (Compositae), 130
simaroubólidos, 141
"simaruba", *Simaruba amara*, 78
"simaruba amara", *Simaruba amara*, 78
Simaruba (Simaroubaceae)

S. amara Aublet, 78
S. glauca DC., 244
"sinamillo", *Oenocarpus mapora*, 243
"sipiri", *Ocotea rodiaei*, 72
sistemático, definición, 14
Smilax (Smilacaceae)
S. lanceolata L., 244
S. regelii Killip & Morton, 131
"snakewood", *Brosimum guianense*, 76
"sófora", *Sophora japonica*, 135
Solanum (Solanaceae)
S. marginatum L. f., 131
S. nigrum L., 131
S. quitoense Lamarck, 63
S. sessiliflorum Dunal, 63
S. topiro Humb. & Bonpl. ex Dunal como sinónimo de *S. sessiliflorum*, 63
solasodina, 131
"sombrerete", *Terminalia amazonia*, 70
"sonzapote", *Licania platypus*, 56
Sophora japonica L. (Leguminosae), 135
"sopoheodoe", *Caryocar glabrum*, 56
"sororoca", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"sorva grande", *Couma macrocarpa*, 55, 67
sotobosque, definición, 152
"souari nut", *Caryocar nuciferum*, 56
"soursop", *Annona muricata*, 54
"Spanish cedar", *Cedrela odorata*, 75
Spondias (Anacardiaceae)
S. macrocarpa Engl., 52
S. mombin L., 47, 54, 66
S. purpurea L., 54
S. radlkoferi J.D. Smith, 183, 184, 187
S. testudinis Mitchell & Daly, 47, 52
Stemmadenia donnell-smithii (Rose ex J.D. Smith) Woodson (Apocynaceae), 183, 184, 187
Sterculia (Sterculiaceae)
S. apetala Karsten, 63, 78
S. urens Roxb., 117
Stevia rebaudiana Bertoni (Compositae), 115
Strophanthus (Apocynaceae)
S. gratus (Hook.) Baillon, 97, 129
S. kombe Oliver, 129
Strychnos (Loganiaceae)
S. castelnaeana Wedd., 136
S. ignatii Bergius, 136
S. nux-vomica L., 136
S. toxifera Schomburgk ex Benth., 136
Stryphnodendron excelsum Harms (Leguminosae), 156
Styrax benzoin Dryander (Styracaceae), 116
subfamilias, 17
sucesión, definición, 155
"suchicuaguha", *Cordia alliodora*, 69
"suchil"
Cordia alliodora, 69, 180
C. megalantha, 182
"sucupira", *Diplotropis purpurea*, 74
"sukune", *Helicostylis tomentosa*, 76
"sumaúma", *Ceiba pentandra*, 68
"sunsapote", *Licania platypus*, 56
"sunsún", *Sterculia apetala*, 78
sustentabilidad
cambio del uso no sustentable al uso sustentable, 239-242
definición del uso sustentable, 237
uso sustentable versus no sustentable, 237-239
Swartzia polyphylla DC. (Leguminosae), 52
Swietenia (Meliaceae)
S. aubrevilleana Stehl_ & Cusin, 16
S. humilis Zucc. , 16, 43, 75
S. macrophylla King (Meliaceae), 16, 43, 47, 64, 75
S. mahagoni (L.) Jacq. (Meliaceae), 16, 43, 75
Syagrus coronata (Mart.) Becc. (Palmae), 117
Symphonia globulifera L.f. (Guttiferae), 71
Syzygium aromaticum (L.) Merrill & Perry (Myrtaceae), 115, 138

T

"tabaco"
Nicotiana latissima, 142
N. rustica, 142
N. tabacum, 119, 142
"tabaniro", *Humiria balsamifera*, 57, 71
Tabebuia rosea (Bertol.) DC. (Bignoniaceae), 68, 156
Tabernaemontana vargasii A. DC. (Apocynaceae), 47
tabla de rendimiento, definición, 172
tablón, tamaño, 247
"tabonuco", *Dacryodes excelsa*, 69, 153
"tache", *Myroxylon balsamum*, 75
"tackeboom", *Melicoccus bijugatus*, 62
"tacuna", *Cecropia peltata*, 69
"taiúva amarelo", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
talicarpina, 102
Talisia (Sapindaceae)
T. esculenta Radlk., 62
T. hexaphylla Vahl, 62
T. oliviformis (H.B.K.) Radlk., 62
"tamamuri", *Brosimum rubescens*, 242
"tamarindo"
Dialium guianense, 58, 72
Tamarindus indica, 58
Tamarindus indica L. (Leguminosae), 58

"tamarindo montero", *Dialium guianense*, 58, 72
"tami", *Ochroma pyramidale*, 69
"taná", *Phenakospermum guyanensis*, 59
"tangaré", *Carapa guianensis*, 75
taninos, 143
"taperebá", *Spondias mombin*, 54, 66
"taperíva", *Spondias mombin*, 54, 66
Tapirira mexicana Marchand (Anacardiaceae), 183, 185
tasa(s)
  continuas y tasas discretas y su conversión, 209
  de crecimiento relativa, 208
  de descuento, definición, 212
  de inflación, 207, 210, 211
  de rendimiento, definición, 207
  de rendimiento en Estados Unidos, 211
  de retorno, 207
  discreta, 209
  nominal, 210
  real, 210
  relativa de crecimiento de un árbol, 232
"tatajuba"
  Bagassa guianensis, 76
  Chlorophora tinctoria, 59, 76
"tatayivásaiyú", *Chlorophora tinctoria*, 59, 76
"tauroniro", *Humiria balsamifera*, 71
"tawanangro", *Humiria balsamifera*, 57, 71
taxol, 28, 102, 103
taxón, definición, 14
taxonomía
  como ciencia, 28-29
  literatura para reconocer familias y generos, 30
taxónomo, definición, 14
Taxus (Taxaceae)
  T. baccata L., 28, 103
  T. brevifolia Nutt., 28, 100, 102
té, definición, 95
"té negro", *Camellia sinensis*, 142
"teca", *Tectona grandis*, 69
"tecolixtle", *Hampea nutricia*, 182
Tectona grandis L.f. (Verbenaceae), 69
"temare", *Pouteria caimito*, 46
"temiche", *Manicaria saccifera*, 61
tenipósido, 100
teobromina, 141, 143
teofilina, 141, 143
teoría de los refugios pleistocénicos, 52
"tepesi", *Cupania glabra*, 182
"teresita", *Catharanthus roseus*, 128
Terminalia (Combretaceae)
  T. amazonia (J.F. Gmelin) Exell, 70
  T. chebula (Gaertner) Retz., 117
terpenoides, 116, 160
"tetón", *Pachira aquatica*, 55
Tetragastris (Burseraceae)
  T. altissima (Aublet) Swart, 52
  T. balsamifera (Sw.) Kuntze, 50
  T. occhionii (Rizz.) Daly, 51
  T. panamensis (Engl.) Kuntze, 52, 162
  T. varians E. Little, 52
tetrandrina, 102
Tetrorchidium rotundatum Standley (Euphorbiaceae), 183, 185
Theobroma (Sterculiaceae)
  T. bicolor Humb. & Bonpl., 47, 63
  T. cacao L., 53, 63
  T. grandiflorum K. Sch., 63
  T. speciosum Willd. ex Spreng., 64
  T. subincanum Mart., 47, 244
Thevetia peruviana (Pers.) Schumann (Apocynaceae), 129
Thieleodoxa sorbilis Ducke como sinónimo de *Borojoa sorbilis*, 62
Thymus (Labiatae)
  T. vulgaris L., 114
  T. zygis L., 114
tiempo de retención, en cromatografía de gases, 122
tilocrebrina, 102
"tinajero", *Didymopanax morototoni*, 67
tintura, definición, 95
"toborochi", *Ceiba pentandra*, 68
"tolú", *Myroxylon balsamum*, 75
tomatidina, 131
"tomatillo", *Pseudolmedia oxyphyllaria*, 59, 183, 245, 246
tomentoso, definición, 25
"tonka bean", *Dipteryx odorata*, 75
"tontoe siri", *Alibertia edulis*, 62
"topiro", *Solanum sessiliflorum*, 63
"toucá", *Bertholletia excelsa*, 58, 72
trade-off, 211
tramil, 109
transit, 173
tratados de libre comercio, 206
Trichilia (Meliaceae)
  T. lepidota Mart., 52
  T. moschata Sw., 183, 185, 186
  T. tuberculata C. DC., 158
Trichospermum mexicanum (DC.) Baillon (Tiliaceae), 183, 184, 187
tripdiolida, 102
Tripterygium wilfordii Hook. f. (Celastraceae), 105
Trophis mexicana (Liebm.) Bureau in DC. (Moraceae), 183, 184, 187

trueque, definición, 211
"trumpet-wood", *Cecropia peltata*, 69
tubocurarina, 137
"turanira", *Humiria balsamifera*, 57, 71
Turpinia occidentalis (Sw.) G. Don (Staphyleaceae), 183, 185, 187

U

"ujushte blanco", *Brosimum alicastrum*, 59
"umari"
Humiria balsamifera, 57, 71
Poraqueiba sericea, 57
"umari preto", *Poraqueiba sericea*, 57
"ungurahui"
Jessenia bataua, 242, 244
Oenocarpus bacaba, 61
"uranga", *Cybistax donnell-smithii*, 67
Urginea maritima L. como sinónimo de *Drimia maritima*, 97
uso sustentable, definición, 237
utilidad, 206
neta, definición, 206
neta real por unidad de madera (P-C), cambio continuo, 232-235
neta relativa, 207
"uva amazónica", *Pourouma cecropiifolia*, 56
"uvilla", *Pourouma cecropiifolia*, 56
"uvos", *Spondias mombin*, 54, 66
uzarigenina, 130

V

"vacahosca", *Couma macrocarpa*, 67
"vainilla", *Vanilla planifolia*, 115
valepotriatos, 112
Valeriana officinalis L. (Valerianaceae), 111, 112
valor comercial
de cultivo de maíz en una hectárea en Veracruz, México, 248
de la extracción total de la madera en una hectárea en Veracruz, México, 247
de una hectárea de pastizal de ganado en Veracruz, México, 249
valor nominal, definición, 210
valor no-comercial, 198
costos de la conservación de especies no-comerciales, 256
definición, 253
de la biodiversidad, 255-257
del bosque con árboles viejos, 254-255
y análisis de costo-beneficio, 253
valor presente
actual, 221
cálculos, 213-223
definición, 212
resumen de fórmulas, 222
y su cambio al cambiar la tasa de descuento, 214
valor presente neto, 205
definición, 221
dependiente del tiempo, 241
resumen de fórmulas, 222
valor real, definición, 210
Vanilla planifolia Jackson (Orchidaceae), 115
"vaquero", *Dendropanax arboreus*, 67
variable, definición, 163
Vatairea lundellii (Standley) Killip ex Record (Leguminosae), 183, 185, 187
Vateria indica L. (Dipterocarpaceae), 116
veneno
de flechas, 136, 137
ordalía, 135
"vera aceituna", *Bulnesia arborea*, 78
"verawood", *Bulnesia arborea*, 78
vernier, 174
viloso, definición, 25
vimblastina, 100, 128
vincristina, 100, 128
vindesina, 100, 128
"viraró", *Pterogyne nitens*, 73
Virola surinamensis (Rottb.) Warb. (Myristicaceae), 162
viruta, definición, 172
Vitellaria mammosa (L.) Radlkofer como sinónimo de *Manilkara zapota*, 26
vitexina, 138
Vochysia (Vochysiaceae)
V. ferruginea Mart., 156
V. hondurensis Sprague, 156
Vouacapoua americana Aublet (Leguminosae), 73

W

"wacapou", *Vouacapoua americana*, 73
"West Indian boxwood", *Casearia praecox*, 71
"West Indian lancewood", *Oxandra lanceolata*, 67
"white peroba", *Paratecoma peroba*, 68
"wilaka", *Pouteria caimito*, 46

X

x, significado en el nombre científico de una especie, 53

xanthorrizol, 143
xantina, 143
xilosa, 139
"xmaak", *Annona glabra*, 54
Xysmalobium undulatum (L.) R. Br. (Asclepiadaceae), 130

Y

"yacayacá", *Cedrelinga catenaeformis*, 73
"yagrumo", *Cecropia peltata*, 69
"yagrumo macho", *Didymopanax morototoni*, 67
"yarazo", *Pouteria caimito*, 46
yarda, definición, 263
"yash-tul", *Pouteria viridis*, 46
"yaxché", *Ceiba pentandra*, 68
"yaya", *Oxandra lanceolata*, 67
"yellow sanders", *Buchenavia capitata*, 70
"yellow star apple", *Pouteria caimito*, 46
"ymaad", *Pouteria caimito*, 46
yohimbina, 140
"yohimbo", *Pausinystalia johimbe*, 140
"yuale", *Genipa americana*, 62, 77, 182
"yuri", *Poraqueiba sericea*, 57

Z

Zanthoxylum kellermanii P. Wilson (Rutaceae), 183, 185
"zapatero", *Casearia praecox*, 71
"zapote"
Pouteria sapota, 46
P. viridis, 46
"zapote amarillo", *Pouteria campechiana*, 46, 63
"zapote blanco"
Casimiroa edulis, 62
Pouteria campechiana, 46
P. viridis, 46
"zapote bobo"
Pachira aquatica, 55
P. macrocarpa, 55
"zapote borracho", *Pouteria campechiana*, 46
"zapote de niño", *Pouteria campechiana*, 46
"zapote injerto", *Pouteria viridis*, 46
"zapote mamey", *Pouteria sapota*, 46, 63
"zapote mico", *Pouteria viridis*, 46
"zapote negro", *Diospyros digyna*, 56, 182, 245, 246
"zapote niño", *Pouteria campechiana*, 183, 249
"zapote prieto", *Diospyros digyna*, 56
"zapote verde", *Pouteria viridis*, 63
"zapotillo blanco", *Pouteria rhynchocarpa*, 183
"zapuyul", *Pouteria campechiana*, 46
"zarzafrán", *Turpinia occidentalis*, 183
Zea mays L. (Gramineae), 248
Zingiber officinale Roscoe (Zingiberaceae), 115, 143
zingibereno, 143, 144
"zolive", *Pouteria caimito*, 46
zonas de vida del mundo según Holdridge, 36

ESTA EDICIÓN SE TERMINÓ DE IMPRIMIR
EL 16 DE MARZO DE 1998
EN IMPRESORA ROMA, S.A.
TOMÁS VÁZQUEZ No. 152,
COL. AMPLIACIÓN MODERNA
08220, MÉXICO, D.F.

BOTÁNICA ECONÓMICA EN BOSQUES TROPICALES

ISBN 968-13-2861-2
7 509991 163440

El objetivo principal de este libro es contribuir al aprovechamiento racional de las selvas y bosques tropicales. El libro se dirige a estudiantes y científicos, así como a empresarios del sector forestal y funcionarios involucrados en la política forestal. Los autores definen a la *botánica económica* como la ciencia de las plantas útiles, considerando aspectos de taxonomía, farmacognosia, ecología y economía. Este libro no sólo se ocupa de estudiar plantas útiles, sino que muestra una secuencia disciplinaria, mediante la exploración y aplicación de los principios fundamentales de cada una. La mayoría de los ejemplos y estudios descritos provienen de Latinoamérica y son el fruto frecuentemente de investigaciones propias de los autores.

MARTIN RICKER se graduó en biología, con especialidad en ecología y farmacognosia, en Alemania (Diplombiologie, Universität Würzburg). Cursó estudios en la Universidad del Estado de Nueva York en Stony Book, y en la Universidad de Illinois en Chicago. Posteriormente hizo una maestría (M. Phil.) en economía de recursos naturales y manejo de bosques en la Universidad de Yale. Ha realizado estudios de campo en botánica económica en el sur de México, así como en las regiones del Chocó (Colombia) y la amazónica de Perú. En la actualidad cursa su doctorado en la Universidad de Yale y lleva a cabo su investigación de campo en Veracruz, México, estudiando los aspectos económicos y biológicos del enriquecimiento de la selva con las especies nativas frutales *Pouteria sapota* ("mamey") y *Diospyros digyna* ("zapote negro"), así como con la especie maderable *Cedrela odorata* ("cedro").

DOUGLAS C. DALY estudió biología (B.A.) en la Universidad de Harvard, e hizo su doctorado en el Jardín Botánico de Nueva York, donde ahora es investigador de la botánica amazónica. Ha llevado a cabo investigaciones de campo en Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Bolivia, Jamaica y Martinica. Actualmente se dedica al estudio de la flora y al aprovechamiento de ésta por las comunidades locales en el estado de Acre, en Brasil. Escribe una monografía del género *Protium* y recolecta muestras vegetales en Latinoamérica para el programa del Instituto Nacional del Cáncer, de Estados Unidos, en busca de plantas con propiedades anticancerígenas y contra el SIDA.

LIMUSA TECNICO